



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

**ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER**

**Jesús Alfredo Quiñónez Montejo**

Asesorado por la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO**

ASESORADO POR LA INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON DE PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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:

**ESTUDIO FOTOGRAFAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha de 10 de mayo de 2018.



**Jesús Alfredo Quiñónez Montejo**





Guatemala, 16 de octubre de 2018  
REF.EPS.DOC.849.10.2018

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

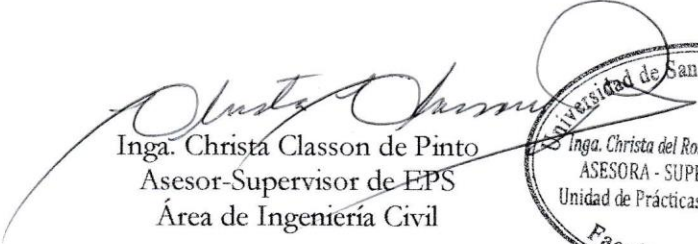
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jesús Alfredo Quiñónez Montejo**, Registro Académico 201318562 y CUI 2600 45233 1307, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo  
CCdP/ra



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
 21 de noviembre de 2018

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

Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jesús Alfredo Quiñónez Montejo , quien contó con la asesoría de la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional 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  
 Jefe Del Departamento de Planeamiento



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO**  
**DE**  
**PLANEAMIENTO**  
**U S A C**

/mrrm.



*Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua*





Guatemala, 26 de noviembre de 2018  
Ref.EPS.D.458.11.18

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jesús Alfredo Quiñónez Montejo, Registro Académico 201318562 y CUI 2600 45233 1307**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Christa Classon de Pinto.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación como Asesora-Supervisora, y Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

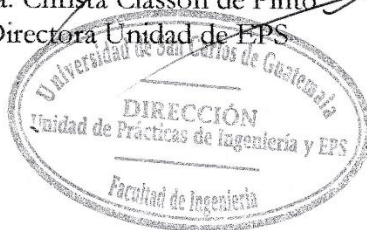
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



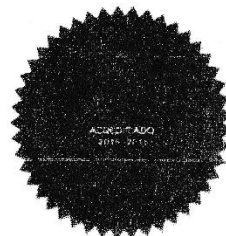
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora y Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación del estudiante Jesús Alfredo Quiñónez Montejo titulado **ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER** da por éste medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2018

/mrrm.



*Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala




Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 117.2019

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: **ESTUDIO FOTOGRAMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER**, presentado por el estudiante universitario: **Jesús Alfredo Quiñónez Montejo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo de 2019

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Porque a él le debo mis triunfos logrados en esta vida terrenal, por haberme colmado de bendiciones y sabiduría para llegar a culminar esta meta con bienestar para mi familia y para mi.

### **Mis padres**

Guadalupe Quiñónez y Petrona Montejo, grandes personas que con tanto amor que ha reinado en su santo matrimonio, han sacrificado el pan de cada día y los lujos materiales por atender las necesidades que se me han presentado en la vida por soñar en un mejor futuro para mí y mis hermanos, a ellos les debo la vida y los logros obtenidos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Al ser supremo, por brindarme sabiduría en el transcurrir de este largo camino.
- Mis padres** Guadalupe Quiñónez y Petrona Montejo, la mejor muestra del amor de Dios son mis padres, pues con amor, dedicación y arduo trabajo han hecho posible el alcance de mis metas, mi eterna gratitud a ellos.
- Mis hermanos** Edgardo Quiñónez, quien me ha guiado abriéndome brechas y darme su ejemplo de dedicación; Floridalma Quiñónez por ese cariño y apoyo incondicional que me ha brindado en todo momento.
- Mi novia** Julia Pacay, por brindarme su amor y apoyo incondicional y por convertirse en la compañera de aventuras en este recorrido.
- Escuela de Ingeniería Civil, USAC** Por haberse convertido en mi segunda casa y brindarme la oportunidad de un acercamiento al campo laboral de la Ingeniería Civil, especialmente al Ing. Mario Arriola.



**CEDESVD**

Por permitirme formar parte de su equipo de trabajo a lo largo del desarrollo de mi EPS y por las asesorías brindadas para el desarrollo del presente proyecto, especialmente al Ing. Juan Pablo Oliva y al Ing. Kevin Nufio.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. GENERALIDADES DEL BARRANCO LAS ARDILLAS.....	1
1.1.    Reseña histórica de la Universidad de San Carlos de Guatemala .....	1
1.2.    Antecedentes del barranco Las Ardillas .....	2
1.3.    Macrolocalización .....	5
1.4.    Microlocalización .....	6
1.5.    Georreferenciación .....	7
2.    MARCO DE REFERENCIA.....	9
2.1.    Acuerdo Gubernativo 179-2001.....	9
2.2.    Acuerdo de Cedesyd 001-2016.....	12
3.    MARCO TEÓRICO.....	15
3.1.    Geología de Guatemala.....	15
3.1.1.    Geología del barranco Las Ardillas.....	18
3.2.    Caracterización de taludes .....	18
3.2.1.    Definición de talud .....	18

3.2.2.	Factores que producen la inestabilidad de taludes	20
3.2.3.	Tipos de movimientos en masa	22
3.2.4.	Deslizamientos	24
3.3.	Estabilidad de taludes	27
3.3.1.	Factor de seguridad	28
3.3.1.1.	Planteamiento probabilístico	31
3.3.1.2.	Planteamiento determinístico	31
3.3.2.	Métodos para el cálculo del factor de seguridad	32
3.3.2.1.	Análisis de talud infinito	32
3.3.2.2.	Métodos de la masa total	33
3.3.2.3.	Métodos de rebanadas	34
3.3.3.	Métodos de análisis de estabilidad de taludes	35
3.3.3.1.	Equilibrio límite	35
3.3.3.1.1.	Método de Bishop	37
3.3.3.1.2.	Método de Spencer	38
3.3.3.1.3.	Método de Morgenstern-Price	40
3.4.	Fotogrametría	41
3.5.	Software	44
3.5.1.	Agisoft PhotoScan	45
3.5.2.	QGIS	45
3.5.3.	GeoStudio	46
4.	MARCO METODOLÓGICO	47
4.1.	Estudio fotogramétrico	47
4.2.	Análisis de los resultados de estudios de suelo	54
4.3.	Cálculo de la Aceleración Máxima del Suelo (AMS)	59
4.4.	Integración de carga de edificios	67

4.4.1.	Edificio de Editorial Universitaria .....	67
4.4.2.	Edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).....	70
4.4.3.	Unidad de Urbanización y Remodelación.....	72
4.5.	Estudio geotécnico .....	74
4.5.1.	Método de Bishop.....	77
4.5.2.	Método de Spencer .....	79
4.5.3.	Método de Morgenstern-Price .....	81
4.5.4.	GeoSLOPE .....	85
5.	RESULTADOS .....	97
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	101
	CONCLUSIONES .....	109
	RECOMENDACIONES .....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	113
	APÉNDICES .....	119
	ANEXOS .....	123



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Desvío del cauce principal a lo largo del barranco Las Ardillas .....	4
2.	Macrolocalización.....	6
3.	Microlocalización.....	6
4.	Ubicación de la placa rectoría 2, propiedad del IGN .....	7
5.	Área de alto riesgo, Acuerdo Gubernativo 179-2001 .....	11
6.	Área de alto riesgo, Acuerdo de Cedesynd 001-2016 .....	12
7.	Placas tectónicas de Guatemala.....	15
8.	Fracturas provocadas por el terremoto de 1976 .....	17
9.	Respuestas geodinámicas de laderas con base en su forma.....	19
10.	Clasificación de rotura por deslizamiento.....	20
11.	Elementos que caracterizan una masa deslizada.....	25
12.	Deslizamiento de superficie en forma planar o traslacional .....	26
13.	Deslizamiento de tipo circular .....	26
14.	Deslizamiento en forma de cuña.....	27
15.	Superficie de rotura mixta .....	27
16.	Rotura de talud en área de inestabilidad.....	28
17.	Esquema para el análisis de un talud infinito .....	33
18.	Fuerzas actuantes con el método de la masa total.....	34
19.	Esquema de superficie por el método de rebanadas .....	34
20.	Fuerzas actuantes, método de Bishop.....	37
21.	Esfuerzos actuantes, método de Spencer .....	39
22.	Fuerzas actuantes, método Morgenstern-Price .....	40
23.	Nivel de detalle de un modelo digital de superficie (DSM) .....	43

24.	Nivel de detalle de un modelo digital del terreno (DTM) .....	44
25.	Vehículo aéreo no tripulado civil Phantom 4 Pro .....	48
26.	Programación de vuelo en UAV Civil Phantom 4 Pro .....	49
27.	Construcción del modelo digital de superficie en Agisoft.....	50
28.	Elaboración del modelo digital del terreno en Agisoft.....	51
29.	Trazado de perfil sobre el DTM en QGIS .....	52
30.	Delimitación de los estratos del talud con AutoCAD.....	53
31.	Ubicación del área de extracción de muestras de suelo.....	55
32.	Sección transversal del valle de la ciudad de Guatemala.....	63
33.	Ubicación del edificio Editorial Universitaria .....	68
34.	Edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.....	70
35.	Unidad de Urbanización y Remodelación, USAC .....	73
36.	División del talud en tajadas .....	75
37.	Equilibrio de fuerzas en cada tajada.....	76
38.	Distribución de inclinación de la fuerza entre tajadas.....	82
39.	Crear nuevo proyecto en GeoSLOPE.....	85
40.	Selección del tipo de análisis en GeoSLOPE .....	86
41.	Selección del método de estabilización en GeoSLOPE .....	86
42.	Configuración de los parámetros de análisis en GeoSLOPE .....	87
43.	Configuración de las unidades y escala en GeoSLOPE.....	88
44.	Importación de archivo dxf a GeoSLOPE .....	88
45.	Ingreso de propiedades de suelo en GeoSLOPE .....	89
46.	Trazo de cuadrícula y radio en GeoSLOPE.....	89
47.	Ingreso de los valores de la aceleración máxima del suelo.....	90
48.	Ingreso de cargas externas en GeoSLOPE.....	90
49.	Análisis de estabilización en proceso en GeoSLOPE.....	91
50.	Lista de superficies de deslizamiento en GeoSLOPE.....	92
51.	Análisis de superficies de deslizamiento en GeoSLOPE.....	93
52.	Elección del factor de seguridad en GeoSLOPE .....	94

53.	Generación de Informe de análisis en GeoSLOPE .....	94
54.	Comparación de métodos de estabilización en AutoCAD .....	95
55.	Opciones para programar la misión de vuelo de un UAV Civil.....	102
56.	Colocación de puntos de control con GPS geodésico .....	103

## TABLAS

I.	Factores determinadores de movimientos en masa .....	21
II.	Clasificación de movimientos de falla de taludes .....	22
III.	Movimientos en masa según la velocidad en que se produce .....	23
IV.	Movimientos en masa según la profundidad en la que se produce	23
V.	Clasificación de movimientos en masa según como se producen	23
VI.	Nivel de seguridad recomendado contra pérdidas humanas .....	29
VII.	Nivel de seguridad recomendado contra daños materiales .....	30
VIII.	Factores de seguridad mínimos para deslizamientos .....	30
IX.	Clasificación de la fotogrametría.....	41
X.	Muestra de tablas de datos de altitudes obtenidos en QGIS .....	53
XI.	Sistema de clasificación de suelos AASHTO (PRA).....	56
XII.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	57
XIII.	Clasificación de los estratos de suelo del barranco Las Ardillas ..	58
XIV.	Propiedades mecánicas del suelo del barranco Las Ardillas .....	58
XV.	Clasificación de sitio.....	60
XVI.	Cohesión de los estratos de suelo del barranco Las Ardillas .....	60
XVII.	Coeficiente de sitio Fa.....	61
XVIII.	Tipo de fuente sísmica .....	62
XIX.	Factor Na para períodos cortos de vibración .....	64
XX.	Factores que determinan el nivel de un sismo .....	65
XXI.	Carga muerta del edificio Editorial Universitaria.....	69

XXII.	Carga viva del edificio Editorial Universitaria, USAC .....	69
XXIII.	Carga viva y carga muerta del edificio Editorial Universitaria .....	70
XXIV.	Carga muerta del edificio de la ERIS.....	71
XXV.	Carga viva del edificio de la ERIS .....	72
XXVI.	Carga viva y carga muerta del edificio de la ERIS.....	72
XXVII.	Peso de materiales de construcción.....	74
XXVIII.	Distancias de alto riesgo del barranco Las Ardillas .....	104
XXIX.	Franja de protección por riesgo del barranco Las Ardillas.....	106



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Scs</b>	Ajuste por intensidades sísmicas especiales.
<b>W</b>	Carga vertical externo.
<b>Fa</b>	Coefficiente de sitio.
<b>Svd</b>	Componente vertical del sismo de diseño.
<b>Ds</b>	Diferencial de longitud a lo largo de la superficie.
<b>Gal</b>	Es el nombre que se le asigna a la unidad de aceleración en el sistema cegesimal, se define como un centímetro sobre segundo al cuadrado ( $1\text{cm/s}^2$ ), un Gal en el sistema Internacional es $0,01\text{m/s}^2$ .
$\tau$	Es la resistencia al corte a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.
$\tau_{mov}$	Esfuerzos cortantes movilizados a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.
<b>Scd</b>	Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.

<b>Kd</b>	Factor de escala que determina la intensidad de un sismo.
<b>FS</b>	Factor de seguridad.
<b>FS<sub>adm</sub></b>	Factor de seguridad admisible.
<b>Na</b>	Factor para períodos cortos de vibración.
<b>E y T</b>	Fuerza entre tajadas actuando en y-y.
<b>P</b>	Fuerza normal a la base de la rebanada.
<b>S</b>	Fuerza tangencial a la base de la rebanada.
<b>E<sub>F</sub></b>	Fuerzas normales derecha entre rebanadas.
<b>E<sub>L</sub></b>	Fuerzas normales izquierda entre rebanadas.
<b>Io</b>	Índice de sismicidad.
<b>S<sub>cr</sub></b>	Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.
<b>S<sub>1r</sub></b>	Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

<b>dW</b>	Peso de la rebanada.
<b>P<sub>w</sub></b>	Presión de poros en la frontera de las tajadas.
<b>U</b>	Presión intersticial distribuida.
<b>dP<sub>b</sub></b>	Resultante de la presión de poros en la base de la tajada.
<b>N</b>	Tensión normal.
<b>T</b>	Tensión tangencial.
<b>Qtd</b>	Tephra inaterstratificada con diamictones pomáceos y sedimentos fluvio-lacustro.



## GLOSARIO

<b>AMS</b>	Siglas en español de la aceleración máxima del suelo.
<b>Barranco</b>	Quebra o surco producido en la tierra por las corrientes o avenidas de las aguas.
<b>Coluvión</b>	Material constituido por los granos más finos del limo y de la arena depositado al pie de una pendiente tras un corto recorrido.
<b>DEM</b>	Modelo Digital de Elevaciones.
<b>Deslizamiento</b>	Rotura y desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento de masa de suelo hacia abajo y hacia fuera.
<b>Detritos</b>	Es el resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas, el material típico y muy conocido es la arcilla.
<b>Diamictones</b>	Son rellenos de valle no clasificados con sus cimas o estratos altos localmente estratificados.

<b>Dron</b>	Vehículo aéreo no tripulado con fines civiles, con GPS y sensores capaces de capturar fotografías y videos aéreos.
<b>DSM</b>	Modelo Digital de la Superficie.
<b>DTM</b>	Modelo Digital del Terreno.
<b>Estabilidad</b>	Que permanece en un lugar durante mucho tiempo sin peligro a caer.
<b>Factor de seguridad</b>	Valor que cuantifica la relación entre las condiciones reales que presenta el talud y las condiciones que llevan a su rotura.
<b>Factor de seguridad admisible</b>	Corresponde a un valor mínimo que se debe alcanzar para considerar un talud como estable, normalmente son valores superiores 1.
<b>Fotogrametría</b>	Procedimiento de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de fotografías para obtener características métricas y geométricas.
<b>Inestabilidad</b>	Contrario a la estabilidad, corre el riesgo de cambiar o caer y está en constante cambio en un corto período de tiempo.

<b>Mapa</b>	Representación geográfica de la Tierra o parte de ella en una superficie plana en la que se provee información relativa a una ciencia determinada.
<b>Modelación</b>	Esquema o imitación de un objeto, representado a escala natural o variable.
<b>Movimiento en masa</b>	Cualquier deslizamiento de un volumen determinado de suelo, asociados con problemas de inestabilidad de taludes.
<b>Ortofoto</b>	Es la presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.
<b>PGA</b>	Siglas en inglés de la aceleración máxima del suelo ( <i>Peak Ground Acceleration</i> ).
<b>Plano</b>	Representación esquemática, en dos dimensiones y a determinada escala, de un terreno, una población, una máquina, una construcción, entre otros.
<b>Sismo</b>	Sacudida de la corteza terrestre debido a la liberación de energía generada por el movimiento de placas tectónicas o minifisuras.

<b>Talud</b>	Una inclinación del paramento de un muro o de un terreno; paramento, por su parte, se vincula a las caras de un muro.
<b>Tobas volcánicas</b>	Tipo de roca ígnea de consistencia porosa, ligera, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos.
<b>UAV Civil</b>	Vehículo aéreo no tripulado con fines civiles, con GPS y sensores capaces de capturar fotografías y videos aéreos.



## RESUMEN

Los proyectos abarcados surgieron a partir del diagnóstico y análisis detallado del Acuerdo Gubernativo 179-2001, en el cual se establecieron como zonas de alto riesgo las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, prohibiendo el desarrollo de cualquier proyecto público o privado a una distancia de 100m a ambos lados de cualquier río, zanjón o quebrada; sin embargo, esta delimitación fue establecida sin ninguna base técnica-científica. El objetivo principal fue determinar el distanciamiento de alto riesgo y franja de protección por riesgo del barranco Las Ardillas, tributaria a la quebrada El Frutal, ubicado dentro del área de la Universidad de San Carlos de Guatemala en base a estudios geotécnicos que incorporen factores influyentes en la inestabilidad de un talud.

Para conocer la topografía del barranco se requirió de un estudio fotogramétrico, dicho estudio se realizó mediante el uso de un equipo de sensoramiento remoto llamado UAV Civil, con dicho equipo se realizaron 4 vuelos sobre el área de estudio y se obtuvo un total de 929 fotos aéreas con un traslape entre fotografías del 80 %, se utilizó el software Agisoft PhotoScan para unir y alinear las fotografías aéreas para generar el Modelo Digital de Superficies (DSM), con el mismo software se clasificaron y se eliminaron los elementos existentes sobre la superficie del terreno, tales como arbustos, áreas boscosas, vehículos, edificios, entre otros. para la generación del Modelo Digital del Terreno (DTM); con el uso del software QGIS se elaboraron curvas de nivel a partir del DTM con una precisión que permitió distancias de 0,18m entre curvas, con ello fue posible trazar 11 perfiles del talud a lo largo del área de estudio.

El estudio geotécnico consideró las propiedades físico-mecánicas del suelo de la localidad, como la cohesión, la densidad y el ángulo de fricción interna obtenido, a partir de ensayos de laboratorio de triaxial para 5 estratos de suelo; el siguiente factor considerado fue la aceleración máxima del suelo (PGA), siguiendo la metodología que establece AGIES, se obtuvo para la dirección horizontal un valor de 0,432 gal y 0,162 gal para la dirección vertical. El otro factor bajo consideración fue la influencia del peso de edificios y elementos cercanos a los perfiles del barranco analizados; para ello se calculó el peso del edificio de la Editorial Universitaria y aplicado sobre los taludes de los perfiles 4 y 5, el peso del edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria aplicado sobre el talud del perfil 6 y el peso de los materiales de construcción de la Unidad de Urbanización y Remodelación aplicado sobre el talud del perfil 8.

Los 11 perfiles obtenidos del estudio fotogramétrico y la información obtenida con la inclusión del factor sísmico, propiedades del suelo y cargas externas, se apoyó del software GeoSLOPE para llevar a cabo el análisis de estabilización de los taludes, mediante los métodos Bishop, Morgenstern-Price y Spencer.

Las zonas de alto riesgo a deslizamiento obtenidas con factor de seguridad menor a 1, estuvieron por debajo del distanciamiento de 100 m establecido por el Acuerdo Gubernativo 179-2001, estas distancias varían de 58,23 m a 95,38 m en diferentes regiones a lo largo del área estudiada como se visualiza en el mapa 7 y tabla XXVII; para la zona de protección por riesgo con factores de seguridad mayor a 1,2 como se describe en la tabla VIII, se obtuvieron distanciamientos que varían de 82,83 m a 108,09 m como se visualiza en el mapa 9 y tabla XXVIII.

# OBJETIVOS

## General

Determinar los límites de alto riesgo del barranco Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de modelos de deslizamiento de los métodos Bishop, Morgenstern-Price y Spencer.

## Específicos

1. Elaborar el Modelo Digital del Terreno (DTM) del barranco Las Ardillas.
2. Generar perfiles del talud natural del barranco Las Ardillas a partir de curvas de nivel.
3. Determinar la aceleración máxima del suelo del barranco Las Ardillas y el peso de los edificios cercanos a este.



## INTRODUCCIÓN

El Acuerdo Gubernativo 179-2001 para el 2001, estableció como zonas de alto riesgo las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, prohibiendo el desarrollo de proyectos públicos o privados, así como cualquier intervención humana por riesgo a deslizamientos estableciendo una distancia de 100m a cada lado de cualquier río, quebrada o barranco, sin embargo, la distancia fue establecida sin ninguna base técnica-científica.

La hipótesis que se planteó acerca del porqué se estableció una distancia de 100 m fue porque se consideraron los efectos que se producirían por efectos de inundación resultado de altas precipitaciones en época lluviosa y por los cambios que sufrirían las cuencas a lo largo del tiempo como un proceso natural de la maduración de cuencas y por tratarse de un Acuerdo Gubernativo emitido a los pocos meses de haber ocurrido el huracán Mitch que afectó gran parte del país y por las áreas extensas de las cuencas a las que se refiere dicho acuerdo, se dificultó la realización de estudios localizados y detallados.

Para el área correspondiente a la Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentra en colindancia con dos barrancos que coloquialmente se les conoce como barranco de Agronomía y barranco Las Ardillas; cercano a estos, fueron construidos algunos edificios mucho antes de la declaratoria de alto riesgo emitido en el Acuerdo Gubernativo 179-2001, ya sea porque fue ignorado el riesgo a deslizamientos o como ya se hizo mención anteriormente, porque los barrancos o cuencas sufren un proceso natural de maduración, ya sea de forma lenta o acelerada, por lo que con el transcurrir del tiempo algunos edificios ya se encuentren cercanos o dentro de la zona de alto riesgo de los 100 m.

El propósito de la investigación fue determinar la zona crítica y la zona de protección por riesgo para el barranco Las Ardillas, tributario de la quebrada El Frutal con base en estudios geotécnicos e incorpora algunos de los factores que influyen en la inestabilidad de un talud, para ello se consideraron las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la localidad, la aceleración máxima del suelo (PGA) en caso de sismos y considerando la influencia del peso de edificios cercanos sobre la inestabilidad del talud; también, la modelación de los deslizamientos mediante los métodos de análisis de taludes Bishop, Morgenstern-Price y Spencer pertenecientes al conjunto de métodos de análisis por equilibrio límite que consideran el factor de seguridad para determinar la zona de riesgo en base a iteraciones realizadas por ordenador.

Para la obtención de la topografía del barranco Las Ardillas, se hizo uso de un equipo de sensoramiento remoto que ha estado tomando auge en los últimos tiempos, asimismo, por tratarse de una zona de alto riesgo, el acuerdo gubernativo 179-2001 prohíbe el ingreso de personas para la realización de trabajos con equipos de topografía convencional. Por ello se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (UAV Civil) para la extracción de perfiles del barranco y para delimitar las zonas de riesgo sobre una fotografía aérea (ortofoto) del estado actual del barranco.

# **1. GENERELADIDES DEL BARRANCO LAS ARDILLAS**

## **1.1. Reseña histórica de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

El primer Obispo de Guatemala, Licenciado Francisco Marroquín, consciente de la importancia de contar con un centro de estudios superiores para el país, el 1° de agosto de 1548 solicitó a la Corona española el establecimiento de una Universidad en la ciudad de Santiago de Guatemala, la solicitud no fue atendida, sino hasta que el obispo Payo Enríquez solicitó nuevamente la creación de una universidad en dicha ciudad, esta nueva solicitud tuvo éxito y el 31 de enero de 1676, el Monarca Español Carlos II promulgó la Real Cédula de Fundación de la Universidad, documento que llegó a Guatemala el 26 de octubre de 1676.

La Universidad de San Carlos de Guatemala ha tenido varias sedes a lo largo de la historia, su primera sede fue en la actual Antigua Guatemala, luego se trasladó a la zona 1 de la ciudad de Guatemala con sus facultades dispersas en diferentes puntos de esta zona, con sede en el actual MUSAC, hasta llegar a la actual sede, Ciudad Universitaria (Campus central) ubicada en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala.

La creación de la Ciudad Universitaria se debe al rector, Carlos Martínez Durán (Rector 1945-1950) y su iniciativa de crear un complejo de edificios en un área que tiene una extensión aproximada de 124,9 Ha (177 Mz) y se hizo mediante 5 etapas. En la primera no se consideró el diseño futuro de cada facultad y los trabajos que se realizaron fueron en su mayoría de infraestructura (agua, luz y drenajes). Durante la segunda etapa de construcción se definieron

las vías principales de circulación, así como las áreas destinadas para cada facultad. En la tercera etapa se planificó el área deportiva y se inició la construcción del Aula Magna conocida como Iglú. Fue en la cuarta etapa en la que se inició la construcción del edificio de Rectoría, además durante la última fase se dio una construcción acelerada de la ciudad universitaria y se planteó la iniciativa de la construcción de los centros universitarios regionales.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, desde sus inicios hasta la actualidad, continúa innovando en su infraestructura y sus diferentes ambientes en bienestar del estudiantado y personal administrativo, realizando construcciones de edificios, proyectos académicos y de recreación. Dicha universidad ha ido ocupando espacios importantes, algunos, ubicados estratégicamente y sin correr riesgo; mientras que otros, que con el transcurrir del tiempo se han visto afectados por riesgos naturales, lo que arriesga el bienestar de la comunidad universitaria como en el caso de unidades académicas cercanas al barranco Las Ardillas.

## **1.2. Antecedentes del barranco Las Ardillas**

En el informe del Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres<sup>1</sup> se señalaron problemas provocados por la precipitación, la ausencia de disipadores para descargas de aguas residuales provenientes de diferentes colonias de las zonas 11 y 12, también problemas de erosión y socavamiento debido a estas descargas, provocando riesgos a deslizamientos que puedan ocurrir del lado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

---

<sup>1</sup> CEDESUD. *Evaluación Rápida y Estado del Arte de la Investigación de deslizamientos del Talud Quebrada del Frutal (Parque Las Ardillas USAC)*. p.2.



En los antecedentes del informe de la comisión interinstitucional conformada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología y la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres<sup>2</sup>, señalan que los primeros deslizamientos que se tiene en el barranco Las Ardillas están relacionados con el terremoto de 1976, la topografía del área se ha ido modificando con el transcurrir del tiempo, aumentando los daños con el paso de las tormentas Mitch, Stan y Agatha debido a la intensidad pluvial provocando saturación de los suelos y produciendo deslizamientos, erosiones y formación de cárcavas.

Se describe en el informe<sup>2</sup> que, desde principios de la década de los años 90, se desviaron hacia el barranco las aguas negras de varios asentamientos y colonias vecinas, asimismo, el aumento en las construcciones a los alrededores imponiendo sus efectos sobre las laderas del barranco y produciendo asentamientos de terreno en las orillas del barranco, deslizamientos, erosiones, socavaciones, entre otros.

El informe describe que la serie de deslizamientos ocurridos, han producido caída de árboles y acumulación de basura dentro del cauce principal del río de aguas negras que discurre al fondo del barranco, lo que ha desviado el cauce de este (figura 1), como consecuencia, el cauce presentó una orientación hacia las paredes del barranco, provocando socavamiento en las bases y propiciando deslizamientos de suelo en épocas de crecida.

El informe<sup>3</sup> indica que la pérdida de cubierta vegetal ha tenido una relación estrecha con el aumento de las construcciones en las cercanías del barranco,

---

<sup>2</sup> CONRED. *Informe de la Evaluación de Seguimiento y susceptibilidad en Área Colindante Quebrada el Frutal, parque Las Ardillas, USAC, Guatemala. p.1-6.*

desvío de aguas servidas hacia este y el inadecuado drenado de las aguas pluviales, estas descargas están expuestas directamente a la ladera por lo que también han provocado problemas de arrastre y erosión del suelo propiciando a deslizamientos en áreas donde el suelo se mantiene húmedo y saturado.

Figura 1. **Desvío del cauce principal a lo largo del barranco Las Ardillas**



Fuente: INSIVUMEH y CONRED, 2013. p.5.

Debido al avance de deslizamientos en el barranco Las Ardillas, a inmediaciones de la Editorial Universitaria, la Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (SE-CONRED) evaluó la

quebrada El Frutal generando el informe de CONRED<sup>3</sup>, donde se hace mención de la inestabilidad de laderas y socavación en las bases de éstas, en dicho informe se indica que se inspeccionaron las instalaciones de la Editorial Universitaria, la cual presentaba daños en algunas de sus estructuras, principalmente las ménsulas que soportan las vigas que a su vez forman parte del techo de concreto del inmueble, por lo que se recomendó trasladar la Editorial Universitaria por su cercanía al borde de la ladera.

Por medio del oficio Cedesyd.63.05.14 (anexo 1), se estableció que el Edificio de Editorial Universitaria, servicios sanitarios, bodega y vivero de la unidad de medio ambiente, bodega de mantenimiento de la dirección de servicios generales, taller de herrería, carpintería, vestidores y vivero del departamento de urbanización y construcción de la dirección de servicios generales, se encuentran en una zona de alto riesgo e inhabitable, por lo que se dictaminó desalojar dichos inmuebles. El oficio Cedesyd.63.05.14 fue avalado mediante el Acuerdo de Rectoría 783-2014 (anexo 2) donde se autorizó el desalojo de las instalaciones en zonas de alto riesgo.

Para el 2016 se procedió a la evacuación del personal y equipo de la Editorial Universitaria, edificio que presentaba mayor exposición a la ladera.

### **1.3. Macrolocalización**

El barranco Las Ardillas donde se realizó el proyecto del análisis de estabilidad de taludes mediante la modelación de superficies de deslizamiento se encuentra en la zona 12 del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala, Guatemala.

---

<sup>3</sup> CONRED. *Informe de evaluación en el parque ecológico Las Ardillas, ciudad universitaria, zona 12, ciudad capital. p.1-9.*

Figura 2. **Macrolocalización**



Fuente: [wikipedia.org/wiki/Archivo:Guatemala\\_departamento.png](http://wikipedia.org/wiki/Archivo:Guatemala_departamento.png). Consulta: 20 de abril de 2018.

#### 1.4. **Microlocalización**

El barranco Las Ardillas está ubicado en el lado derecho del periférico interno de la Universidad de San Carlos de Guatemala, entrando por el lado de la Avenida Petapa o del Anillo Periférico sur de Guatemala, iniciando desde el edificio T-1 de la facultad de Arquitectura, hasta la planta de tratamiento de aguas residuales de dicha entidad educativa.

Figura 3. **Microlocalización**



Fuente: elaboración propia con datos de [usac.edu.gt/mapausac.php](http://usac.edu.gt/mapausac.php). Consulta: 20 de abril de 2018.

## 1.5. Georreferenciación

La estación de referencia más cercana establecida por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es la placa denominada rectoría 2 ubicada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala a una altitud de 1 484,012 m.

- Coordenadas geográficas (Sistema de Coordenada Geodésico WGS84)  
Latitud: 14° 35' 09,42684" N  
Longitud: 90° 33' 16,16088" W
- Coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator)  
Zona: 15  
Este (X): 763480,0811  
Norte (Y): 1613947,9288
- Coordenadas GTM (Guatemala Transversal Mercator)  
Zona: 15,5  
Este (X): 494129,7164  
Norte (Y): 1612854,5991

Figura 4. **Ubicación de la placa rectoría 2, propiedad del IGN**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).



## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Acuerdo Gubernativo 179-2001**

Uno de los eventos de origen natural de gran importancia que afectó al país a finales de los años 90s, fue el huracán Mitch, ingresó al país como tormenta tropical el 27 de octubre de 1998, el cual produjo una serie de eventos, entre ellos, inundaciones, arrastre y deposición de sedimentos, crecidas y movimientos de terrenos y laderas en muchas áreas del país, los cuales provocaron daños materiales y pérdidas humanas (Prensa Libre, 29 de octubre de 2017). En aquella época, también se estaba dando una serie de proyectos como parte del desarrollo y urbanización en diferentes áreas de Villa Nueva y Amatitlán, ubicando proyectos importantes dentro de zonas con riesgos a inundaciones, así como también la ubicación y poblado acelerado en asentamientos ubicados en orillas de barrancos dentro y fuera de la Ciudad de Guatemala.

Con base en los desastres provocados y con el fin de tener un mayor control sobre proyectos de inversión, la Junta y Secretaria Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres SE-CONRED con fecha 6 de abril de 2001, declaró sectores de alto riesgo las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, declaratoria que, con base en el dictamen técnico científico emitido por el Consejo Científico de CONRED, fue aprobada, avalada y ratificada por unanimidad por el Consejo Nacional para la Reducción de Desastres en sesión extraordinaria de fecha 2 de mayo de 2001, por lo que se emitió la normativa correspondiente a efecto de que la declaratoria tenga los efectos preventivos deseados siendo éste el Acuerdo Gubernativo 179-2001, estableciendo en el

artículo 8 del acuerdo que entraría en vigencia un día después de la publicado en el diario oficial (anexo 3).

En el Artículo 1 del Acuerdo Gubernativo 179-2001, se aprobó en su totalidad la declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya. En consecuencia, en los sectores a que se refiere este acuerdo no podrá desarrollarse, ni apoyarse ningún tipo de proyecto público ni privado, hasta que la amenaza u ocurrencia del desastre haya desaparecido.

Se hace mención en el Artículo 2 que los sectores declarados de alto riesgo, delimitadas de forma más detallada en el informe técnico científico emitido por el Consejo de la CONRED, se extiende a una distancia de 100 metros horizontales a cada lado de cada río, zanjón y quebrada existente, en el caso del río Villalobos, se considerará como tal, toda la zona de aluvión y delta del río, principalmente en los alrededores de los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, del departamento de Guatemala.

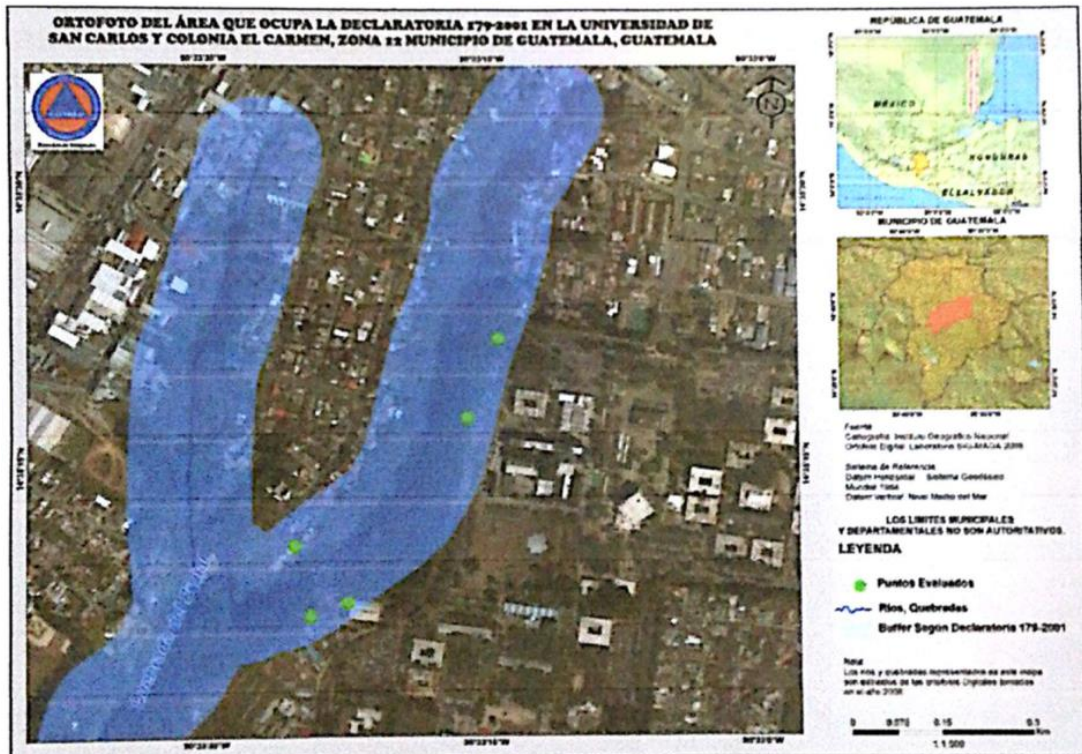
En el artículo 3 se señala que en caso de producirse alguna amenaza o hecho que ponga en riesgo la seguridad de personas o sus bienes, CONRED, en colaboración con las Coordinadores Regionales, Departamentales, Municipales o Locales para la Reducción de Desastres, deberá evacuar a un lugar seguro a las personas aunando esfuerzos con las municipalidades correspondientes.

Se prohíbe en el Artículo 4 el desfogue de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas; el aporte de desechos sólidos de actividades humanas, como sedimentos y basuras en los cuerpos de aguas; el desvío y modificación de cauces hídricos por extracciones y actividad humana en general y la explotación de materiales de construcción tanto en ríos como en bancos de préstamos y canteras.



Para prevenir la ocurrencia de desastres, en el artículo 5 de dicho acuerdo gubernativo, se recomienda a las entidades públicas competentes realizar trabajos de infraestructura urgentes para resguardar y proteger las obras de infraestructura existentes en el área; realizar estudios más detallados de amenazas y vulnerabilidad para definir los riesgos en forma más específica; establecer planes, programas y proyectos de conservación y manejo del área de interés.

Figura 5. Área de alto riesgo, Acuerdo Gubernativo 179-2001

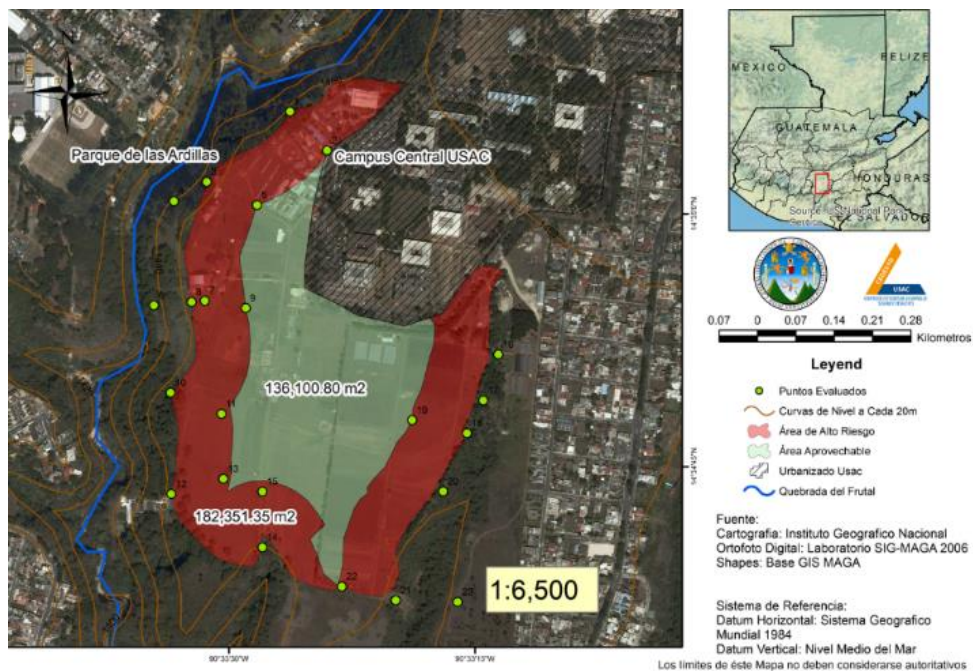


Fuente: CONRED. Informe DMI\_102\_20160610\_GABG.

## 2.2. Acuerdo de Cedesyd 001-2016

El 16 de octubre de 2015, el CEDESyd en conjunto con la Dirección General de Administración –DIGA- y la Coordinadora General de Planificación -CGP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó un reconocimiento de campo, posteriormente se emitió el Acuerdo de Cedesyd 001-2016 (Anexo 4) en el cual se citaron los mismos artículos establecidos en el Acuerdo Gubernativo 179-2001, sin embargo, en el mapa adjunto a dicho acuerdo, se consideró la distancia de 100 m a partir del extremo superior del barranco, por lo que aumentó considerablemente la distancia de alto riesgo, debido a que no se midió desde el cauce del río que discurre en el fondo del barranco; con base en dicho recorrido, se generó el mapa de zona de alta peligrosidad por deslizamiento.

Figura 6. Área de alto riesgo, Acuerdo de Cedesyd 001-2016



Fuente: CEDESyd. Acuerdo de Cedesyd 001-2016.

Con base en dicha delimitación y en resguardo de la integridad y seguridad de la población estudiantil y personal administrativo el CEDESyd en enero de 2016 solicitó mediante el oficio Of.Ref.Cedesyd.007.01.16 (Anexo 5) respaldo de la Rectoría mediante un Acuerdo de Rectoría, sin embargo, esta solicitud solo fue archivada y no se le dio ningún seguimiento.

Sin embargo, varias unidades académicas al enterarse y visualizar el mapa adjunto en el acuerdo de Cedesyd 001-2016 mostraron su preocupación por el riesgo que corren al estar cercanos o dentro de una zona de alto riesgo y el temor a que ocurra algún deslizamiento en el que se vean afectados.

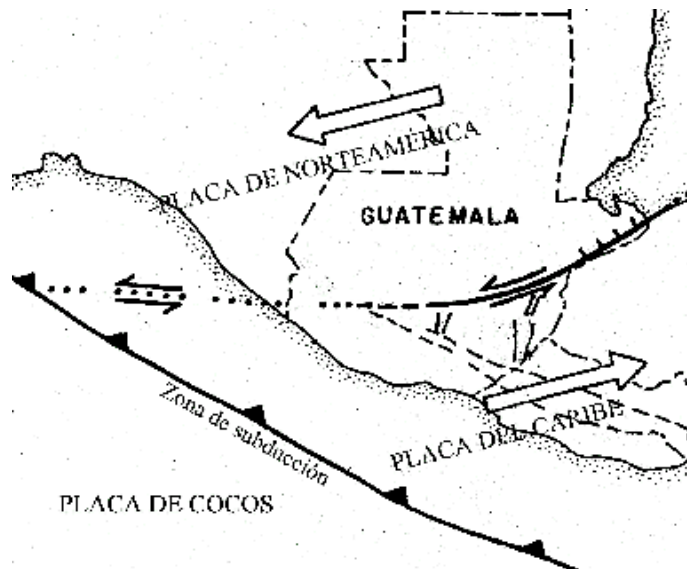


### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Geología de Guatemala

Guatemala se encuentra en una zona de alta sismicidad, ya que se encuentra repartida entre las placas tectónicas de Norteamérica, Caribe y Cocos. Los movimientos relativos entre estas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes (INSIVUMEH).

Figura 7. **Placas tectónicas de Guatemala**



Fuente: INSIVUMEH.

El contacto entre las placas de Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente, su manifestación en la superficie son las fallas de Chixoy-Polochic y Motagua. El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo

convergente, en el cual la placa de Cocos se inserta por debajo de la Placa del Caribe, fenómeno conocido como subducción (INSIVUMEH).

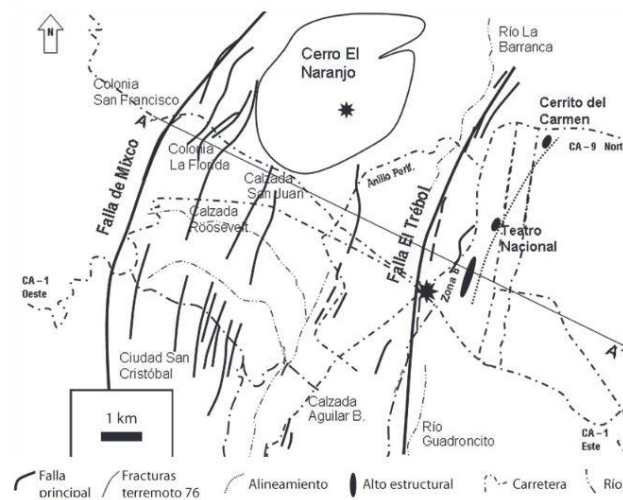
El movimiento relativo promedio de las placas es:

- Cocos-Caribe: 7,47 cm/año, azimut 25,3°
- Norte América-Caribe: 2,08 cm/año, azimut 252,4° a 1,7 cm/año
- Cocos-Norte América: 9,01 cm/año, azimut 350,0°

Debido a la interacción de las tres placas tectónicas, la superficie del país está altamente fracturada con fallas pequeñas y medianas como el Graben del Valle de Guatemala, Graben de Ipala; fallas conocidas tras el arco volcánico, Mixco, Santa Catarina Pinula, entre otros, como se visualiza en la figura 8. Al producirse fallas dentro del territorio y dada la topografía del país, pueden producir sismos locales muy intensos y como resultado pueden llegar a provocar deslizamientos de tierra en montañas pobladas lo que puede resultar en pérdidas materiales o humanas.

Los eventos sísmicos son capaces de inducir fuerzas de gran magnitud, las cuales pueden producir la falla rápida de taludes. Además, la resistencia al corte de un suelo puede reducirse a causa de cargas oscilatorias que generan deformaciones o debido a la generación de presiones altas de poros al interior del suelo. La combinación entre la acción de las cargas sísmicas y la disminución de la resistencia pueden producir una disminución considerable de la estabilidad. El caso más crítico, es cuando se trata de materiales no plásticos de grano fino como los limos o las arenas finas debido a la poca o nula cohesión entre las partículas de suelo.

Figura 8. **Fracturas provocadas por el terremoto de 1976**



Fuente: PÉREZ, Carlos. *Revista Geológica de América Central*. p.76.

En el análisis de estabilidad de taludes se requiere analizar cinco factores influyentes, los cuales se enumeran a continuación:

- Magnitud de la fuerza sísmica
- Disminución de la resistencia a causa de las cargas oscilatorias
- Disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros
- Efecto de la resonancia
- Amplificación de las cargas sísmicas por la presencia de suelos blandos

Entre los métodos de análisis más utilizados para la evaluación de la estabilidad de taludes debido a efectos sísmicos está el método pseudoestático en el cual las cargas del sismo son simuladas como cargas estáticas horizontales y verticales.

La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica en sus Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para

la república de Guatemala, presenta el procedimiento para calcular la aceleración máxima del suelo -AMS- (por sus siglas en inglés PGA) para un lugar específico, tomando en cuenta las características geológicas y sísmicas necesarias.

### **3.1.1. Geología del barranco Las Ardillas**

Según indica la hoja geológica Ciudad de Guatemala 2059-I, la unidad geológica que predomina en el barranco Las Ardillas es la denominada Qtd (Tephra Interestratificada con Diamictones pomáceos y sedimentos fluvio-lacustres), los Diamictones son rellenos de valle no clasificados, con sus cimas localmente estratificadas.

La geología del barranco Las Ardillas es típica del valle de la Ciudad de Guatemala, formada principalmente por intercalaciones de estratos de tobas volcánicas de diferente origen, lo que resulta en suelos poco cohesivos.

## **3.2. Caracterización de taludes**

Un talud se puede caracterizar dependiendo de sus orígenes, su topografía, sus propiedades fisicoquímicas y así como las ventajas y desventajas que conlleva la combinación de estas.

### **3.2.1. Definición de talud**

La Real Academia Española (RAE) define el término talud como una inclinación del paramento de un muro o de un terreno; paramento, por su parte, se vincula a las caras de un muro.








Para la geología, un talud es un cúmulo de trozos de roca que se forma en la cuenca de un valle o en la base de un acantilado. Por lo general muestran un aspecto cóncavo, orientado hacia arriba.

En referencia a lo anterior, talud, se refiere a cualquier superficie inclinada de suelo respecto a la horizontal, cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera, cuando son hechos por intervención humana, se denominan cortes o taludes artificiales.

En lo relacionado con la forma, los taludes pueden presentar cara plana o curvilínea y ésta puede ser cóncava o convexa, generando las diferentes condiciones para el drenado de las aguas superficiales.

Figura 9. **Respuestas geodinámicas de laderas con base en su forma**

Tipo de talud	Superficie	Condición de la ladera en relación con el agua superficial
	Plana	
	Convexa	Colectora
		Difusora
		Colectora
	Cóncava	Difusora

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.4.

Los taludes naturales, regularmente se encuentran sometidos a problemas de inestabilidad, ya que las fuerzas gravitacionales, árboles, edificios, entre otros

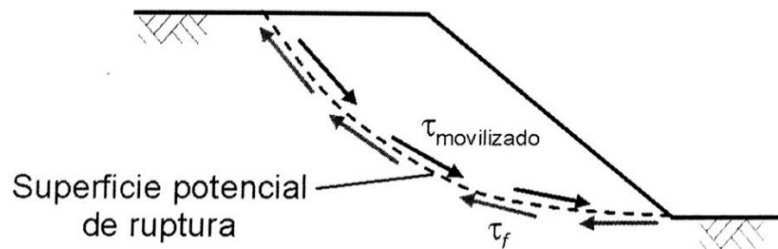
elementos imprimen peso sobre la superficie del talud, por lo que aumentan las probabilidades de movimientos de tierra.

### 3.2.2. Factores que producen la inestabilidad de taludes

Para que se produzca la inestabilidad y puesta en movimiento de una masa de tierra deben intervenir varios factores y modificarse de forma conjunta. Algunos de los factores que intervienen en ellos son catalogados como constantes o con poca variabilidad a lo largo del tiempo y factores variables, es decir, que sufren modificaciones cada cierto tiempo y de forma acelerada.

La inestabilidad de un talud inicia cuando los esfuerzos cortantes o de cizalladura igualan a la resistencia al corte, esta relación se conoce como factor de seguridad, la condición del factor de seguridad (FS) menor a 1,0 significa que la ladera es inestable y puede alcanzarse cuando hay aumento de los esfuerzos cortantes movilizados ( $\tau_{movilizado}$ ) o cuando hay disminución de la resistencia al corte ( $\tau_f$ ).

Figura 10. Clasificación de rotura por deslizamiento



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.25.

En referencia a dichos factores determinadores de la inestabilidad de un talud, se señalan los siguientes factores que influyen en los movimientos en masa.

Tabla I. Factores determinadores de movimientos en masa

Acción	Factores	Fenómenos geológicos/antrópicos
Aumento de cargas aplicadas ( $\tau_{movilizado}$ )	Remoción en masa	Erosión.
		Deslizamientos.
		Cortes
	Sobrecarga	Peso del agua de lluvia, granizo, nieve. Acumulación natural de materiales.
		Peso de la vegetación.  Construcción de obras e infraestructura.
	Cargas dinámicas	Terremotos, erupciones volcánicas.
		Explosiones, tráfico, sismos inducidos.
	Presiones laterales	Agua en las grietas.
		Congelamiento.
		Material expansivo.
Reducción de resistencia al corte ( $\tau_f$ )	Características inherentes al material	Características geomecánicas del material (geometría, estructuras, entre otros.).
		Acción del intemperismo que causa alteraciones fisicoquímicas de los minerales
		Procesos de deformación como consecuencia de variaciones cíclicas de humedecimiento y secado.
		Variación de presiones de poros.
		Elevación del nivel freático por cambios en el patrón natural del flujo (construcción de embalses, procesos de urbanización, entre otros).
		Infiltración de agua en medios no saturados que causa reducción de las presiones de poros negativas (succión).
		Generación de excesos de presión de poros debido a construcción de obras.

Continuación de la tabla I.

Flujo preferencial a través de grietas que acelera los procesos de infiltración.

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.25.

Dependiendo de la variación en uno o varios de los factores descritos anteriormente, influirá en gran medida sobre el comportamiento del talud a lo largo del tiempo, en consecuencia, la lenta o acelerada modificación de estos en lo que se refiere a movimientos en masa.

### 3.2.3. Tipos de movimientos en masa

El movimiento en masa como cualquier deslizamiento de un volumen determinado de suelo, asociados con problemas de inestabilidad de laderas. Existen diversas propuestas de clasificación de movimientos en masas, sin embargo, la más utilizada a nivel internacional es la clasificación Varnes, 1978.

Tabla II. **Clasificación de movimientos de falla de taludes**

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca	Suelo Ingenieril	
			Grueso	Fino
Caídas		De roca	De detritos	De tierra
Volcamiento		De roca	De detritos	De tierra
<b>Deslizamiento</b>	Rotacional Pocas unidades	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
	Traslacional Muchas unidades	De bloques rocosos	De bloques de detritos	De bloques de tierra
<b>Propagación lateral</b>		De roca	De detritos	De tierra
		De roca	De detritos	De tierra
<b>Flujos</b>		De roca (Superficial profundo)	De detritos	De tierra
			(Superficial de suelo)	
<b>Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos</b>				

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.7.

Tabla III. **Movimientos en masa según la velocidad en que se produce**

<b>Designación</b>	<b>Velocidad</b>
Extremadamente lento	<0,06m/año
Muy lento	0,06m/año a 1,60m/año
Lento	1,50m/año a 1,60m/mes
Moderado	1,50m/mes a 1,60m/día
Rápido	1,50m/día a 0,30m/min
Muy rápido	0,30m/min a 3,00m/s
Extremadamente rápido	>3,00m/s

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.8.

Tabla IV. **Movimientos en masa según la profundidad en la que se produce**

<b>Designación</b>	<b>Profundidad</b>
Superficial	<1,50m
Poco profundo	1,50 a 5,00m
Profundo	6,00 a 20,00m
Muy profundo	>20,00m

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.8.

Tabla V. **Clasificación de movimientos en masa según como se producen**

<b>Procesos</b>	<b>Características del movimiento, materiales y geometría</b>
Reptación o flujo	Varios planos de deslizamiento (internos). Velocidades muy bajas (cm/año) a bajas y decrecientes con la profundidad. Movimientos constantes, estacionales o intermitentes. Suelo, depósitos, roca alterada/fracturada. Geometría indefinida.
Deslizamiento	Pocos planos de deslizamiento (externos). Velocidades medias (m/h) a altas (m/s). Pequeños a grandes volúmenes de materiales. Geometría y materiales variables. Planares: suelos de espesor pequeño, suelos y rocas con un plano débil.

Continuación de la tabla V.

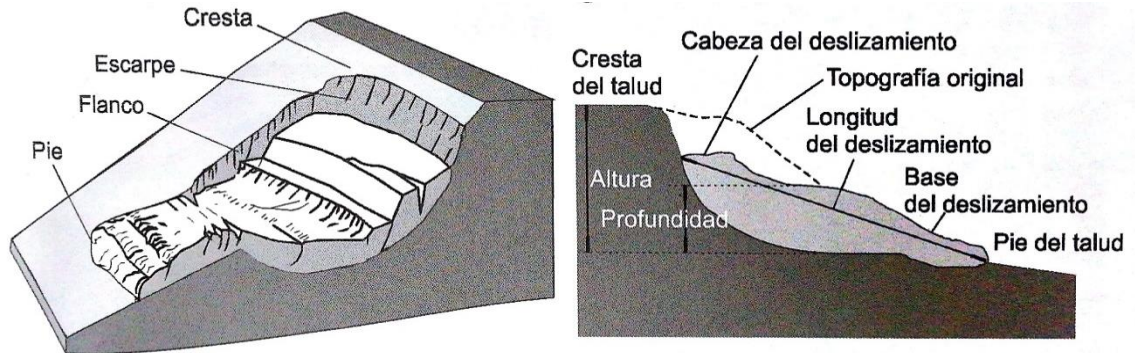
	Circulares: suelos homogéneos de gran espesor y rocas muy fracturadas. En cuña: suelos y rocas con dos planos débiles
Caída	Sin planos de deslizamiento Movimientos del tipo de caída libre o en plano inclinado Velocidades muy altas (varios m/s). Material rocoso. Volúmenes pequeños a medianos. Geometría variable: losas, placas, bloques, etc. Rodado de rocas Volcamiento
Flujos/avalanchas	Muchas superficies de deslizamiento (internas y externas de la masa en movimiento). Movimiento semejante al de un líquido viscoso. Desarrollo a lo largo de cauces y cañadas. Velocidades medias a altas. Movilización de suelo, roca, detritos y agua. Grandes volúmenes de materiales. Grandes distancias de recorrido, aún en áreas planas.

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.9.

#### 3.2.4. Deslizamientos

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo, es decir, son movimientos en masa de velocidad media a rápida, con superficies de rotura bien definidos, que ocurren cuando los esfuerzos de corte movilizados en la masa de suelo igualan o superan la resistencia al corte del material, Los términos utilizados para designar los elementos de un talud donde se produce movimiento de masa son:

Figura 11. **Elementos que caracterizan una masa deslizada**



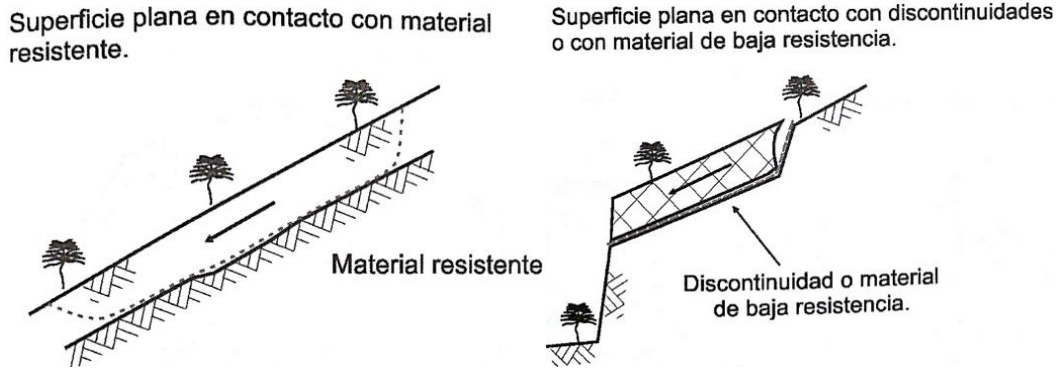
Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.19.

Un talud natural puede estar constituido por suelo residual, coluviones o roca, el suelo residual, se forma a partir de la acción del intemperismo químico o físico de la roca sana, por lo que puede presentar diferentes horizontes y normalmente estos permanecen en el sitio en que fueron formados por meteorización de las rocas. El suelo coluvial en cambio es un material heterogéneo constituido por fragmentos de roca sana o con señales de meteorización mezclados con otro tipo de suelos, estos depósitos son el resultado de transporte de suelos y rocas por acción de la gravedad.

- Clasificación de deslizamientos según la forma de la superficie de rotura:

Superficie de rotura planar o traslacional: se distinguen por tener discontinuidades o planos de debilidad, es muy común en mantos coluviales de poco espesor.

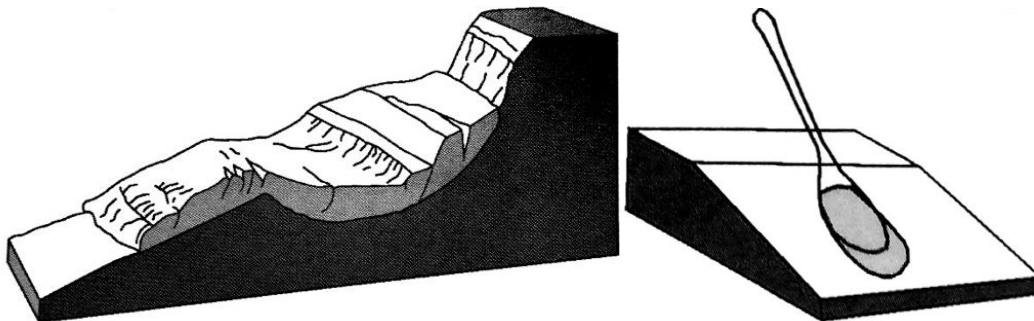
Figura 12. **Deslizamiento de superficie en forma planar o traslacional**



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.21.

Superficie de rotura circular: conocido también como deslizamiento rotacional, normalmente se producen en suelos relativamente homogéneos y este tipo de deslizamiento ocurre en forma tridimensional, ya sea como golpe de cuchara o en forma cilíndrica.

Figura 13. **Deslizamiento de tipo circular**

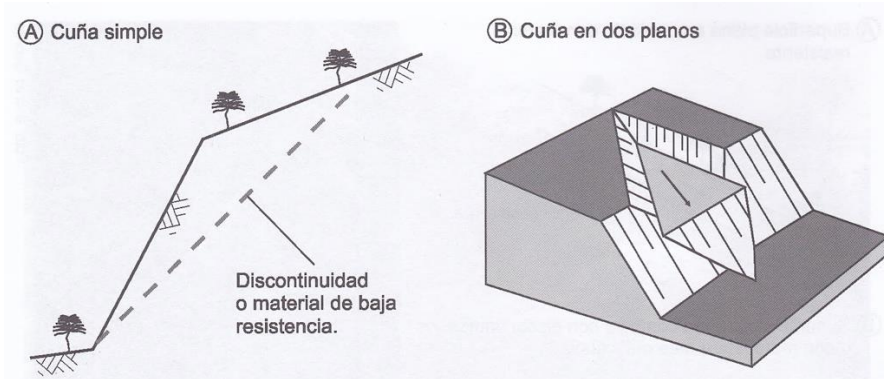


Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.22.

Superficie de rotura en cuña: cuando los planos de debilidad se cruzan o cuando las capas de menor resistencia no son paralelas a la superficie del talud.



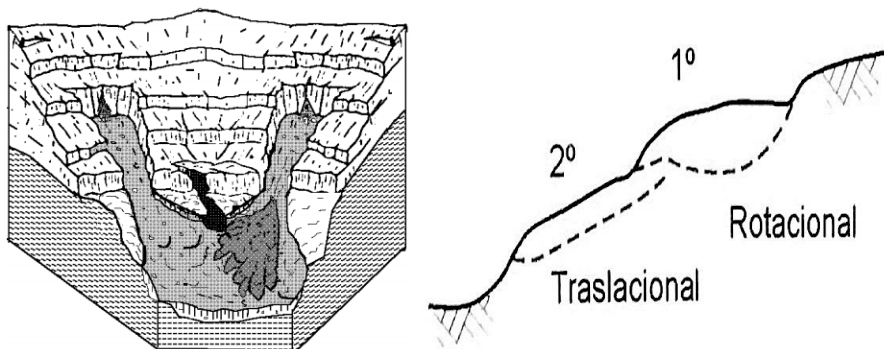
Figura 14. Deslizamiento en forma de cuña



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.22.

Superficie de rotura mixta: se producen cuando hay heterogeneidad en el talud caracterizada por la existencia de materiales o discontinuidades con resistencias más bajas.

Figura 15. Superficie de rotura mixta



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.23.

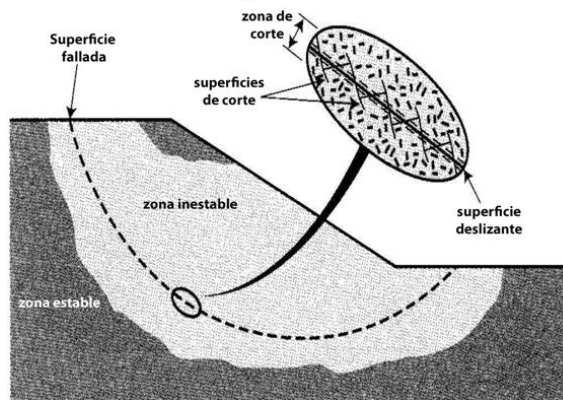
### 3.3. Estabilidad de taludes

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes consiste en evaluar la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos de masas de suelo

existentes en taludes naturales, artificiales o construidos y establecer medidas de control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Los métodos de análisis de taludes establecen que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto a la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno.

Figura 16. **Rotura de talud en área de inestabilidad**



Fuente: Elaboración propia con datos de Matteis.

Al momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizadada y el terreno se encuentra, en su totalidad en equilibrio estático.

### 3.3.1. Factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) Se define como el valor que cuantifica relación entre las condiciones reales que presenta el talud ( $\tau_f$ ) y las condiciones que llevan a su rotura ( $\tau_{movilizado}$ ). La expresión del factor de seguridad viene dada por:

$$FS = \frac{\int \tau_f \cdot ds}{\int \tau_{mov} \cdot ds}$$

Donde:

$\tau_f$ = es la resistencia al corte máximo que se puede movilizar a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

$\tau_{mov}$ = es el o los esfuerzos cortantes movilizados a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

$ds$ = es el diferencial de longitud a lo largo de la superficie de deslizamiento.

El valor del factor de seguridad admisible ( $FS_{adm}$ ) corresponde a un valor mínimo que se debe alcanzar, regularmente el factor de seguridad para establecer un talud como estable se suele tomar entre 1,1 a 1,5 y varía en función del tipo de proyecto y la vida útil que se le dará al estudio de estabilidad; el valor del  $FS_{adm}$  dependerá entonces entre otros factores, de las consecuencias que puede provocar, en el caso de la norma brasileña NBR 11682 (ABNT como se citó en Gerscovich, 2015) considera un valor de factor de seguridad por los riesgos a pérdidas humanas (tabla VI) y a pérdidas materiales (tabla VII).

Tabla VI. **Nivel de seguridad recomendado contra pérdidas humanas**

<b>Nivel de seguridad</b>	<b>Criterios</b>
Alto	Áreas con una intensa movilización y permanencia de personas, como edificios públicos o de uso industrial o residencial, estadios, plazas, lugares urbanos o con la posibilidad de alta concentración de personas.
	Ferrocarriles y carreteras con tráfico intensa
Medio	Áreas y edificaciones con movimiento y permanencia restringida de personas
Bajo	Áreas y edificaciones con movimiento y permanencia eventual de personas
	Ferrocarriles y carreteras de tráfico reducido

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.96.

Tabla VII. **Nivel de seguridad recomendado contra daños materiales**

Nivel de seguridad	Criterios
Alto	Daños materiales: localidades o instalaciones cercanas a construcciones de alto valor histórico, social o patrimonial, las grandes obras y las áreas que afectan los servicios esenciales. Daños ambientales: lugares expuestos a accidentes ambientales graves.
Medio	Daños materiales: localidades o instalaciones cercanas a construcciones o predios de valor moderado. Daños ambientales: Lugares expuestos a accidentes ambientales moderados.
Bajo	Daños a la propiedad: localidades o instalaciones cercanas a construcciones o predios de valor reducido. Daños al medio ambiente: lugares expuestos a accidentes ambientales pequeños.

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.96.

En la ponderación del factor de seguridad, se toma en consideración no solo las condiciones actuales, sino también el uso futuro que se puede proyectar al área, la preservación del talud contra excavaciones, la deforestación, aplicación de sobrecargas e inadecuada evacuación de la precipitación pluvial, entre otros. En la tabla VIII se presenta una recomendación de la norma brasileña NBR 11682 para valores del factor de seguridad admisible. La clasificación que se describe en la tabla VIII, ha sido específicamente para un talud natural o en su defecto, talud artificial sin reforzamiento. Hay que recordar que un talud natural puede estar constituido por suelo residual, coluviones o roca.

Tabla VIII. **Factores de seguridad mínimos para deslizamientos**

Nivel de seguridad contra daños materiales y ambientales	Nivel de seguridad contra la vida humana		
	Alto	Medio	Bajo
Alto	1.5	1.5	1.4
Medio	1.5	1.4	1.3
Bajo	1.4	1.3	1.2

Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.97.

Para la determinación del valor del factor de seguridad existen dos enfoques que se practican en la geotecnia los cuales son: probabilístico y determinístico.

### 3.3.1.1. Planteamiento probabilístico

Este planteamiento considera la probabilidad de la rotura de un talud bajo unas condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en el análisis, lo que implica una mayor dificultad por la gran cantidad de datos necesarios.

### 3.3.1.2. Planteamiento determinístico

Consisten en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que controlan el comportamiento del material para, a partir de ellos y de las leyes de comportamiento adecuadas, definir el estado de estabilidad o el factor de seguridad del talud, estos métodos se dividen en métodos de equilibrio límite, método numérico y método dinámico.

En general, los análisis se realizan mediante la comparación de los esfuerzos cortantes movilizados ( $\tau_{mov}$ ) con la resistencia al corte ( $\tau_f$ ), definiendo el factor de seguridad como:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mov}} \quad \left| \begin{array}{l} < 1 & \text{Talud inestable} \\ = 1 & \text{Equilibrio límite} \\ > 1 & \text{Talud estable} \end{array} \right|$$

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas

actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la fuerza actuante, partiendo de los pesos que soporta el suelo obteniendo un valor del Factor de Seguridad.

### **3.3.2. Métodos para el cálculo del factor de seguridad**

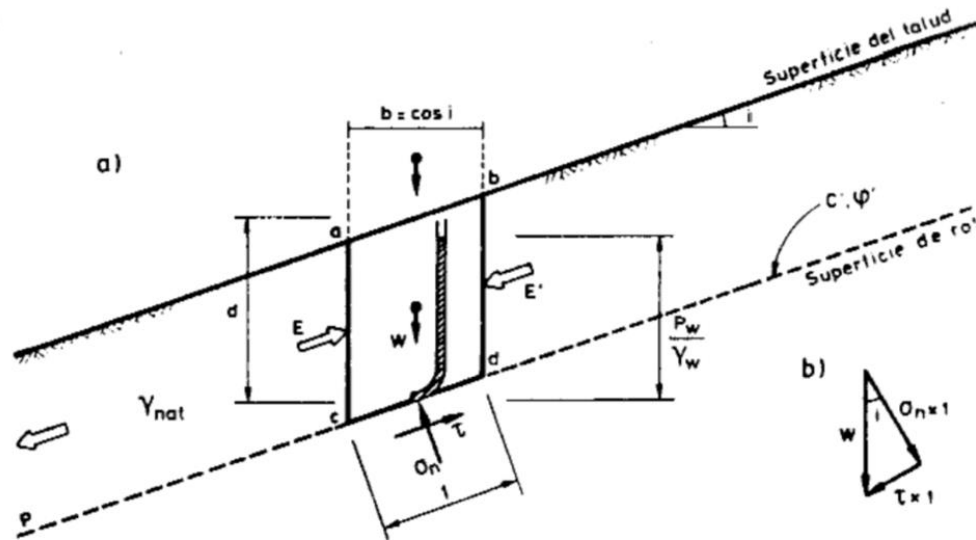
Los métodos para el análisis de estabilidad, frente a la rotura de un talud, según como se estudie la masa de suelo desplazado, se clasifica en tres tipos, los cuales son:

- Análisis de roturas planas de taludes infinitos
- Método de la masa total
- Método de las rebanadas

#### **3.3.2.1. Análisis de talud infinito**

Método especialmente adecuado para movimientos traslacionales en los que la superficie de deslizamiento es paralela a la superficie topográfica con un ancho considerable en el eje perpendicular al deslizamiento. En estos casos se supone que el deslizamiento se produce sobre una superficie paralela a la superficie topográfica con un ángulo constante, tanto las características geomecánicas como geológicas se consideran constantes en toda la vertiente.

Figura 17. Esquema para el análisis de un talud infinito

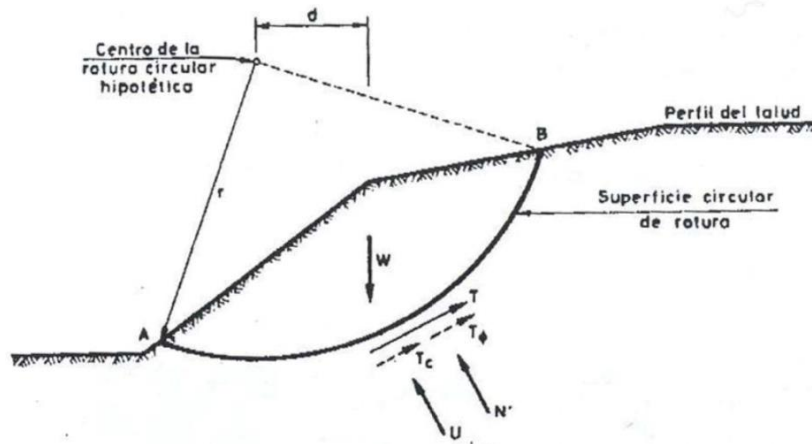


Fuente: ALONSO, Eduardo. *Análisis de la estabilidad de taludes*. p.5.

### 3.3.2.2. Métodos de la masa total

Estos métodos consideran la masa desplazada como un solo bloque que se mueve uniformemente en el que se imponen las condiciones de equilibrio. Las fuerzas que actúan sobre la superficie de rotura son: el propio peso de la masa desplazada,  $W$ ; la presión intersticial distribuida a lo largo de la superficie de rotura,  $U$ ; la tensión tangencial,  $T$ ; y la tensión normal,  $N$ . En este caso todas las fuerzas que intervienen en el equilibrio se consideran puntuales.

Figura 18. **Fuerzas actuantes con el método de la masa total**

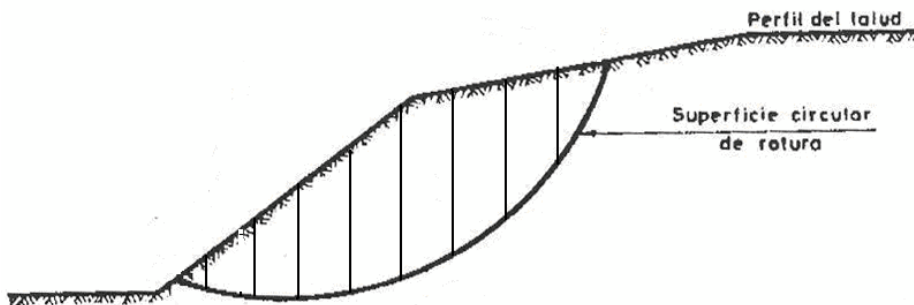


Fuente: ALONSO, Eduardo. *Análisis de la estabilidad de taludes*. p.6.

### 3.3.2.3. Métodos de rebanadas

El método de las rebanadas trata de dividir la masa total desplazada en rebanadas que pasan a considerarse como sólidos rígidos, de esta forma, la masa desplazada queda subdividida, y en cada subdivisión se imponen las condiciones de equilibrio.

Figura 19. **Esquema de superficie por el método de rebanadas**



Fuente: ALONSO, Eduardo. *Análisis de la estabilidad de taludes*. p.6.



Mediante el uso del método de las rebanadas se consigue, por un lado, una mejor aproximación a la distribución de tensiones normales a lo largo de la superficie de rotura, dicha distribución se verá afectada por la altura de terreno que haya en cada rebanada; por otro lado, mediante el uso del método de las rebanadas, se facilita el análisis de terrenos en el que el material no es homogéneo puesto que solo es necesario definir las rebanadas de manera adecuada al terreno.

### **3.3.3. Métodos de análisis de estabilidad de taludes**

El planteamiento determinístico, como ya se describió, consiste en dividir la masa deslizada en tajadas y existen dos tipos de enfoques para establecer el FS, la teoría del equilibrio límite y el análisis de estabilidad de esfuerzos.

#### **3.3.3.1. Equilibrio límite**

Para el análisis de los movimientos en masa, regularmente se han utilizado las técnicas del equilibrio límite, estos consisten en la determinación del equilibrio de una masa activa de suelo, la cual se puede delimitar por una superficie de falla circular, poligonal o de cualquier otra geometría.

El método supone que la falla se produce a lo largo de una superficie en que todos los elementos que la forman alcanzan simultáneamente la misma condición de  $FS=1$ . Se describen las siguientes premisas, que asume la teoría del equilibrio límite:

- Se postula un mecanismo de falla con una determinada superficie potencial de rotura, circular, planar, entre otros; el suelo abarcado por

dicha superficie se considera como un cuerpo libre y es subdividido en tajadas.

- Se aplican las ecuaciones de estática para hallar el equilibrio de cada tajada.
- En los análisis, se determina el esfuerzo cortante movilizado ( $\tau_{mov}$ ) a lo largo de la superficie de falla, de manera que la masa de suelo se encuentre en estado de equilibrio límite.
- Se admite que el FS hallado sea constante en toda la superficie de falla, es decir, los puntos a lo largo de dicha superficie alcanzan simultáneamente la resistencia al corte (FS=1).
- Se determina la superficie crítica de falla asociada al FS mínimo, mediante un proceso de búsqueda de la superficie crítica, con ello se determinan los contornos del FS, los cuales por lo general tienden a presentar una forma elíptica, cuyo eje mayor se acerca a la superficie del talud.

Entre los métodos que considera el equilibrio límite, los métodos de análisis por dovelas son los más utilizados en estudios de estabilidad ya que no presentan restricciones en cuanto a homogeneidad del suelo, geometría del talud y tipo de análisis en cuanto a esfuerzos totales o efectivos.

Los métodos de dovelas consideran al problema bidimensional, por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo, los métodos de dovelas se pueden clasificar en dos grupos (Anexo 6):

- Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática, entre ellos están los métodos de Fellenius, Lowe-Karfiath, Bishop simplificado (anexo 6).

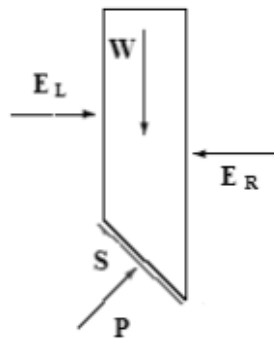
- Métodos precisos: cumplen todas las ecuaciones de la estática, entre los más conocidos son los métodos de Bishop riguroso, Morgenstern-Price, Janbu y Spencer (anexo 6).

### 3.3.3.1.1. Método de Bishop

Bishop desarrolló en 1955, un método de rebanadas utilizado en superficies de falla circulares. El método de Bishop asume las siguientes hipótesis.

- Se supone una superficie de ruptura circular.
- La masa deslizante se divide en  $n$  rebanas o bloques verticales.
- Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto el centro del círculo.
- A partir de la condición de equilibrio de fuerzas verticales de cada rebanada se obtienen las fuerzas  $N$  (normales a la superficie de ruptura) y se sustituyen a la ecuación resultante del equilibrio de momentos.
- El Método de Bishop ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas. Por otro lado, considera las normales.

Figura 20. **Fuerzas actuantes, método de Bishop**



- $W$  son cargas verticales externas
- $E_L$  y  $E_R$  son las fuerzas normales izquierda y derecha entre rebanadas
- $P$  y  $S$  son la fuerza normal y tangencial a la base de la rebanada

Fuente: ALONSO, Eduardo. *Análisis de la estabilidad de taludes*. p.9.

Obtenido el valor del Factor de Seguridad de la superficie considerada, se supone una segunda superficie circular y se determina un nuevo valor de FS, normalmente, las ecuaciones se programan y se analizan círculos con diferentes radios y centros hasta que se consigue el que proporciona un valor del Factor de Seguridad mínimo, mediante el uso de software geotécnicos, este proceso se puede acelerar y ayuda a obtener resultados más precisos.

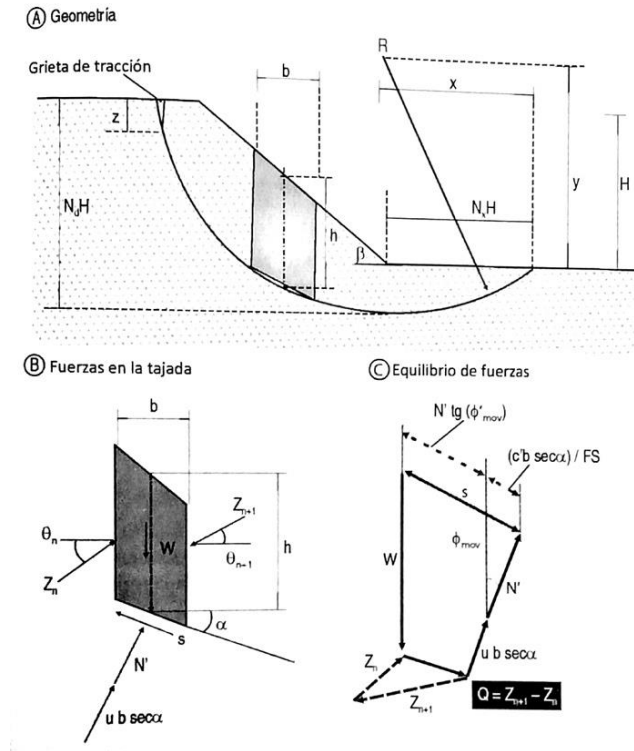
El método asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero, reduciendo el número de incógnitas. Aunque el problema este sobredeterminado, el equilibrio horizontal no se satisface ya que ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas.

#### **3.3.3.1.2. Método de Spencer**

Este método fue desarrollado inicialmente para roturas circulares, el método de Spencer (1967) puede ser aplicado a superficies no circulares siempre que se adopte un centro de rotación friccional. Es un método que para realizar el proceso de análisis requiere de un ordenador, ya que requiere de cientos de iteraciones para llegar a determinar el factor de seguridad para satisfacer totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos.

El método de Spencer propone satisfacer todas las ecuaciones de equilibrio y no despreciar las fuerzas entre tajadas y se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas unas con las otras, es decir, que tienen el mismo ángulo de inclinación. La inclinación de estas fuerzas entre partículas es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. La geometría, los esfuerzos actuantes y las condiciones generales para el empleo del método Spencer son.

Figura 21. Esfuerzos actuantes, método de Spencer



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.155.

- El método admite la existencia de una grieta de tracción
- Las fuerzas entre tajadas (X, Y) se pueden representar por sus resultantes ( $Z_n$  y  $Z_{n+1}$ ), cuya fuerza es dada por una fuerza Q con inclinación  $\theta$ .
- La resultante Q se define en términos de esfuerzos totales, por lo que incluye una porción efectiva y la presión del agua actuante en la cara de la tajada.
- Para que exista equilibrio, la resultante de las fuerzas entre tajadas (Q) para por el punto de intersección de las demás fuerzas actuantes en la tajada (W, N y S).

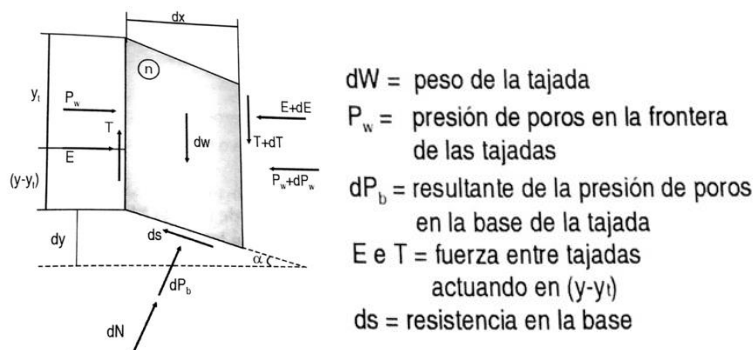
### 3.3.3.1.3. Método de Morgenstern-Price

Al igual que los métodos anteriores, este método se puede aplicar tanto a superficies de rotura circulares como a superficies de rotura no circulares. Es el método más general de equilibrio límite para una superficie cualquiera.

Es un método parecido al método de Spencer, con la diferencia de que el método de Spencer asume inclinaciones constantes para las fuerzas entre dovelas y el método de Morgenstern-Price asume que los valores de estas inclinaciones varían sistemáticamente a través de la masa deslizada, permitiendo la especificación de las fuerzas entre rebanadas, en consecuencia, las tensiones y las fuerzas varían continuamente en toda la superficie.

Los esfuerzos actuantes en tajadas infinitesimales se representan a renglón seguido, como se visualiza en la figura 22.

Figura 22. Fuerzas actuantes, método Morgenstern-Price



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.163.

El método de Morgenstern-Price, al igual que Spencer, es muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo y por la

precisión de este método, también requiere del uso de ordenadores y software específico para análisis de taludes.

### 3.4. Fotogrametría

Etimológicamente, la palabra fotogrametría procede de phos, photos, luz; gramma, trazado, dibujo; y metrón, medir. La fotogrametría como la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de fotografías, para obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado. La fotogrametría se clasifica en:

Tabla IX. **Clasificación de la fotogrametría**

Según tipo de fotografía	Terrestre
	Aérea
Según tipo de tratamiento	Analógica
	Analítica
	Digital

Fuente: SÁNCHEZ, Ángela. *Aplicación de la fotogrametría digital para levantamiento gráfico de Casa de los Cosidó en Elche*. p.12.

A partir de vuelos con vehículos aéreos no tripulados (UAV), conocidos regularmente en el medio como drones, cada vez con mejores funcionalidades y mayor precisión, se han vuelto de gran utilidad como una herramienta auxiliar en la topografía para la realización de trabajos de fotogrametría digital y acelerando los procesos de obtención de ortofotos, ya que anteriormente, para lograr ortofotos de áreas determinadas, se recurría a una avioneta, con cámaras adaptadas, lo que aumentaba considerablemente los costos de cualquier proyecto y demás dificultades para llevar a cabo la realización de ortofotos de áreas de pequeñas extensiones.

Entre las ventajas del uso de estos aparatos de sensoramiento remoto sobre otros equipos con fines topográficos están las siguientes:

- Eficiencia y fiabilidad: minimiza los costos de los procesos y reduce los tiempos empleados, ya que se modela de una sola vez toda la zona, y posteriormente se toman las medidas necesarias en el modelo, evitando trabajo de campo posterior.
- Alcance y rendimiento: se obtiene mayor cobertura al alcanzar zonas de difícil acceso para las personas, espacios inaccesibles, existencia de bosques, salientes en precipicios, áreas propensas a deslizamientos, inundaciones, terrenos empinados, entre otros.
- Seguridad y coste: mejora significativamente la seguridad de los trabajadores, al no tener que trabajar en zonas de riesgo reduciendo costos personales y de herramientas para la topografía.
- Documentación e información: proporciona capturas de millones de puntos además de tomar sus datos de color, proporcionando el aspecto preciso de las superficies que muestran las nubes de puntos de alta resolución obtenidas.

Los drones, por ser vehículos no tripulados, se maneja a partir de un controlador y se configura previamente, para la realización de los vuelos y la toma de fotografías aéreas, por ello, el controlador físico de los drones necesita de un dispositivo móvil ya sea celular o tableta de sistemas operativos, Android, iOS u otro; para tener acceso a la visualización, manipulación y manejo del dron a través de estos dispositivos se requiere la instalación de las aplicaciones Ctrl+DJI y Pix4Dcapture.

Tras la realización de los vuelos y la toma de fotografías aéreas por los drones, se procede el procesamiento de información con la ayuda de software de



procesamiento específicos como el Agisoft PhotoScan en el que se crea una nube de puntos extensa para clasificar los elementos espaciales, tales como árboles, calles, vehículos, edificios, entre otros elementos que no forman parte de la superficie terrestre; posteriormente se crea el modelo del terreno con los elementos existentes en la superficie, conocido regularmente en el campo de la fotogrametría como Modelo Digital de la superficie (DSM).

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la Tierra desnuda. un DSM crea un relieve de la tierra incluyendo la vegetación, edificaciones y objetos presentes.

Figura 23. **Nivel de detalle de un modelo digital de superficie (DSM)**



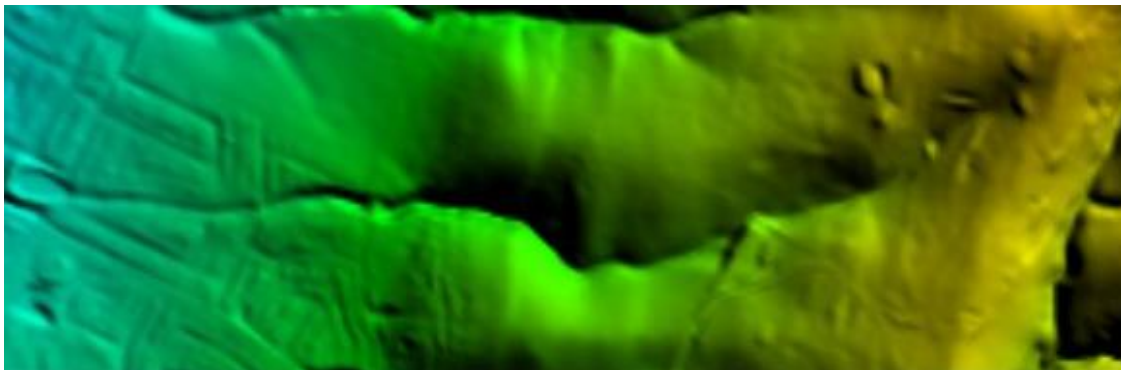
Fuente: SINGH, Saurabh. *Confused Between DEM, DTM and DSM*.

<http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/>. Consulta: 03 de abril de 2018.

Con base en la clasificación de los elementos existentes en el DSM, se procede a eliminar los puntos inservibles del proyecto para obtener solo la topografía del terreno, conocido como Modelo Digital del Terreno (DTM) como se observa en la figura 24.

Un Modelo Digital del Terreno (DTM) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. Incluyendo no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, entre otros.

Figura 24. **Nivel de detalle de un modelo digital del terreno (DTM)**



Fuente: SINGH, Saurabh. *Confused Between DEM, DTM and DSM*.

<http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/>. Consulta: 03 de abril de 2018.

### **3.5. Software**

El auge que ha tomado en los últimos años el uso del computador ha contribuido en el análisis de estabilidad de taludes, pudiendo obtener con una mayor precisión el modelo de falla que se puede producir. Este sistema ha permitido incorporar más información en los modelos de análisis y la posibilidad de analizar situaciones que no eran posibles con los sistemas manuales, así mismo, las innovaciones tecnológicas y el surgimiento de nuevos softwares de procesamiento de datos tomados por Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV Civil) han permitido la toma y manejo de información en áreas de alto riesgo.

### **3.5.1. Agisoft PhotoScan**

Es un software para computadora desarrollado por Agisoft LLC, de San Petersburgo, Rusia, éste realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en tres dimensiones.

El Agisoft PhotoScan permite obtener ortofotos georreferenciados de alta resolución y modelos digitales de terrenos con una alta precisión a la realidad. Por sus características, el software es adecuado para la documentación fotogramétrica de edificios, minería, cultivos agrícolas y objetos arqueológicos, entre otros, tiene grandes aplicaciones en la ingeniería, entre ellas, la creación de ortofotos o fotos aéreas de áreas específicas, así mismo la capacidad de generar el Modelo Digital del Terreno (DTM).

### **3.5.2. QGIS**

Así como se usa un procesador de texto para escribir documentos y tratar con palabras en una computadora, se puede usar una Aplicación SIG para tratar con información espacial en una computadora. Con una aplicación SIG, se puede abrir mapas digitales en la computadora, crear nueva información espacial para añadir a un mapa, crear mapas impresos personalizados a las necesidades y trabajar análisis espacial.

QGIS es el SIG de escritorio líder de Código Abierto y nos proporciona múltiples herramientas para llevar a cabo el análisis, tratamiento mapas y modelos digitales obtenidos a partir de fotografías aéreas.

Es un sistema de información geográfica (SIG) de código libre para sistemas operativos Linux, Mac OS, Windows, entre otros. Lanzado oficialmente el 2002

por la fundación OSGeo, QGIS es un software libre y opera bajo la licencia GNU GPL, permite trabajar con formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y ORG.

### **3.5.3. GeoStudio**

Es un programa de ordenador, desarrollado por GeoSLOPE Ltd., de modelización para cálculos geotécnicos. Consta de siete paquetes, para el presente estudio se trabajará con el paquete SLOPE/W que permite realizar análisis de estabilidad mediante equilibrio limite, permitiendo la obtención de Factores de Seguridad según diferentes métodos de análisis entre ellos Bishop, Morgenstern Price, Spencer.

El programa proporciona el factor de seguridad asociado a la superficie de rotura determinada y la representación gráfica de ésta. Otra de las opciones proporcionadas por el programa son las de facilitar la masa y volumen total de material desplazada, y la posibilidad de la representación gráfica y numérica de las fuerzas que actúan en cada una de las rebanadas en las que se divide la superficie de rotura.

## **4. MARCO METODOLÓGICO**

### **4.1. Estudio fotogramétrico**

Con base en el Acuerdo Gubernativo 179-2001, artículo 1, que prohíbe la intervención humana dentro de las áreas de alto riesgo y debido a que el barranco Las Ardillas se encuentra dentro de un área de alto riesgo con una inestabilidad activa en áreas específicas, la realización de trabajos de topografía con equipo convencional se dificulta, debido a que se arriesga la vida del operador y del equipo topográfico.

Además, el área del barranco Las Ardillas estudiada que comprende desde las inmediaciones del edificio T1 de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería hasta la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es extensa y requería de mucho tiempo realizar los trabajos de topografía altimétrica con equipo convencional.

El avance tecnológico en equipos de sensoramiento remoto que son de mucha ayuda en el campo de la topografía como el auge que están tomando los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV Civil) conocidos también como drones, permiten conocer áreas específicas y de difícil acceso sin necesidad de arriesgar la vida del operario.

Para la obtención del modelo digital tridimensional del barranco Las Ardillas se utilizó un UAV Civil modelo Phantom 4Pro distribuido por la empresa DJI con el cual se realizó la toma de fotos aéreas. Se programaron vuelos aéreos auxiliándose de un dispositivo móvil con sistema operativo Android, además se

requirió acceso a la red informática de conexión mundial (internet) durante el tiempo de vuelo requerido; en dicho dispositivo se instalaron las aplicaciones Ctrl+DJI y Pix4Dcapture desde las cuales se configuraron los vuelos.

Figura 25. **Vehículo aéreo no tripulado civil Phantom 4 Pro**



Fuente: Digicorp. *Vehículo aéreo no tripulado Phantom 4 Pro.*

<http://www.digicorp.com.bo/shop/product/dron-dji-phantom4-pro-2985?category=458>. Consulta:

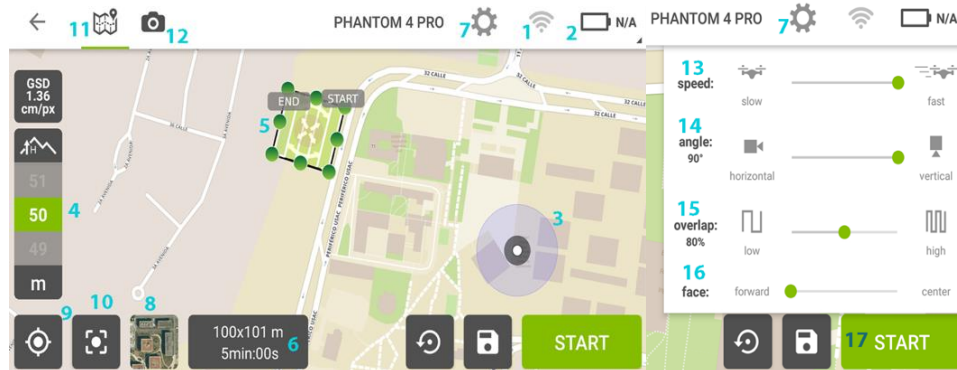
17 de febrero de 2019.

A continuación, se describe el procedimiento resumido para la configuración de las aplicaciones previo al vuelo:

- Desde el dispositivo móvil se inicia la aplicación Ctrl+DJI, en la pantalla que se despliega, se selecciona la opción OPEN PIX4DCAPTURE, a partir de ello se apertura la aplicación Pix4Dcapture.
- En la aplicación Pix4Dcapture se muestra en la pantalla las diferentes opciones de vuelo, en este caso se selecciona la misión de rejilla (GRID

MISSION), a partir de ello se muestra la siguiente pantalla (figura 26), en la cual se debe configurar los ajustes necesarios para poder realizar el vuelo, el cual se describe a continuación:

Figura 26. Programación de vuelo en UAV Civil Phantom 4 Pro



Fuente: Aplicación Pix4Dcapture de Android.

- Se verifica la señal entre el controlador y el UAV civil.
- Se verifica el nivel de la carga de la batería del UAV civil.
- Ubicar la posición del operario, donde regresaría el UAV civil al finalizar el vuelo.
- Ajustar la altura a la que se desea realizar la toma de fotografías aéreas.
- Ubicar y ajustar el polígono sobre el área que se desea, tomando en cuenta el error de borde.
- Verificar el área a fotografiar y el tiempo de vuelo estimado.
- Ajustes adicionales.
- Opcional, cambiar vista del mapa a satélite.
- Icono para visualizar la posición actual del dron.
- Icono para visualizar la posición actual del operador.
- Durante el vuelo, opción para visualizar la trayectoria del UAV civil.

- Durante el vuelo, opción para visualizar en tiempo real la toma de fotos aéreas.
- Ajustar la velocidad a la cual el UAV civil recorrerá el área.
- Ajustar la posición de la cámara, para ortofotos, tiene que estar a 90 grados.
- Configuración del porcentaje de traslape entre las fotos aéreas.
- Definir la forma de movimiento del UAV civil durante el vuelo.

En total se obtuvieron 929 fotos aéreas resultado de 4 vuelos realizados sobre el área que ocupa el barranco Las Ardillas, iniciando desde la Facultad de Arquitectura hasta la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para generar el modelo digital del barranco Las Ardillas, las fotos obtenidas con el UAV Civil se importaron al programa Agisoft PhotoScan, en el cual se alinearon las fotografías, se construyó la nube de puntos densa, elaborando posteriormente la textura y el posterior Modelo Digital de la superficie (DSM), la ortofoto y el DSM obtenido se muestra en los mapas 1 y 2, respectivamente.

Figura 27. **Construcción del modelo digital de superficie en Agisoft**



Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan

El fin de la elaboración del proyecto es conocer la topografía de la superficie del terreno, es decir, la obtención del Modelo Digital del Terreno (DTM); por ello,



a partir de la nube de puntos densa, se construyó la malla (mesh), posteriormente se procedió a seleccionar minuciosamente todos los elementos existentes sobre la superficie del terreno, tales como arbustos, áreas boscosas, vehículos, edificios, entre otros. A partir de la selección realizada, se construyó el Modelo Digital del Terreno (DTM), el cual consistió en eliminar los elementos existentes sobre la superficie del área del barranco Las Ardillas a una distancia de 150 m a partir del cauce del río que discurre al fondo del barranco, obteniendo en el mapa 3 el resultado del DTM para el barranco Las Ardillas.

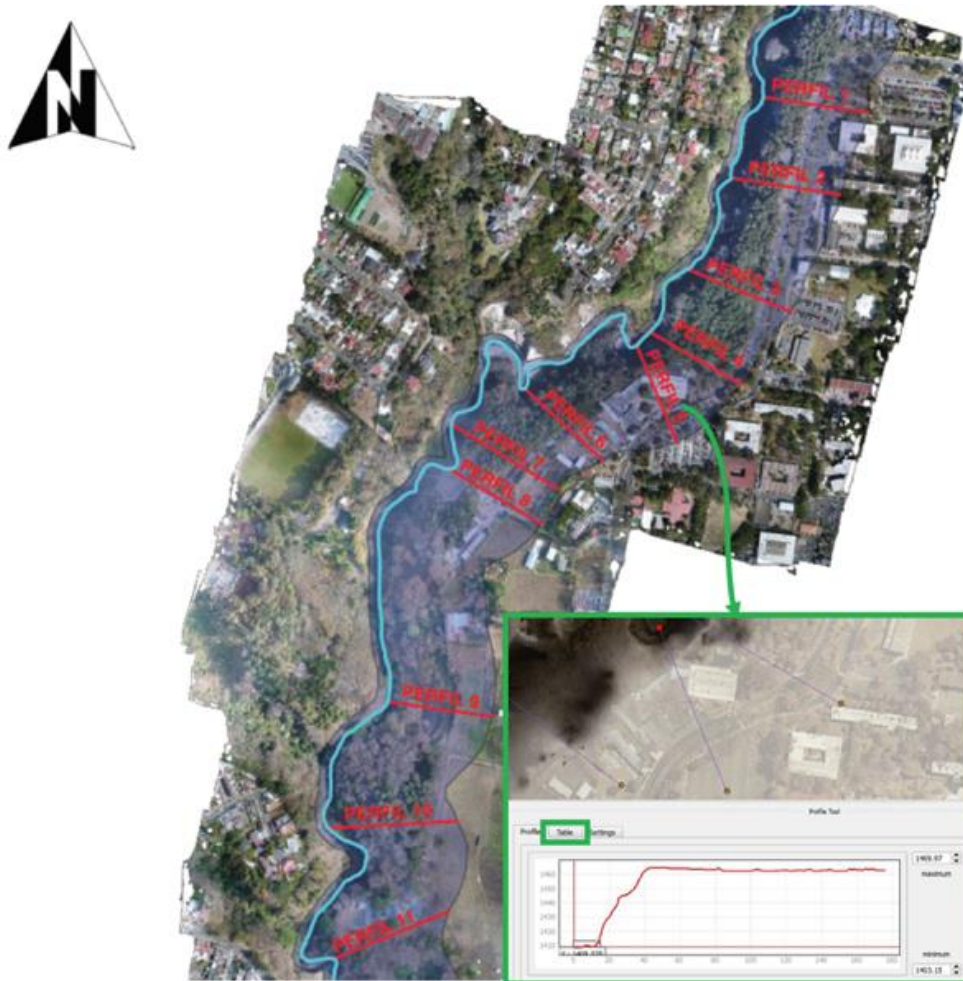
Figura 28. **Elaboración del modelo digital del terreno en Agisoft**



Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan

Posterior a la obtención del DTM, se auxilió del paquete informático QGIS para la elaboración de las curvas de nivel (mapa 4) y la obtención de los perfiles (mapa 5) del barranco Las Ardillas, con ello se obtuvieron 11 secciones a lo largo del barranco ubicado del lado de la Universidad de San Carlos de Guatemala para conocer a detalle la topografía actual e iniciar el monitoreo detallado del proceso de maduración del barranco.

Figura 29. Trazado de perfil sobre el DTM en QGIS



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Los valores de altitud para la elaboración de los perfiles se tomaron a cada 0,18 m obteniendo para cada perfil un aproximado de 1 000 puntos de altitudes, esta información se exportó en formato csv obteniendo una tabla de datos similar a la siguiente tabla.

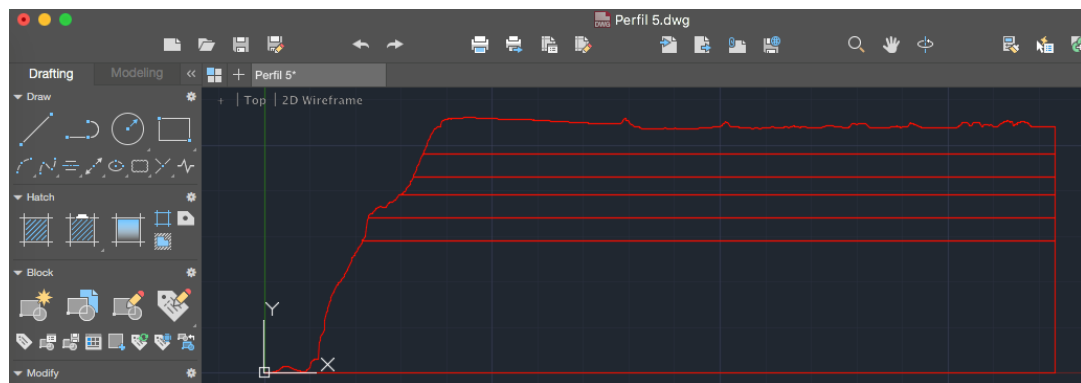
Tabla X. **Muestra de tablas de datos de altitudes obtenidos en QGIS**

No.	X (m)	Y (m)	X - X <sub>o</sub> (m)
1	0,00	1408,54	0,00
2	0,18	1408,52	0,18
3	0,35	1408,52	0,18
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1 000	175,74	1462,67	0,18
1 001	175,91	1462,67	0,18
1 002	176,09	1462,66	0,18

Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Los archivos contenedores de las tablas de datos de los perfiles fueron importados al software de AutoCAD, en el cual se trazaron las regiones que conforman cada estrato de suelo como resultado de los estudios de suelo de triaxial (anexo 7) como se presenta a continuación:

Figura 30. **Delimitación de los estratos del talud con AutoCAD**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El archivo se exportó en formato dxf, para su posterior uso en el software GeoStudio.

#### **4.2. Análisis de los resultados de estudios de suelo**

El barranco Las Ardillas, que se encuentra dentro de una zona de alto riesgo con taludes propensos a deslizamientos debido a la inestabilidad y la topografía pronunciada que existe en diferentes puntos de interés, y considerando que el muestreo del suelo requiere de la realización de pozos, se tornaba complicado la realización de varios muestreos ya que provocaría mayor inestabilidad en el talud del barranco. Además, al tener pendientes muy pronunciadas en algunas áreas, se necesitaría de equipos de seguridad especiales para el personal encargado de extraer las muestras de suelo.

Por las razones descritas anteriormente y debido a que el CEDESYD en conjunto con el Departamento de Servicios de la Universidad de San Carlos se solicitaron muestreos de suelo cercano al edificio de la Editorial Universitaria días después de haberse producido un deslizamiento en esa área, para ello, el personal del laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería se encargó de la extracción de muestras de suelo en octubre del 2016, de las cuales se realizaron ensayos de triaxial, corte directo, granulometría y límites de Atterberg, estos resultados de laboratorio se presentan con mayor detalle en el anexo 7.

De acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados, se clasificaron los diferentes estratos de suelo siguiendo el sistema de clasificación AASHTO y el sistema de clasificación unificado de los suelos (SUCS), dichas metodologías se basan en la granulometría y la plasticidad del suelo, los cuales se detallan en las tablas XXIII y XIV.

Figura 31. **Ubicación del área de extracción de muestras de suelo**



Fuente: elaboración propia.

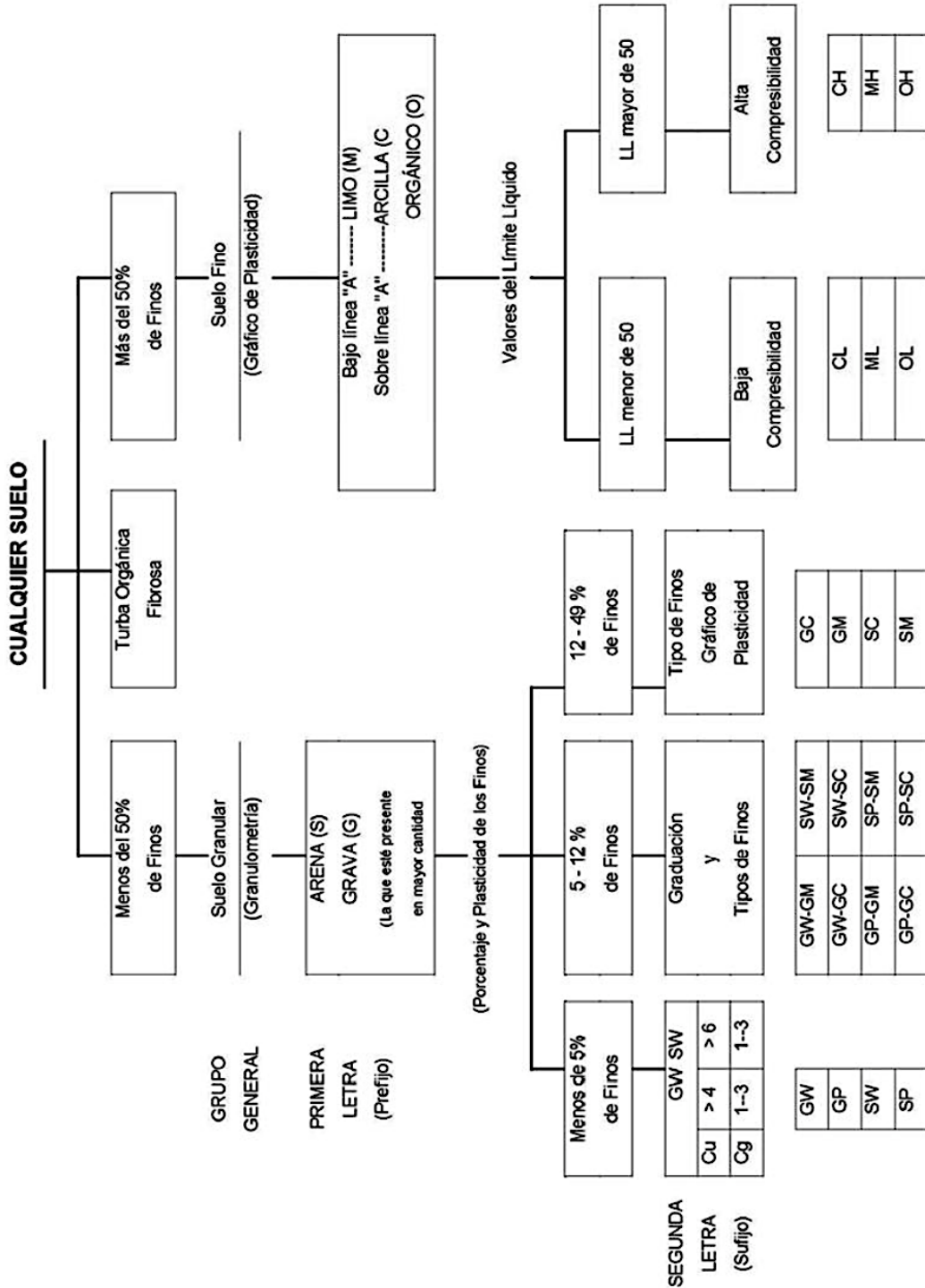
Tabla XI. Sistema de clasificación de suelos AASHTO (PRA)

GRUPO SUB-GRUPO	Suelos Granulares: 35% o menos pasa malla · 200										Suelos Arcillosos y Limosos: Más de 36% malla · 200			
	A-1		A-3			A-2					A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b	A-3		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5*	A-7-6*	
Porcentaje de material que pasa el tamiz	50max	50max	51min	10max	35min	35min	35min	35min	35min	36min	36min	36min	36min	
No. 10	30max	50max	51min	10max	35min	35min	35min	35min	35min	36min	36min	36min	36min	
No. 40	15max	30max	10max	10max	35min	35min	35min	35min	35min	36min	36min	36min	36min	
No. 200														
Plasticidad														
Pasa la malla · 40														
LL														
IP	6max		NP											
Índice de Grupo *	0	0	0	0	0	0	0	0	4 max	8 max	12 max	6 max	20 max	
Materiales Constructivos	Fragmentos de Piedra, grava y arena	Arena Fina	Arena		Grava y/o Arena limosa	Grava y/o Arena arcillosa	Grava y/o Arena arcillosa	Grava y/o Arena arcillosa	Suelos Limosos	Suelos Arcillosos	Suelos Arcillosos	Suelos Arcillosos	Suelos Arcillosos	
Calidad (Subrasante)	Excelente a Buena										Regular a Mala			
<p>*A-7-5: IP menor o igual a LL - 30    *A-7-6: IP que LL -30</p> <p>*Índice de Grupo = IG = (F200 - 35) (0.2 + 0.005 (LL - 40) + 0.01) (F200 - 15) * (IP - 10)</p>														

Fuente: BOWLES, Joseph. *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. p.70.



Tabla XII. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)



Fuente: BOWLES, Joseph. *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil*. p.74.

Los diferentes estratos de suelo fueron clasificados con los dos sistemas de clasificación descritos anteriormente basado en los análisis de granulometría y límites de Atterberg (anexo 7), obteniendo los siguientes resultados.

Tabla XIII. **Clasificación de los estratos de suelo del barranco Las Ardillas**

<b>Estrato</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción a nivel visual</b>	<b>Sistema SUCS</b>	<b>Sistema PRA</b>
E1	6	Arena pómez color café claro	SP	A-1-a
E2	11	Arena limosa color café	SM	A-2-4
E3	15	Arena pómez limosa color café claro	SM	A-2-4
E4	20	Arena pómez color café con gravilla	SP	A-1-a
E5	25	Arena pómez color gris con grava	SP-SM	A-1-b

Fuente: elaboración propia.

Al requerir el software Geostudio datos del peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna de los ensayos de triaxial (Anexo 7) se convirtieron los valores a unidades del sistema internacional y se obtuvo lo siguiente.

Tabla XIV. **Propiedades mecánicas del suelo del barranco Las Ardillas**

<b>Estrato</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cohesión (KPA)</b>	<b>Ángulo de fricción interna (°)</b>
E1	6	10,78	18,14	34,85
E2	11	13,13	0	29,16
E3	15	10,97	25,30	35,02
E4	20	14,99	17,36	34,94
E5	25	14,99	29,71	30,11

Fuente: elaboración propia.



### 4.3. Cálculo de la Aceleración Máxima del Suelo (AMS)

La Aceleración Máxima del Suelo (AMS) con sus siglas en inglés PGA (*Peak Ground Acceleration*); se refiere a la aceleración máxima del terreno que se produjo en determinada ubicación basado en un terremoto ocurrido, según las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), sección NSE 2-10 la aceleración máxima del suelo (AMS) se calcula en base a la siguiente metodología:

- Amenaza sísmica:

Se puede localizar en el Anexo A de la sección NSE 2-10, p55 el listado de amenaza sísmica por municipios donde se obtienen los siguientes valores:

$I_0$ : Índice de sismicidad

$S_{cr}$ : Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

$S_{1r}$ : Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

Con base en la tabla del anexo A, se obtuvo la siguiente información para el municipio de Guatemala, del departamento de Guatemala.

$I_0$ : 4

$S_{cr}$ : 1,50 g

$S_{1r}$ : 0,55 g

- Clase de sitio:

Para la clasificación del sitio de estudio se cita la sección 4.5.4 y la tabla 4-4 de la sección NSE 2-10 p21.

Tabla XV. **Clasificación de sitio**

Clase de sitio		V <sub>ps</sub> todo el perfil	N <sub>p</sub> todo el perfil	N <sub>nc</sub> sector no-cohesivo	S <sub>uc</sub> sector cohesivo
AB	Roca	750 m/s	No aplica	No aplica	>200 kPa
C	Suelo muy denso o roca suave	750 a 360 m/s	≥30	≥30	200 a 50 kPa
D	Suelo firme y rígido	360 a 180 m/s	30 a 5	30 5	50 kPa
E	Suelo suave	<180 m/s	≤5	≤5	<50 kPa
		Cualquier perfil de suelo con un estrato de 3.0 m o más con índice de plasticidad IP>20; humedad w≥40% y suc<25 kPa			
F	Suelo con problemas especiales	Véase NSE 2.1 Capítulo 5			

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala. NSE 2-10. p.21.

Haciendo referencia a la tabla de resultados de ensayos de triaxial (anexo 7) de los estratos y convertidos al Sistema internacional de medida se tiene.

Tabla XVI. **Cohesión de los estratos de suelo del barranco Las Ardillas**

Estrato	Profundidad (m)	Cohesión	
		T/m <sup>2</sup>	KPa
E1	6	1,85	18,142
E2	11	0	0
E3	15	2,58	25,301
E4	20	1,77	17,358
E5	25	3,03	29,714

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la cohesión de los estratos de suelo del barranco Las Ardillas no superan los 50 KPa, se determinó que la clase de sitio es E (suelo suave).

- Coeficiente de sitio (Fa):

Se calcula con base en los valores obtenidos anteriormente del Índice de sismicidad y clase de sitio mediante la tabla 4-2 de la sección NSE 2-10.

Tabla XVII. **Coeficiente de sitio Fa**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
D	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
E	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9
F	Se requiere evaluación específica – ver sección 4.4.1				

Fuente: Fuente: *Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala*. NSE 2-10. p.15.

Dado que se obtuvo un índice de sismicidad 4 y clase de sitio E, se determina que el barranco Las Ardillas posee un coeficiente de sitio de 0,9.

- Tipo de fuente sísmica:

El tipo de fuente sísmica se obtiene con la ayuda de la tabla 4-5 de la sección NSE 2-10, la cual se describe en esta sección como tabla XVIII.

Tabla XVIII. Tipo de fuente sísmica

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tasa de Corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad (nota 1)	$M_o \geq 7,0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C	$M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad	$M_o < 6,5$	$TC < 2$

Nota 1: la zona de subducción de Guatemala no se considera por la distancia a la fuente  
 Nota 2: la magnitud  $M_o$  y el TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica

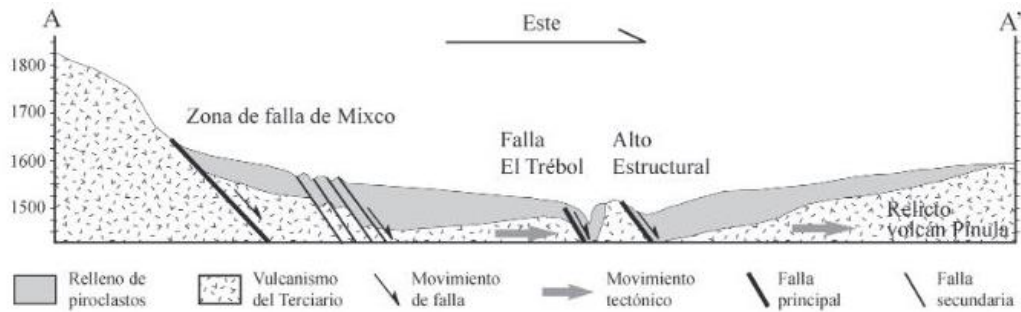
Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala. NSE 2-10. p.24.

Las fallas geológicas que más resaltan para el municipio de Guatemala que se tomaron de referencia fueron:

- La franja oeste que se conoce como la zona de falla de Mixco.
- La franja este, conocida como la zona de falla de Santa Catarina Pinula.

Se observa en la figura 32 que al oeste (W) el valle está atravesado por el sistema de fallas de Mixco y al este (E) se encuentra la falda del volcán de Pinula.

Figura 32. **Sección transversal del valle de la ciudad de Guatemala**



Fuente: PÉREZ, Carlos. *Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. p.76.

Por no contar con un historial de que éstas fallas geológicas hayan generado algún evento de gran magnitud, se consideraron como tipo de fuente C y se estima una distancia horizontal de 5km entre la Universidad de San Carlos de Guatemala a cada una de estas fallas.

- Factor Na:

El Factor Na para períodos cortos de vibración se obtiene a partir del tipo de fuente sísmica y la distancia horizontal más cercana a la fuente sísmica mediante la tabla 4-6 de la sección NSE 2-10.

Tabla XIX. **Factor Na para períodos cortos de vibración**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1)		
	≤2km	5km	≥10km
A	1,25	1,12	1,0
B	1,12	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Nota 1: tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km  
 Nota 2: utilizar el factor  $N_a$  que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala. NSE 2-10. p.24.

Conociendo el lugar para el cual se está calculando la aceleración máxima del suelo, a una distancia aproximada de 5km de la falla geológica de Mixco y de tipo de fuente C, se determina el factor  $N_a=1,0$ .

- Ajuste por intensidades sísmicas especiales:

La sección 4.3.3.3, NSE 2-10 p13. señala que se deben ajustar las intensidades sísmicas por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración en el sitio, para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

Para el área del barranco Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se tiene:

$$S_{cs} = 1,50 * 0,90 * 1,00$$

$$\mathbf{S_{cs} = 1,35}$$

- Factores de escala:

La sección 4.3.4.1, NSE 2-10 indica que los siguientes factores determinan los niveles de diseño:

Tabla XX. **Factores que determinan el nivel de un sismo**

<b>Sismo ordinario</b>	10%	<b>Probabilidad de ser excedido en 50 años</b>	<b>K<sub>d</sub>= 0,66</b>
<b>Sismo severo</b>	5%	Probabilidad de ser excedido en 50 años	K <sub>d</sub> = 0,80
<b>Sismo extremo</b>	2%	Probabilidad de ser excedido en 50 años	K <sub>d</sub> = 1,00
<b>Sismo mínimo</b>		Condición de excepción	K <sub>d</sub> = 0,55

Fuente: *Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala*. NSE 2-10. p.16.

El factor K<sub>d</sub> considerado para el barranco Las Ardillas, es para un sismo severo, es decir, que existe un 5 % de probabilidad de ser excedido en 50 años con un valor de K<sub>d</sub>= 0,80.

- Espectro calibrado al nivel de diseño requerido:

Se calcula con la expresión siguiente, de acuerdo a la sección 4.3.4.2, NSE 2-10 p16.

$$S_{cd} = K_d * S_{cs}$$

Se obtiene un valor de S<sub>cd</sub> para el barranco Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala de:

$$S_{cd} = 0,80 * 1,35$$

$$S_{cd} = 1,08$$

- Aceleración máxima del suelo (AMS):

Se calcula de acuerdo a la sección 4.3.4.2, NSE 2-10 p16 con la siguiente expresión:

$$AMS = 0,40 * S_{cd}$$

Para el barranco Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala se obtiene un valor de aceleración máxima del suelo de:

$$AMS = 0,40 * 1,08$$

$$AMS = 0,432$$

- Componente vertical del sismo de diseño:

Para ello, de acuerdo a la sección 4.3.4.3, NSE 2-10 p16, el componente vertical del sismo se calcula con base en la siguiente expresión:

$$S_{vd} = 0,15 * S_{cd}$$

Para el barranco Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala se obtiene un valor del componente vertical del sismo de:

$$S_{vd} = 0,15 * 1,08$$

$$S_{vd} = 0,162$$



Los valores de la aceleración sísmica horizontal y vertical obtenidos se pueden contrastar con los valores de aceleración máxima del suelo para Centro América que se muestran en el Anexo 8. Los valores obtenidos fueron ingresados posteriormente al software Geostudio como parte del análisis de estabilización de taludes.

#### **4.4. Integración de carga de edificios**

La carga adicional que se coloca sobre la superficie del terreno desestabiliza de forma considerable el talud de cualquier barranco; el nivel de inestabilidad de un talud es factor dependiente de la cantidad de carga aplicada sobre este, por ello se consideraron los pesos de edificios e infraestructuras más relevantes sobre el talud del barranco Las Ardillas del lado de la Universidad de San Carlos de Guatemala para poder aplicarlos posteriormente como factores determinantes del modelo de deslizamiento en los diferentes perfiles del barranco.

##### **4.4.1. Edificio de Editorial Universitaria**

El edificio se encuentra a inmediaciones de una de las áreas de deslizamiento más activas del barranco Las Ardillas donde se extrajeron los perfiles 4 y 5 del estudio fotogramétrico.

Figura 33. **Ubicación del edificio Editorial Universitaria**



Fuente: elaboración propia.

La Editorial Universitaria se fundó el 15 de noviembre de 1945 y es la unidad encargada de la producción, edición, publicación, promoción y distribución de libros de texto, folletos, entre otros documentos orientados al desarrollo cultural y democrático de Guatemala ([digeu.usac.edu.gt/](http://digeu.usac.edu.gt/)). Este edificio contaba con personal administrativo, equipos y miles de libros de texto hasta el 4 de junio de 2014, que a través del Acuerdo de Rectoría No. 783-2014 (anexo 2) se autorizó el desalojo total de las instalaciones de este edificio debido a que estaba ubicada en una zona de alto riesgo.

Por ello, para integrar el peso del edificio de la Editorial Universitaria, solo se consideraron los pesos de los elementos estructurales que constituyen el edificio y un porcentaje considerable del área donde aún existen algunos documentos, considerados como inservibles que también influyen como carga sobre el barranco; las dimensionales de los elementos que conforman el edificio, se obtuvieron a partir de planos de diseño (anexo 9), del cual se obtuvieron los pesos que se resumen en la tabla XXI.

Tabla XXI. **Carga muerta del edificio Editorial Universitaria**

<b>Elemento</b>	<b>Volumen ó área</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Peso total</b>
<b>Zapata</b>	<b>6,75 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>16 200 kg</b>
<b>Columna</b>	<b>11,34 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>27 216 kg</b>
<b>Losa</b>	<b>213,90 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>513 360 kg</b>
<b>Viga</b>	<b>51,28 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>123 060 kg</b>
V1. Horizontal	24,15 m <sup>3</sup>		
V1. Vertical	27,13 m <sup>3</sup>		
<b>Muro</b>	<b>847,50 m<sup>2</sup></b>	<b>170 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>144 075 kg</b>
M1. Horizontal	460 m <sup>2</sup>		
M1. Vertical	387,50 m <sup>2</sup>		
<b>Carga Muerta (Kg)</b>			<b>823 911</b>

Fuente: elaboración propia.

Conforme a lo descrito anteriormente, se calculó la carga viva, conformada por los papeles que aún existen dentro del edificio, tomando un área de 10m X 10m, en base a la tabla 3-1 de la sección NSE-2 p7 de las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala de AGIES se consideró la carga viva establecida para bodega.

Tabla XXII. **Carga viva del edificio Editorial Universitaria, USAC**

<b>USO</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>LARGO (m)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Wv (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>CARGA VIVA (Kg)</b>
Abandonado	10	10	100	600	60 000

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados, se convirtieron a las dimensionales con los que trabaja el programa de Geostudio los cuales se presentan en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Carga viva y carga muerta del edificio Editorial Universitaria**

<b>PESO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	
Wmuerta (KN)	8 079,94
Wviva (KN)	588,41
Wtotal (KN)	8 668,34

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. **Edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS)**

Es una escuela de Postgrado que brinda sus servicios de formación académica en programas de maestría a estudiantes de Centro América, Panamá y otros países de la región, esta opera dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala desde el 1965; sin embargo, el edificio donde se encuentra actualmente se construyó en el 2007 en referencia al contrato No. 58-2007 de obra para construcción de un edificio de dos niveles para la escuela de Ingeniería Sanitaria ERIS de la Facultad de Ingeniería a favor de Ing. Rubén Isidoro González.

Figura 34. **Edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria**



Fuente: elaboración propia.

Se procedió a calcular el peso total del edificio donde se imparten las clases de la escuela de postgrado, ya que se encuentra dentro de la distancia de 150 m que comprenden los perfiles trazados sobre la superficie del barranco, asimismo, este edificio se encuentra cerca del perfil 6 para ser analizado con el software GeoSLOPE, para ello se acudió a los planos de dicho edificio para cuantificar el peso de cada uno de los elementos estructurales que lo conforman (anexo 9).

Los planos del edificio se encuentran en el anexo 9, con base en estos se cuantificaron los volúmenes de los elementos estructurales, áreas de oficina y de docencia para luego determinar el peso de cada uno de estos, obteniendo así la carga muerta del edificio.

Tabla XXIV. **Carga muerta del edificio de la ERIS**

<b>Elemento</b>	<b>Volumen ó área</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Peso total</b>
<b>Zapata</b>	<b>9,72 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>23 328 kg</b>
<b>Columna</b>	<b>16,54 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>39 690 kg</b>
<b>Losa</b>	<b>81,60 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>195 840 kg</b>
<b>Viga</b>	<b>20,78 m<sup>3</sup></b>	<b>2 400 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>49 875 kg</b>
V1. Horizontal	6,30 m <sup>3</sup>		
V1. Vertical	3,72 m <sup>3</sup>		
V2. Horizontal	6,30 m <sup>3</sup>		
V2. Vertical	4,46 m <sup>3</sup>		
<b>Muro</b>	<b>593,75 m<sup>2</sup></b>	<b>170 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>100 938 Kg</b>
M1. Horizontal	180,00 m <sup>2</sup>		
M1. Vertical	106,25 m <sup>2</sup>		
M2. Horizontal	180,00 m <sup>2</sup>		
M2. Vertical	127,50 m <sup>2</sup>		
<b>Carga Muerta (kg)</b>			<b>409 671</b>

Fuente: elaboración propia.

Para la carga viva se auxilió de la tabla 3-1 de la sección NSE-2 p6 de las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala del AGIES, para ello se consideró la carga viva que recomienda esta norma para centros educativos.

Tabla XXV. **Carga viva del edificio de la ERIS**

Uso	Ancho (m)	Largo (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Wv (kg/m <sup>2</sup> )	Carga viva (kg)
EDUCATIVO	8.5	24	408	200	81 600

Fuente: elaboración propia.

Los resultados, se convirtieron a las dimensionales con los que trabaja el software Geostudio los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XXVI. **Carga viva y carga muerta del edificio de la ERIS**

<b>PESO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	
Wmuerta (KN)	4 017,56
Wviva (KN)	400,12
Wtotal (KN)	4 417,68

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.3. Unidad de Urbanización y Remodelación**

Esta unidad forma parte de la División de Servicios Generales y es el área encargada de almacenar los materiales de construcción utilizados para trabajos de construcción, mantenimiento y reparación de cualquier infraestructura dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 35. **Unidad de Urbanización y Remodelación, USAC**



Fuente: elaboración propia.

Entre los inmuebles y equipos con los que se cuenta en el área son:

- 11 bodegas de lámina de 10m x 12m
- 1 bodega de block
- furgones de 12m x 2,50m
- furgones de 6m x 2,50m
- 2 camiones de 3 ton
- 1 monta carga

En las bodegas de lámina y la bodega de block se almacenan materiales que por sus características fisicoquímicas o por su precio no pueden estar al aire libre; mientras que en un área aproximada de 30m x 30m se encuentran materiales que no son afectados por efectos del intemperismo, Esta área se encuentra cercana a otra de las áreas de deslizamientos más relevantes del barranco Las Ardillas y sobre el perfil 8 que se trazó sobre la superficie del terreno, por ello, se entrevistó al personal que labora en esa unidad, quienes

indicaron la cantidad máxima de material que se ha comprado y se ha almacenado en esa área, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla XXVII. **Peso de materiales de construcción**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>P. U. (kg)</b>	<b>P.E. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (kg)</b>
Agregado grueso	150	M3		1 700	240 000,00
Material selecto	150	M3		1 500	225 000,00
Arena de rio	150	M3		1 600	240 000,00
Block 19X19X39	1 200	U	8,5		10 200,00
Block 14X19X39	1 200	U	7		8 400,00
Piso 30X30	10 000	U	2		20 000,00
Tabla 1X12X10	75	U	11,33		849,75
Tablón 2X12X10	75	U	22,65		1 698,75
Adoquín	2 800	U	5		14 000,00
Ladrillo	1 200	U	2,5		3 000,00
Bordillo	10 000	U	43,18		431 818,18
<b>CARGA TOTAL</b>					<b>1 194 966,68</b>

Fuente: elaboración propia.

La carga total de 1 194 966,68 Kg se convirtió a las dimensionales con las que trabaja el software GeoSLOPE, este valor equivale a 11 719,81 KN.

#### **4.5. Estudio geotécnico**

El estudio geotécnico del barranco Las Ardillas se realizó en base al estudio fotogramétrico del cual se obtuvieron 11 perfiles en diferentes secciones del barranco Las Ardillas.

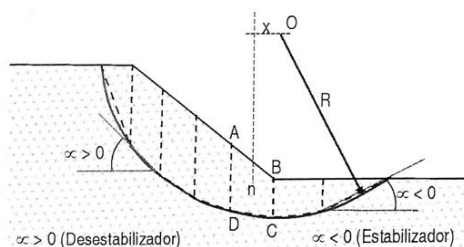


Asimismo, se consideró el aspecto sísmico orientado a la aceleración máxima horizontal y vertical que puede presentar el suelo del área de estudio. Se aplicó el concepto de la influencia de pesos externos sobre la inestabilidad de un talud, para ello, se calcularon los pesos de los edificios más influyentes sobre el barranco; también se tomaron las características físicas y mecánicas del suelo del barranco. Para el análisis de estabilización de taludes se utilizó el software GeoSLOPE, contenido en el paquete de herramientas geotécnicas llamado Geostudio, el software es utilizado generalmente en la geotecnia para el análisis de estabilidad de taludes.

El análisis de estabilización de taludes se puede realizar mediante diferentes metodologías de análisis (anexo 6); sin embargo, se optó por utilizar métodos basados en la división del perfil del terreno en tajadas, debido a la precisión de resultados que proveen (anexo 6B), por ende, los más recomendados cuando se tiene acceso a software de análisis como el GeoSLOPE, ya que éstos realizan infinidad de iteraciones para determinar los modelos de deslizamiento de un talud y basándose de la teoría del equilibrio límite. A continuación, se describe el procedimiento que sigue el software partiendo del perfil del talud de acuerdo a Gerscovich, 2015, p145.

- Se subdivide el talud en tajadas, asumiendo lineal la base de las tajadas.

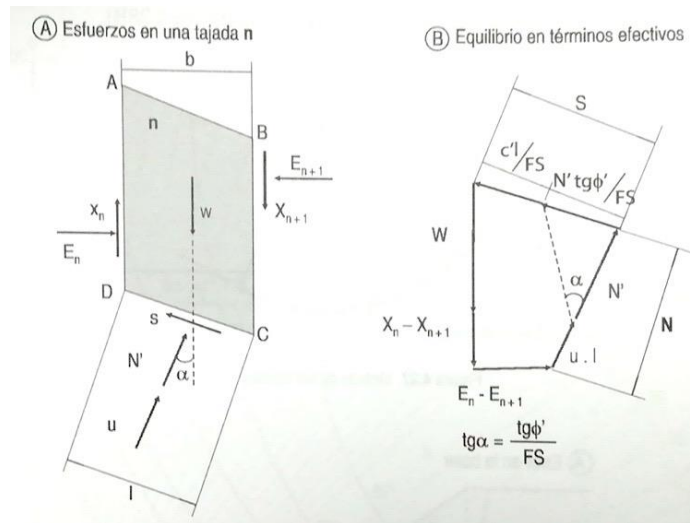
Figura 36. **División del talud en tajadas**



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.145.

- Se analiza el equilibrio de fuerzas para cada tajada, asumiendo que los esfuerzos normales en la base de la tajada se generan por el peso de suelo contenido en ésta, definiendo la resistencia en la base en términos totales ( $s_u$ ) o efectivos ( $c'$  y  $\phi$ ).

Figura 37. **Equilibrio de fuerzas en cada tajada**



Fuente: GERSCOVICH, Denise, *Estabilidad de taludes*. p.146.

- Se calcula el equilibrio del conjunto por medio de la ecuación de equilibrio de momentos en relación con el centro del círculo, considerando los pesos de las fuerzas tangenciales en la base de la tajada, la sumatoria de los momentos de las fuerzas entre las tajadas se hace igual a cero. Se tiene, entonces:

$$\sum W_i * x_i = \sum \tau_{mov_i} * R$$

o

$$\sum W_i * (R \text{ sen } \alpha_i) = \sum \left( \frac{c'l}{FS} + (N - ul) \frac{\tan \phi'}{FS} \right) \tau_{mov_i} * R$$

Con base en lo anterior, el factor de seguridad (FS) se determina de la siguiente manera.

En términos de esfuerzos efectivo:

$$FS = \frac{\sum(c'l + (N - u) \tan \phi')}{\sum W_i \text{sen } \alpha}$$

En términos de esfuerzos totales:

$$FS = \frac{R * \sum(S_u l)}{R \sum W_i \text{sen } \alpha} = \frac{\sum(S_u l)}{\sum W_i \text{sen } \alpha}$$

En el análisis en términos efectivos, la ecuación para determinar el FS requieren de la determinación de la fuerza normal (N).

#### 4.5.1. Método de Bishop

En el método Bishop, se hace el equilibrio de fuerzas en cada tajada en las direcciones horizontal y vertical para obtener la fuerza normal (N), esto quiere decir:

$$N' \cos \alpha + ul \cos \alpha = W + X_n - X_{n+1} - \tau \sin \alpha$$

Considerando b=1, se tiene:

$$N' \cos \alpha + ub = W + X_n - X_{n+1} - \left[ \frac{c'l}{FS} + N' \frac{\tan \phi}{FS} \right] \text{sen } \alpha$$

$$N' = \frac{W + X_n - X_{n+1} - ub - \frac{c'l}{FS} \sin \alpha}{\cos \left\{ 1 + \frac{\tan \theta' \tan \alpha}{FS} \right\}}$$

$$N' = \frac{W + X_n - X_{n+1} - ub - \frac{c'l}{FS} \sin \alpha}{m_\alpha}$$

Al designarse como  $m_\alpha$  el denominador de la ecuación anterior y al sustituir la expresión de la fuerza normal efectiva ( $N'$ ) en las ecuaciones de cálculo del FS, se llega a la siguiente expresión:

$$FS = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha} \sum \left( c'b + [(W - ub) + (X_n - X_{n+1})] \frac{\tan \phi'}{m_\alpha} \right)$$

En cuanto a las fuerzas entre tajadas ( $E, X$ ), el método de Bishop propone la eliminación del término que incluye  $X$ , lo cual equivale a despreciar las partes relativas a los componentes tangenciales de las fuerzas entre tajadas:

$$\sum [(X_n - X_{n+1})] \frac{\tan \phi'}{m_\alpha} = 0$$

Con lo anterior, se llega a la expresión para el cálculo del FS específico para el método de Bishop, el cual no considera los componentes horizontales de las fuerzas entre tajadas:

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

Se supone un valor inicial de  $FS_1$  para el cálculo de  $m_\alpha$ , se verifica nuevamente el valor del FS mediante la expresión anterior, se adopta el valor

resultante del FS para una nueva estimación de  $m_\alpha$  y con ello se determina nuevamente el FS continuando con las iteraciones hasta que el valor calculado sea igual al utilizado mediante iteraciones, teniendo en cuenta que el FS aparece en ambos lados de la ecuación.

#### 4.5.2. Método de Spencer

El procedimiento para la aplicación del método de Spencer parte de la hipótesis que consiste en asumir que las fuerzas entre tajadas tienen una inclinación constante, para ello, se establece que:

$$\tan \theta = \frac{X_1}{E_1} = \frac{X_2}{E_2} = \dots = \frac{X_n}{E_n}$$

Se asume un valor para la inclinación  $\theta$ ; se sugiere un valor inferior a la inclinación del talud ( $\theta < \beta$ ).

Con base en las fuerzas que actúan sobre una tajada infinitesimal (figura 21) y a partir de las ecuaciones del equilibrio de fuerzas, en las direcciones paralela y normal a la base de la tajada, se calcula el valor de la resultante Q partiendo de la expresión anterior, así la magnitud de Q depende de las características geométricas y los parámetros geotécnicos de cada tajada y del valor adoptado para la inclinación de las fuerzas entre tajadas ( $\theta$ ).

$$Q = \frac{\frac{c'b}{FS} \sec \alpha + \frac{\tan \phi}{FS}}{\cos(\alpha - \theta) \left\{ 1 + \frac{\tan \phi'}{FS} \tan(\alpha - \theta) \right\}}$$

En términos de la relación de poros ( $r_u$ ), asumida constante en todo el talud, la expresión para el cálculo de la resultante Q es la siguiente:

$$Q = \gamma b \left[ \frac{\frac{c'}{FS\gamma} + \frac{1}{2} \frac{h \tan \phi'}{H FS} (1 - 2r_u + 2 \cos \alpha) - \frac{1}{2} \frac{h}{H} \sin 2\alpha}{\cos \alpha \cos(\alpha - \theta) \left\{ 1 + \frac{\tan \phi'}{FS} \tan(\alpha - \theta) \right\}} \right]$$

- Equilibrio de fuerzas:

Para garantizar el equilibrio global, la suma de los componentes horizontal y vertical de las fuerzas entre tajadas debe ser nula, esto es:

$$\sum Q \cos \theta = 0$$

$$\sum Q \sin \theta = 0$$

Se calcula el FS sustituyendo el valor de Q en la ecuación de equilibrio de fuerzas, asociada a la hipótesis de inclinación  $\theta$  constante haciendo uso de la expresión anterior.

$$\sum Q \sin \theta = 0$$

Para superar el problema de desequilibrio entre el número de ecuaciones y el número de incógnitas, el método de Spencer adopta un valor de la inclinación  $\theta$  constante para todas las rebanadas, para ello el equilibrio de fuerzas requiere la igualdad:

$$\sum Q \cos \theta = \sum Q \sin \theta = \sum Q = 0$$

- Equilibrio de momentos:

En cuanto al equilibrio de momentos, si la sumatoria de momentos de las fuerzas externas respecto al centro del círculo es nula, entonces, se espera lo mismo con la sumatoria de momentos de las fuerzas internas, se calcula el FS sustituyendo el valor de Q en la ecuación de equilibrio de momentos:

$$\sum [Q \cos(\alpha - \theta)] * R = 0$$

$$\sum [Q \cos(\alpha - \theta)] = 0$$

Para los valores asumidos de la inclinación ( $\theta$ ), se comparan los valores de FS y se continúa realizando el proceso de iteración, hasta que estos valores sean idénticos.

Un aspecto que caracteriza a este método es que cuando la inclinación de la resultante de las fuerzas entre las rebanadas es nula ( $\theta=0$ ), el método da como resultado un valor del FS idéntico al obtenido por el método de Bishop.

#### 4.5.3. Método de Morgenstern-Price

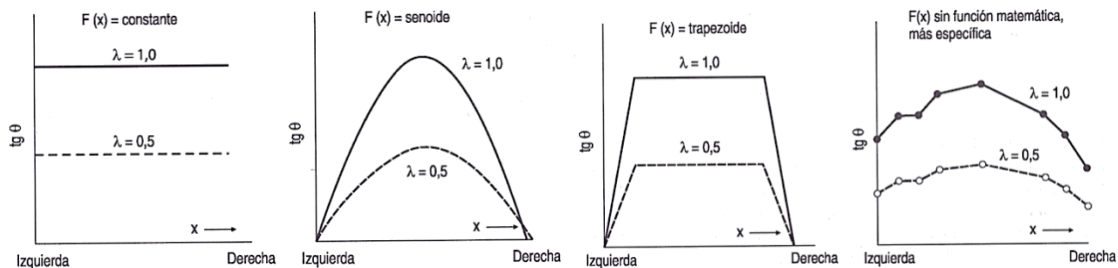
Para hacer estáticamente determinado los problemas de estabilidad, al contrario de los demás métodos rigurosos los cuales establecen una relación constante entre las fuerzas entre tajadas, Morgenstern-Price asume que la inclinación de la resultante ( $\theta$ ) varía según una ecuación a lo largo de la superficie de falla.

$$T = \lambda(x)E$$

$$\tan \theta = \frac{T}{E} = \lambda f(x)$$

Donde  $\lambda$  es un parámetro escalar determinado a partir de la solución del factor de seguridad y  $f(x)$ , una función de distribución de inclinación de la resultante de las fuerzas entre tajadas sugeridas por este método como se muestra en la figura 36.

Figura 38. **Distribución de inclinación de la fuerza entre tajadas**



Fuente: GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. p.165.

La elección de la función  $f(x)$  requiere un juicio previo de cómo varía en el talud la inclinación de las fuerzas entre tajadas. Cuando se utiliza  $f(x) = 0$  la solución para el FS se torna idéntica a la determinada por el método de Bishop y cuando  $f(x) = constante$  el resultado es idéntico al del método de Spencer.

Al considerar las fuerzas actuantes en una tajada infinitesimal (figura 22), es decir,  $dx \rightarrow 0$  y para que no haya rotación de la tajada, se considera nulo el equilibrio de momentos con respecto al centro de la base y con ello se llega a la siguiente ecuación:

$$-T = \frac{d\{E(y - y_t)\}}{dx} - E \frac{dy}{dx} + \frac{d\{P_w(y - h)\}}{dx} - P_w \frac{dy}{dx}$$



Donde:

$y(x)$  = superficie de falla

$z(x)$  = superficie del talud

$h(x)$  = línea de acción de la presión de poros

$y_t(x)$  = línea de acción del esfuerzo normal

- Equilibrio de fuerzas:

El equilibrio de fuerzas en las direcciones normal y tangencial a la base de la tajada, asociado con el criterio de falla de Mohr-Coulomb y considerando las funciones definidas en la ecuación  $T=\lambda f(x)E$ , lleva a la ecuación anterior para el cálculo de la fuerza  $E(x)$  entre tajadas, siendo  $x$  la abscisa de cada tajada:

$$E(x) = \frac{1}{L + Kx} \left[ E_i L + \frac{Nx^2}{2} + Px \right]$$

En esta ecuación se definen las variables  $K$ ,  $L$ ,  $N$ , y  $p$  mediante las expresiones siguientes:

$$K = \lambda k \left\{ \frac{\tan \phi'}{FS} + A \right\}$$

$$L = 1 - \frac{A \tan \phi'}{FS} + \lambda m \left( \frac{\tan \phi'}{FS} + A \right)$$

$$N = \frac{\tan \phi'}{FS} [2AW_w + p - r(1 + A^2)] + [-2W_w + pA]$$

$$p = \frac{1}{FS} \{ (c - s \tan \phi')(1 + A^2) + V_w A \tan \phi' \} + \{ qA - V_w \}$$

- Equilibrio de momentos:

En relación con el equilibrio de momentos, se consideran las funciones definidas en la ecuación y se obtiene la ecuación:

$$M(x) = E(y_t - y) = M_{ew}(x) + \int_{x_0}^x \left( \lambda f - \frac{dy}{dx} \right) E dx$$

En la que  $M_{ew}(x)$  esta dada por:

$$M_{ew}(x) = \int_{x_0}^x \left( -P_w \frac{dy}{dx} \right) dx + [P_w(y - h)]$$

El método se aplica en forma iterativa, definiendo previamente la función de distribución de fuerzas entre tajadas (figura 36), asumiendo valores para FS y  $\lambda$ , también calculando E(x) y M(x) para cada tajada, y en los contornos ( $x= 0$ ,  $x= n$ ), los valores de E y M, asumiendo que los valores E y M deben ser nulos, esto es:

$$x = x_0 \Rightarrow M(x_0) = E(x_0) = 0$$

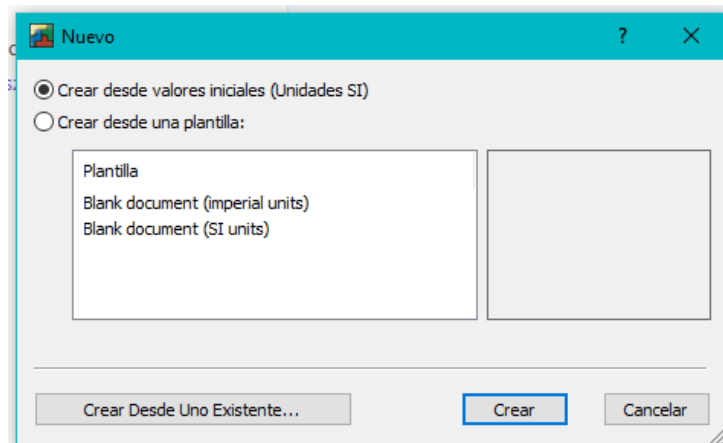
$$x = x_n \Rightarrow M(x_n) = E(x_n) = 0$$

El proceso iterativo se repite hasta que se satisfagan las condiciones en los contornos. Los resultados generan diferentes valores de FS para cada una de las ecuaciones de equilibrio de fuerzas (FS<sub>f</sub>) y de momentos (FS<sub>m</sub>), siendo también dependientes de la elección del valor de  $\lambda$ , la complejidad de los cálculos requiere el uso de computadores y se define el FS del talud cuando FS<sub>f</sub> = FS<sub>m</sub>.

#### 4.5.4. GeoSLOPE

Con los valores de la aceleración máxima del suelo, propiedades mecánicas del suelo como la densidad húmeda, cohesión y ángulo de fricción interna, peso de edificios y los perfiles de suelo obtenidos a partir del estudio fotogramétrico, se procedió a ingresar los valores a GeoSLOPE, para ello, se muestra de forma resumida el proceso de análisis para el perfil 5 obtenido a partir del estudio fotogramétrico y el procedimiento que se utilizó para analizar los 11 perfiles fue similar a éste. Se arranca el paquete GeoStudio y aparece la siguiente pantalla, en la cual se configuran las unidades en el sistema internacional (SI).

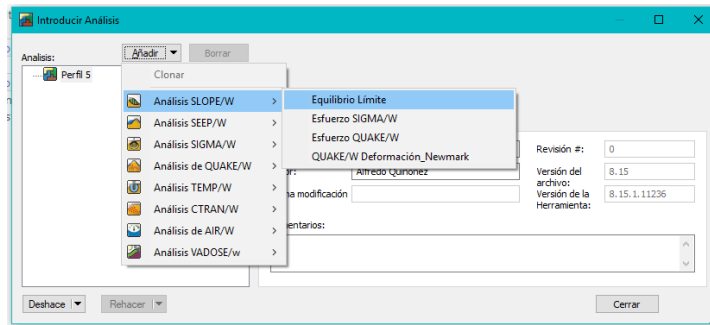
Figura 39. Crear nuevo proyecto en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

El software GeoStudio, como ya se ha mencionado, está conformado por varios paquetes de análisis y para el presente estudio se utilizará el paquete SLOPE/W y con el tipo de análisis de equilibrio límite.

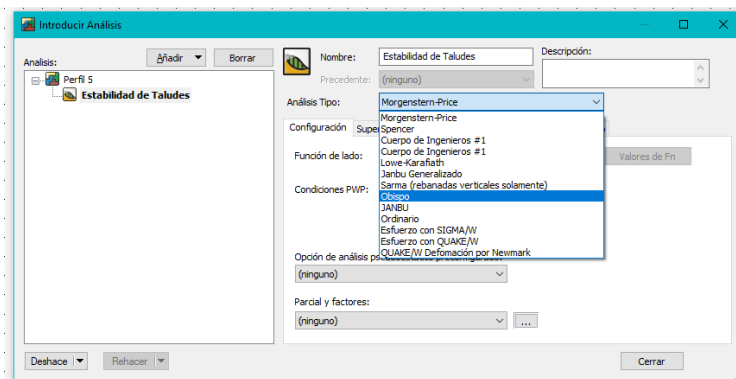
Figura 40. Selección del tipo de análisis en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Posteriormente, se procede a seleccionar el método de análisis de estabilización de taludes a aplicar, para el caso que se muestra, se eligió el método Bishop (Obispo), sin embargo, para el presente estudio, cada uno de los 11 perfiles fueron analizados con los métodos de Bishop, Morgenstern-Price y Spencer, lo que equivale a un total de 33 perfiles analizados al realizar esta variación del método de análisis.

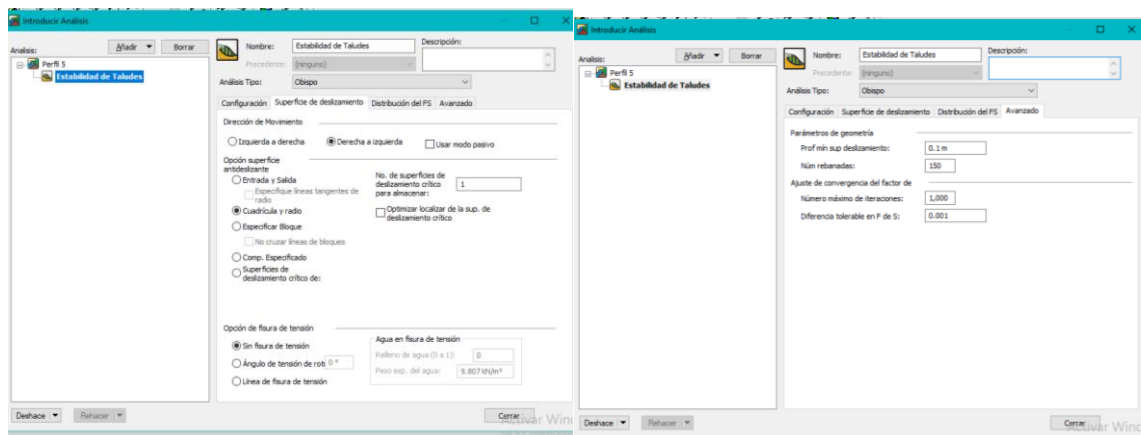
Figura 41. Selección del método de estabilización en GeoSLOPE



Fuente: GeoSLOPE del paquete GeoStudio.

En la pestaña superficie de deslizamiento, se señala el sentido que tomaría el deslizamiento de acuerdo al perfil a analizar, en este caso, se seleccionó una dirección de derecha a izquierda, así mismo la opción para la superficie antideslizante en el que se eligió cuadrícula y radio el cuál se describirá posteriormente. Continuando a la pestaña Avanzado de la misma ventana, se ingresó el número de rebanadas en las que se dividió el perfil y el número de iteraciones a realizar.

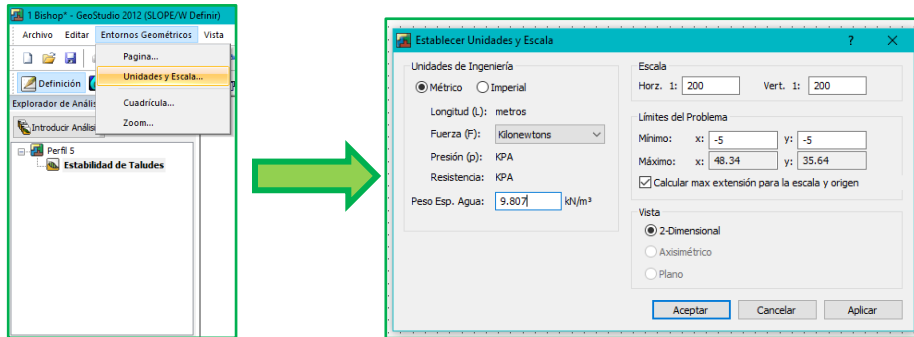
Figura 42. **Configuración de los parámetros de análisis en GeoSLOPE**



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Dada la configuración del método de análisis, se establecieron los entornos geométricos de la hoja sobre la cual se importaría el perfil.

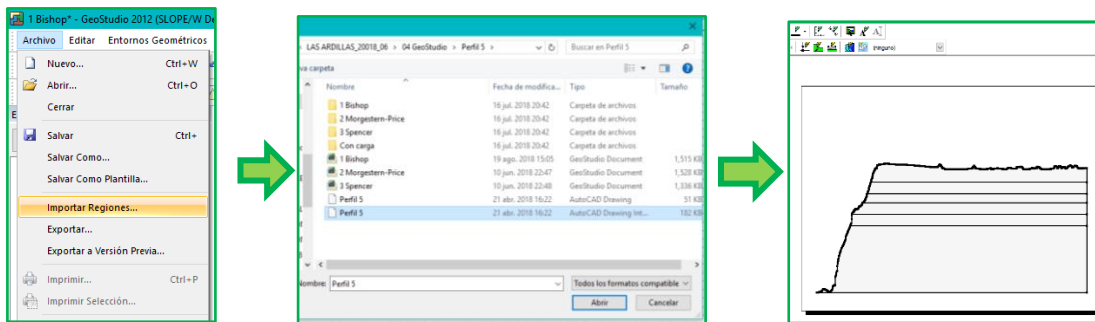
Figura 43. Configuración de las unidades y escala en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Posteriormente se importó el archivo dxf del perfil 5 obtenido del DTM, guardado en el ordenador como el perfil que se observa en la figura 30.

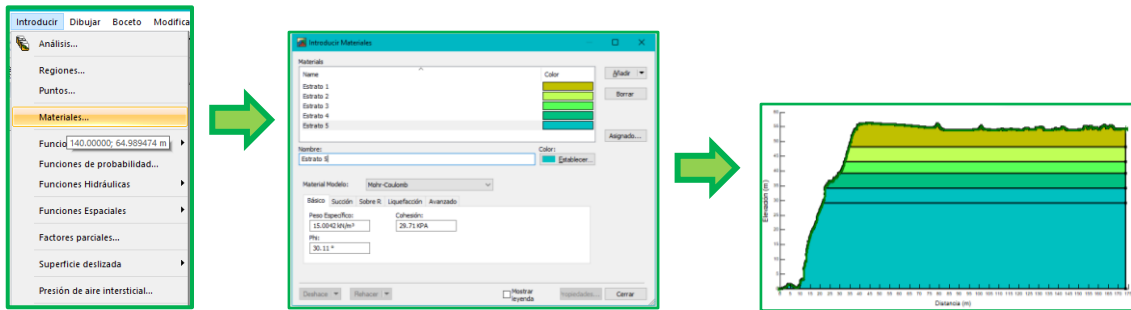
Figura 44. Importación de archivo dxf a GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Con el perfil importado, se configuraron los títulos y la numeración de los ejes verticales y horizontales, posteriormente, se procedió al ingreso de las propiedades del suelo, resultado de los ensayos de triaxial.

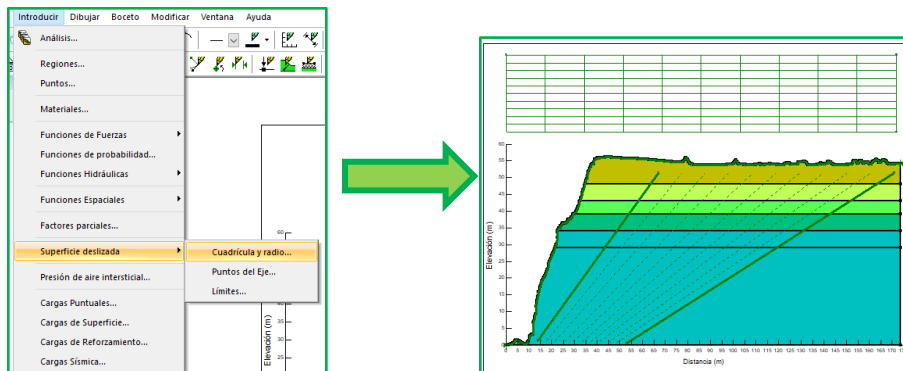
Figura 45. Ingreso de propiedades de suelo en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Se asignó la cuadrícula y el radio sobre el perfil, los cuales, son factores que delimitan el área de análisis de estabilización.

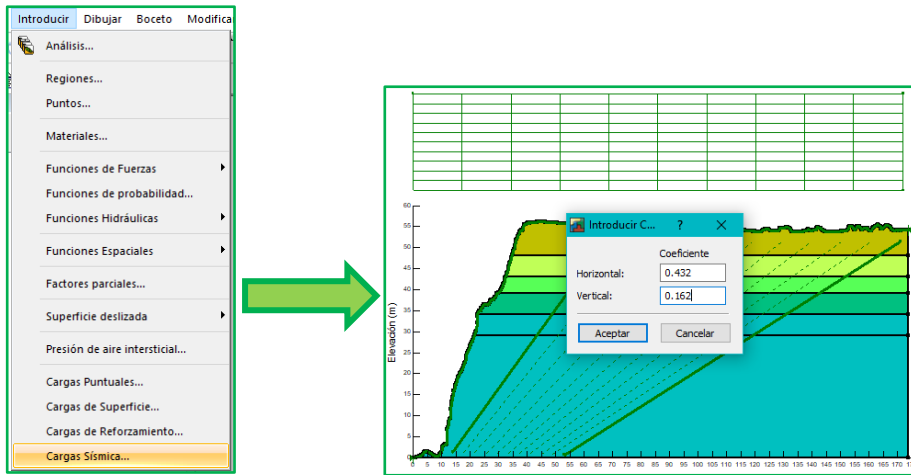
Figura 46. Trazo de cuadrícula y radio en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Debido a que se consideró el factor sísmico y con los valores obtenidos, estos se ingresaron al GeoSLOPE de la siguiente manera:

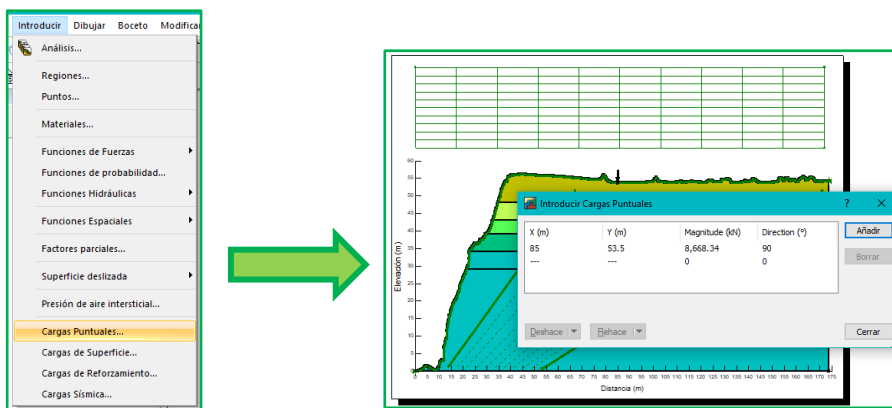
Figura 47. Ingreso de los valores de la aceleración máxima del suelo



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Asimismo, se consideraron los pesos de edificios y elementos cercanos a los perfiles analizados, para lo cual, como ya se describió, el peso externo se aplicó a los perfiles 4, 5, 6 y 8; estos se ingresaron al software.

Figura 48. Ingreso de cargas externas en GeoSLOPE

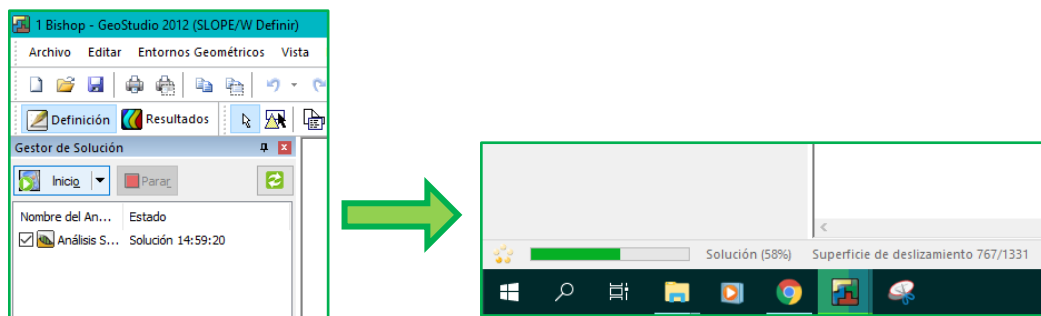


Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.



Habiendo ingresado todos los factores considerados, se procedió a analizar el talud seleccionando el icono Inicio del gestor de solución que se muestra al lado izquierdo del programa y como se puede observar, al iniciar el análisis de estabilidad, se observa el avance del análisis y la cantidad de superficies de deslizamiento considerados por el paquete informático, en este caso son 1 331.

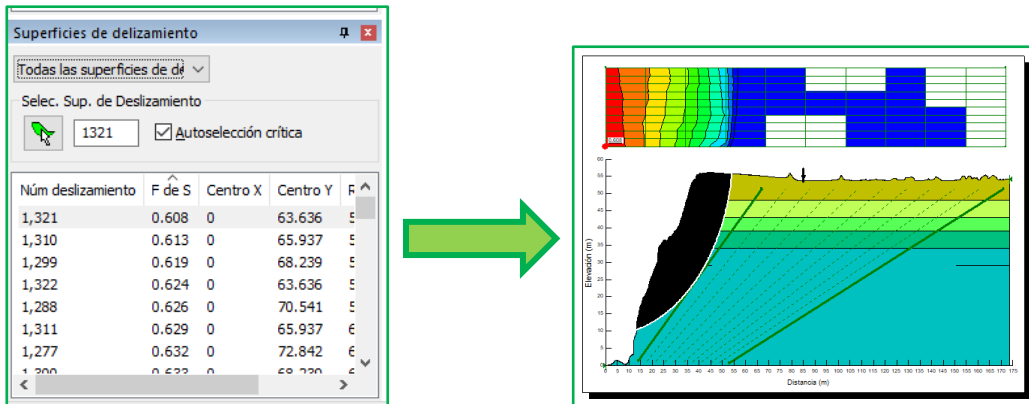
Figura 49. **Análisis de estabilización en proceso en GeoSLOPE**



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Finalizado, el proceso de las iteraciones se presenta en el lado izquierdo una tabla donde se presentan los diferentes deslizamientos basados en la variación del factores de seguridad, en el caso del perfil 5, como ya se mencionó, se presentaron 1 331 superficies de deslizamiento; El software, presenta una opción donde se puede marcar para que muestre automáticamente el deslizamiento crítico, es decir, el deslizamiento con más probabilidades de producirse al combinarse los factores evaluados; para el perfil 5 se determinó que la superficie de deslizamiento 1 321 es la más crítica con un factor de seguridad de 0,608 y precisamente, con un FS menor a 1, por lo que se concluye como un talud muy inestable; Información que se respalda con la gráfica que se muestra en la parte superior del talud de la figura 48, donde se observa el punto correspondiente dentro del área roja.

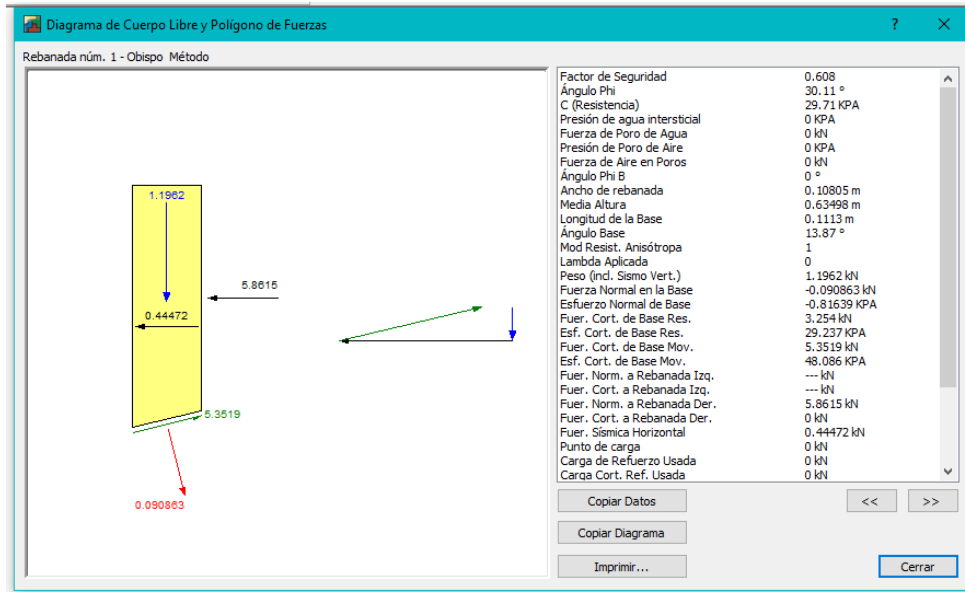
Figura 50. **Lista de superficies de deslizamiento en GeoSLOPE**



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Mientras se va seleccionando cada superficie de deslizamiento de la tabla de la izquierda, se puede observar la forma y el comportamiento del deslizamiento en la figura que se encuentra del lado derecho, asimismo, es posible mostrar el diagrama de cuerpo libre y polígono de fuerzas, para observar de una forma más detallada las fuerzas que actúan sobre cada rebanada que conforma el talud, para cada superficie de deslizamiento.

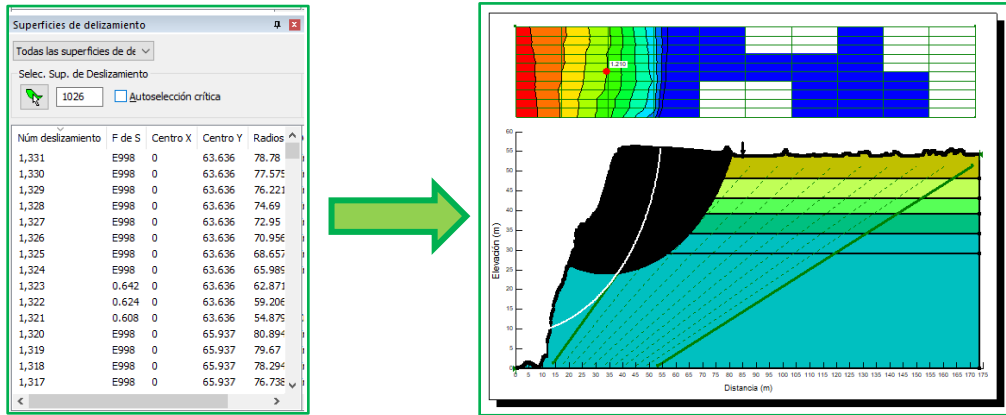
Figura 51. Análisis de superficies de deslizamiento en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Como se observa en la figura 50, el valor del FS fue ordenado de una forma ascendente, y se buscó la estabilidad del talud al llevar a un FS mayor a 1, y para lo cual, se tomaron en cuenta las recomendaciones descritas por Gerscovich las cuales fueron citadas en la tabla VIII, para ello se tomó el nivel de seguridad bajo, tanto para daños materiales como a vidas humanas al ser un área catalogado como área de alto riesgo y por no haber permanencia humana dentro del área, para ello, a todos los perfiles analizados, se trató de ubicarlos con un FS mayor a 1,2 como se muestra en la figura 50, en la cual se puede observar en la gráfica de la parte superior del talud que el punto ya se encuentra dentro del rango verde.

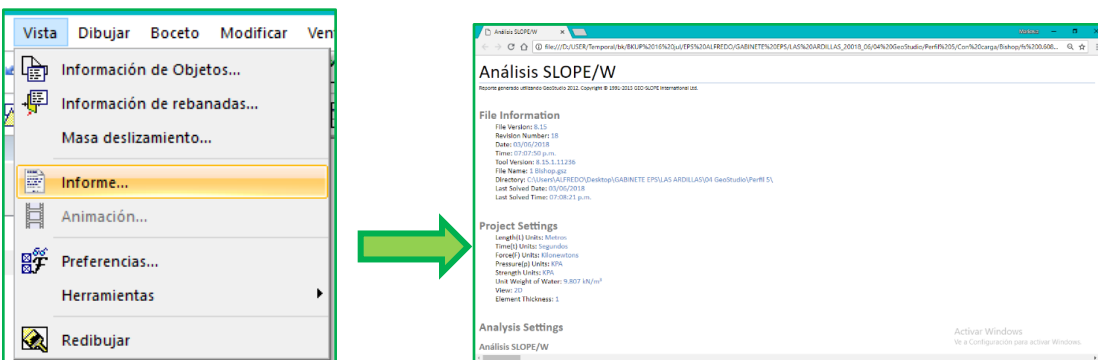
Figura 52. Elección del factor de seguridad en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio.

Asimismo, para cada valor de FS se puede generar un informe como muestra de cálculo, el cual se guarda en el ordenador en formato HTML para ser visualizado en cualquier navegador de internet, pero para visualizar este informe no es necesario tener conexión a la red informática de comunicación mundial, en el cual se obtienen las coordenadas de la falla que dibuja el software para cada superficie de deslizamiento analizado.

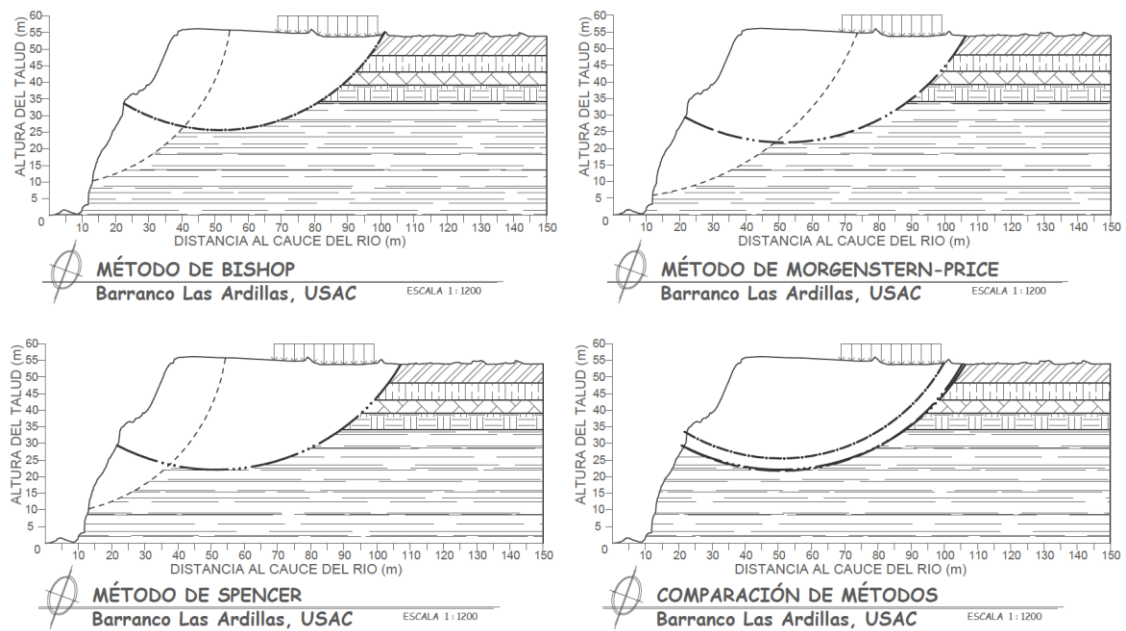
Figura 53. Generación de Informe de análisis en GeoSLOPE



Fuente: elaboración propia, empleando GeoStudio 2012.

Las coordenadas de las superficies de deslizamiento tanto para el deslizamiento crítico como para el FS mayor a 1,2 fueron ingresadas a los perfiles dibujados en AutoCAD y a partir de ello se fue comparando la similitud entre las superficies de deslizamiento obtenidos con los métodos de análisis aplicados al talud, como se muestra en la figura 52 y que se presentan con mayor detalle en los planos 1 al 12.

Figura 54. **Comparación de métodos de estabilización en AutoCAD**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Dado que lo que se desea es comparar el área de alto riesgo y la franja de protección por riesgo correspondiente al valor del FS mayor a 1,2 con el mapa de alto riesgo de 100 m establecidos en el Acuerdo Gubernativo 179-2001, y al obtener valores similares para los 3 métodos, se procedió a promediar los valores para cada perfil y con el uso de la herramienta buffer de distancias variables del

software QGIS, fueron ingresadas las coordenadas de las distancias mencionadas anteriormente, para mostrar de una forma gráfica y para comprender mejor las delimitaciones obtenidas a partir del estudio de estabilización de taludes del proyecto como se puede observar en los mapas 6 al 11.

## 5. RESULTADOS

Como resultado del estudio fotogramétrico realizado en el barranco Las Ardillas, se presenta en el mapa 1 la ortofoto obtenida a partir de las fotografías aéreas y en la ortofoto se observa que el área abarca desde el edificio T1 hasta la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala; el Modelo Digital de la Superficie (DSM) generado a partir de la ortofoto del barranco Las ardillas se presenta en el mapa 2; el modelo digital del terreno (DTM) generado posterior a la selección y eliminación de los elementos espaciales existentes sobre la superficie del terreno se observa en el mapa 3; las curvas de nivel elaboradas a partir del DTM, sobre las cuales se trazaron los perfiles del barranco tuvieron un cierto nivel de precisión, lo cual permitió la obtención de valores de altitud a cada 0,18m, pero debido a la densidad de estas y para una mejor apreciación, se observa en el mapa 4 curvas de nivel con distancias de 1 m; la ubicación de los perfiles trazados sobre el DTM se presenta en el mapa 5 y para apreciar mejor la ubicación se utilizó como fondo la ortofoto generada en el mapa 1.

Como resultado del estudio Geotécnico se presenta en los planos 1 al plano 11 los modelos de deslizamiento generados; los planos se dividieron en 4 cuadrantes, presentando en el cuadrante superior izquierdo la comparación entre la superficie de deslizamiento crítico y la superficie de deslizamiento a estabilidad del método de análisis Bishop; en el cuadrante superior derecho se presenta la comparación entre la superficie de deslizamiento crítico y la superficie de deslizamiento a estabilidad del método de análisis Morgenstern-Price; en el cuadrante inferior izquierdo se presenta la comparación entre la superficie de deslizamiento crítico y la superficie de deslizamiento a estabilidad del método de

análisis Spencer; en el cuadrante inferior derecho se presenta la comparación entre las superficies de deslizamiento a estabilidad de los métodos Bishop, Morgenstern-Price y Spencer y el distanciamiento a talud estable. En las tablas que se presentan a la derecha se detalla el FS, el radio, las coordenadas de la entrada y salida del deslizamiento de los métodos de análisis.

Para una mejor apreciación de los resultados obtenidos del estudio, en el mapa 6 se presenta la franja de 100 m que establece el Acuerdo Gubernativo 179-2001; en el mapa 7 se trazó la franja de alto riesgo resultado de los modelos de deslizamiento críticos; en el mapa 8 se compara la franja de alto riesgo con la franja de 100 m establecida por el Acuerdo Gubernativo 179-2001; en el mapa 9 se trazó la franja de protección por riesgo; en el mapa 10 se compara la franja de protección por riesgo con la franja de 100 m establecida por el Acuerdo gubernativo 179-2001 y en el mapa 11 se comparan las franjas de alto riesgo y de protección por riesgo obtenidas del estudio geotécnico con la franja de 100m establecida por el acuerdo gubernativo 179-2001, la ortofoto utilizada como fondo y referencia de estas franjas fue elaborada en el 2016 por la Universidad de San Carlos de Guatemala mediante un UAV Civil de alas fijas.

Los planos y mapas se encuentran en el apéndice 5 y los cuales se encuentran con los siguientes nombres.

## **MAPAS**

- Mapa 1. Mapa del área de estudio del barranco Las Ardillas
- Mapa 2. Modelo Digital de Superficie (DSM)
- Mapa 3. Modelo Digital del Terreno (DTM)
- Mapa 4. Mapa de curvas de nivel
- Mapa 5. Ubicación de perfiles analizados con el software GeoSLOPE



- Mapa 6. Mapa del área de alto riesgo de 100m del Acuerdo Gubernativo 179-2001
- Mapa 7. Mapa del área crítica a deslizamiento del barranco Las Ardillas
- Mapa 8. Comparación del área crítica a deslizamiento con los 100m del Acuerdo Gubernativo 179-2001
- Mapa 9. Mapa de la franja de protección por riesgo del barranco Las Ardillas
- Mapa 10. Comparación de la franja de protección por riesgo con los 100m del Acuerdo Gubernativo 179-2001
- Mapa 11. Comparación del área crítica a deslizamiento, área de protección por riesgo y de 100m del Acuerdo Gubernativo 179-2001

## **PLANOS**

- Plano 1. Perfil 1-Facultad de Arquitectura
- Plano 2. Perfil 2-Facultad de Ingeniería
- Plano 3. Perfil 3-Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-
- Plano 4. Perfil 4-Editorial Universitaria
- Plano 5. Perfil 5-Editorial Universitaria
- Plano 6. Perfil 6-Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
- Plano 7. Perfil 7- Centro de estudios del mar y acuicultura -CEMA-
- Plano 8. Perfil 8-Urbanización y Remodelación, Servicios Generales
- Plano 9. Perfil 9-Facultad de Veterinaria
- Plano 10. Perfil 10-Planta de tratamiento, USAC
- Plano 11. Perfil 11-Planta de tratamiento, USAC



## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los 11 perfiles del barranco Las Ardillas que fueron analizados, mismos que se ubicaron en el mapa 6, los cuales fueron obtenidos a partir de la altimetría que se señala en las curvas de nivel del mapa 5; fueron realizadas a partir de los vuelos del UAV Civil, del cual se obtuvo la ortofoto que se muestra en el mapa 1, con un nivel de detalle que permitió identificar los elementos existentes sobre la superficie terrestre para posteriormente eliminarlos y generar el Modelo Digital del Terreno (DTM) como se muestra en el mapa 3, a partir de ello se pudo conocer la topografía aproximada del terreno mediante las curvas de nivel en el que se registraron datos de altitud a cada 0,18m, sin embargo, por la densidad de estas, en el mapa 4 solo se muestran curvas de nivel a cada 1 m.

Es importante señalar que la altimetría obtenida del estudio fotogramétrico tendría cierta precisión si se comparara con un levantamiento topográfico tradicional; utilizando nivel geométrico o estación total. Dicha precisión se desconoce y la cual se puede demostrar a través de un estudio de comparación de precisión mediante el uso de dichos equipos para este tipo de trabajo topográfico, asimismo, la precisión se puede mejorar con la utilización del mismo UAV Civil, programando vuelos con la función DOUBLE GRID MISSION en vez de utilizar la función GRID MISSION, sin embargo, se necesitaría contar con un computador más potente, ya que la cantidad de fotografías y el peso de dicha información traducida a unidades byte que se obtenga aumentaría al doble y por ende se necesitarían más capacidad de almacenamiento, procesadores, tarjetas de video más potentes y memorias de acceso aleatoria (Memoria RAM) con mayor capacidad para llevar a cabo el procesamiento de fotografías obtenidas.

Figura 55. **Opciones para programar la misión de vuelo de un UAV Civil**



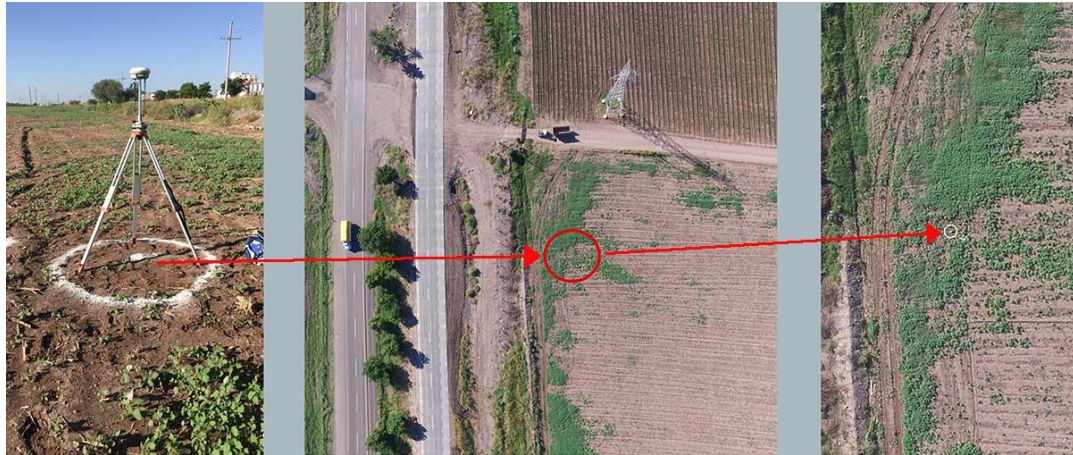
Fuente: Aplicación Android Pix4D.

También es importante señalar que el estudio fotogramétrico se realizó considerando el propósito de la presente investigación que consiste en la obtención de los perfiles del barranco, y al necesitar la visualización del perfil de los taludes, no se necesitó de una precisión con error milimétrico para la ubicación de los objetos existentes en el área; por ello, solo se hizo uso del GPS de ubicación incorporado al dispositivo móvil, sin embargo, se indica que el error de ubicación no supera los 50 cm, ya que la ortofoto obtenida del presente estudio se comparó con la ortofoto de la Universidad de San Carlos de Guatemala elaborada en el 2016; esta ortofoto digital fue la que se utilizó de base para la elaboración de las franjas descritas en los mapas 6 al 11 ya que abarcó toda la Universidad, lo que permitió delimitar de mejor manera el área de interés.

Sin embargo, el error de ubicación mencionado se puede minimizar si se tratara de un estudio fotogramétrico de diferente finalidad utilizando el mismo equipo. Para ello se ubica dentro del área de interés los denominados puntos de control, es decir, ubicando puntos de referencia en diferentes puntos y calcular las coordenadas de estos mediante un GPS geodésico, posteriormente se identifican en grande para que se visualicen desde la altura a la que volará el

UAV Civil para posteriormente identificarlos y realizarles la corrección de coordenadas en el software Agisoft PhotoScan como se visualiza en la siguiente figura.

Figura 56. **Colocación de puntos de control con GPS geodésico**



Fuente: MapaMedia Estudios y Proyectos S.A. de C.V. *Colocación de puntos de control*. [mapamedia.com/levantamientos-aereos/](http://mapamedia.com/levantamientos-aereos/). Consulta: 27 de julio de 2018.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de estabilización de taludes con el software Geo-SLOPE habiendo considerado los tres métodos de estabilización aplicados a los 11 perfiles, se obtuvieron los siguientes distanciamientos críticos, es decir, con un factor de seguridad menor a 1, equivalente a decir que son distanciamientos que los identifican como taludes de alta inestabilidad.

Tabla XXVIII. **Distancias de alto riesgo del barranco Las Ardillas**

Perfil	Método de análisis	Factor de Seguridad	Distancia de alto riesgo (m)	Promedio de las distancias de alto riesgo (m)
1	Bishop	0,7	56,62	58,23
	Morgenstern-Price	0,7	61,45	
	Spencer	0,7	56,62	
2	Bishop	0,7	86,95	86,95
	Morgenstern-Price	0,7	86,95	
	Spencer	0,7	86,95	
3	Bishop	0,8	72,62	72,62
	Morgenstern-Price	0,9	72,62	
	Spencer	0,9	72,62	
4	Bishop	0,6	86,24	86,01
	Morgenstern-Price	0,7	86,24	
	Spencer	0,7	85,54	
5	Bishop	0,6	54,31	60,75
	Morgenstern-Price	0,8	73,63	
	Spencer	0,6	54,31	
6	Bishop	0,8	75,69	75,69
	Morgenstern-Price	0,8	75,69	
	Spencer	0,8	75,69	
7	Bishop	0,7	98,40	95,38
	Morgenstern-Price	0,8	93,86	
	Spencer	0,8	93,86	
8	Bishop	0,5	59,92	69,05
	Morgenstern-Price	0,7	83,10	
	Spencer	0,6	64,12	
9	Bishop	0,8	78,83	79,72
	Morgenstern-Price	0,8	80,16	
	Spencer	0,8	80,16	
	Bishop	0,9	75,17	76,03
	Morgenstern-Price	0,9	76,46	

Continuación de la tabla XXVIII.

10	Spencer	0,9	76,46	
	Bishop	0,8	73,69	74,31
11	Morgenstern-Price	0,8	73,69	
	Spencer	0,8	75,54	

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que de los 11 perfiles analizados y basándose en los distanciamientos de alto riesgo, ningún perfil superó la distancia de 100 m que establece el Acuerdo Gubernativo 179-2001, la comparación entre estas dos franjas se puede observar en el mapa 8.

Partiendo de los valores obtenidos de distanciamientos, catalogados como la franja de mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamiento por ser de alta inestabilidad, se procedió al análisis e identificación del resto de superficies de deslizamiento obtenidos en el software GeoSLOPE, considerando los valores de FS descritos en la tabla VIII, en la que se recomienda que un talud se encuentra estable cuando se alcanza un valor de FS mínimo de 1,2 y el área comprendida entre el cauce principal que discurre al fondo del barranco y los distanciamientos obtenidos con dicho valor de FS se le denominó Franja de Protección por Riesgo, los valores obtenidos para los 11 perfiles analizados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XXIX. Franja de protección por riesgo del barranco Las Ardillas

Perfil	Método de análisis	Factor de Seguridad	Distancia de protección por riesgo (m)	Promedio de las distancias de protección por riesgo (m)
1	Bishop	1,2	74,43	82,83
	Morgenstern-Price	1,2	86,69	
	Spencer	1,2	87,36	
2	Bishop	1,4	103,21	103,21
	Morgenstern-Price	1,4	103,21	
	Spencer	1,4	103,21	
3	Bishop	1,2	82,60	81,09
	Morgenstern-Price	1,2	80,82	
	Spencer	1,2	79,84	
4	Bishop	1,5	106,70	102,52
	Morgenstern-Price	1,5	101,16	
	Spencer	1,5	99,70	
5	Bishop	1,5	101,25	104,87
	Morgenstern-Price	1,5	106,24	
	Spencer	1,5	107,12	
6	Bishop	1,2	109,73	108,09
	Morgenstern-Price	1,2	106,18	
	Spencer	1,2	108,36	
7	Bishop	1,2	103,46	105,95
	Morgenstern-Price	1,2	106,55	
	Spencer	1,2	107,85	
8	Bishop	1,2	92,24	94,52
	Morgenstern-Price	1,2	95,26	
	Spencer	1,2	96,05	
9	Bishop	1,3	95,47	95,09
	Morgenstern-Price	1,3	97,19	
	Spencer	1,3	92,61	
	Bishop	1,2	94,00	95,70



Continuación de la tabla XXIX.

10	Morgenstern-Price	1,2	95,64	
	Spencer	1,2	97,46	
11	Bishop	1,2	91,49	92,59
	Morgenstern-Price	1,2	93,54	
	Spencer	1,2	92,73	

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en la tabla XXIX que los valores de las distancias aumentan al aumentarse los factores de seguridad, ya que el comportamiento de las superficies de deslizamiento que se observan en los planos del 1 al 11, se van acostando, disminuyendo la pendiente del deslizamiento que se produciría lo que se traduce en una menor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos; por ende, las distancias que parten del río aumentaron para alcanzar lo que es el talud estable, a partir de estos valores se elaboró el mapa 9, el cual muestra la franja de protección por riesgo.

Se visualiza en el mapa 10 que la franja de protección por riesgo a deslizamiento es similar a la distancia de 100m establecida en el acuerdo gubernativo 179-2001, habiendo secciones en que la franja de protección por riesgo es menor a 100 m como el caso de los perfiles 1, 3, 8, 9, 10 y 11; y secciones en las que la franja supera la distancia de 100 m como se visualiza en los perfiles 2, 4, 5, 6 y 7.

Con base en la información obtenida las cuales fueron descritas anteriormente, se demuestra la importancia del constante monitoreo del barranco Las Ardillas, así como de las cuencas identificadas como zonas de alto riesgo a niveles de estudios localizados, a través de estudios geotécnicos para determinar los niveles de inestabilidad, ya que, a pesar de que el Acuerdo Gubernativo fue emitido desde el 2001 y sin base científica, 17 años después y con los cambios

que ha sufrido el área en estudio, se puede identificar que hay áreas en las que la inestabilidad supera la distancia de 100 m, así como áreas que por ciertas características poseen una franja de protección por riesgo menor a 100 m.

Los distanciamientos a deslizamiento críticos y a talud estable obtenidos en este estudio, los cuales, si serán aprovechados para la ejecución de algún futuro proyecto de interés para la Universidad de San Carlos de Guatemala, se recomienda considerar el año en el que se realizó, por ser una zona riesgo, los efectos de erosión del suelo, los cambios de dirección del cauce provocado por efectos de socavamiento, entre otros, pueden cambiar las propiedades del talud.

Asimismo, se recomienda a las instituciones competentes, la realización de un estudio similar al presente para un período de tiempo no mayor a 5 años para verificar el estado de la inestabilidad del barranco debido a los factores descritos anteriormente; así como la realización de estudios geotécnicos posterior a la ocurrencia de cualquier deslizamiento que se produzca en el área estudiada del barranco Las Ardillas.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que los límites de alto riesgo del barranco Las Ardillas son menores a los 100 m que establece el Acuerdo Gubernativo 179-2001; mientras que la franja de protección por riesgo supera esta distancia de 100 m en los perfiles 2, 4, 5, 6 y 7 que se observan en el mapa 5.
2. Se elaboró el Modelo Digital del Terreno del barranco Las Ardillas del lado de la Universidad de San Carlos de Guatemala por medio de fotografías aéreas captadas por un UAV Civil.
3. Se generaron 11 perfiles del barranco Las Ardillas del lado de la Universidad de San Carlos de Guatemala a partir de curvas de nivel con valores de altitud a cada 0,18m del Modelo Digital del Terreno.
4. Se determinó que la aceleración sísmica del barranco las Ardillas posee un valor de  $0,432 \text{ m/s}^2$  en dirección horizontal y  $0,162 \text{ m/s}^2$  en dirección vertical, esto tomando de referencia el terremoto de 1976 con mayor intensidad que ha afectado al territorio de Guatemala.
5. Se determinó que el edificio de la Editorial Universitaria pesa 8 668,34 KN; El peso del Edificio de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria se de 4 417,68 y el peso de los materiales de construcción de la Unidad de Urbanización y Remodelación de la División de Servicios Generales es de 11 719,81 KN.



## RECOMENDACIONES

1. Al CEDESUD, gestionar para que se marque mediante señales visibles los límites de alto riesgo del barranco Las Ardillas, para advertir la zona de riesgo a la población universitaria.
2. Al CEDESUD como ente competente, comunicar a las autoridades correspondientes de la USAC la implementación de algún proyecto en conjunto con la Municipalidad de Guatemala que tenga como finalidad la protección de las paredes del cauce principal del río que discurre al fondo del barranco, para evitar más socavamientos en el área.
3. A pesar de estar desocupado el edificio de la Editorial Universitaria, se recomienda al CEDESUD comunicar a las entidades correspondientes considerar la demolición de este edificio para disminuir la inestabilidad del suelo.
4. La implementación de un proyecto de colector de la escorrentía superficial producida en la Universidad de San Carlos de Guatemala es imprescindible para disminuir erosiones, por lo que se recomienda al CEDESUD gestionar dicho proyecto.
5. A las instituciones competentes, la realización de un estudio similar al presente para un período de tiempo no mayor a 5 años y posterior a cualquier deslizamiento que ocurra en el área para verificar el estado de la inestabilidad del barranco Las Ardillas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Cedesyd 001-2016. Declaratoria de zonas de alto riesgo por deslizamientos en el Campus Central de la USAC. 2016.
2. Agisoft. *Agisoft PhotoScan User Manual. Standard Edition. Versión 1.4. 2018.* [en línea]. <[http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_4\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf)>. [Consulta: 24 de febrero de 2018].
3. ALONSO, Eduardo. *Análisis de la estabilidad de taludes.* [en línea]. <[https://docgo.net/viewdoc.html?utm\\_source=estabilidad-de-taludes-tATdG9VOq](https://docgo.net/viewdoc.html?utm_source=estabilidad-de-taludes-tATdG9VOq)>. [Consulta: 19 de agosto de 2018].
4. \_\_\_\_\_. Métodos generales de equilibrio límite. [en línea]. <<https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/ asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/ analisis-estabilidad>>. [Consulta: 17 de agosto de 2018].
5. 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.
6. BARREDA, Alenka. *El crecimiento urbano del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12, 2000-2020.* Trabajo de Graduación de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2002. 142p.

7. BENITO, Belén. et al. *Amenaza sísmica en América Central*. Madrid, España: RESIS II, 2009. 116p. [en línea]. <[https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes\\_sismos/amenaza\\_sismica\\_cr.pdf](https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/amenaza_sismica_cr.pdf)>. [Consulta: 24 de julio de 2018].
8. BOWLES, Joseph. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGraw-Hill, 1981. 213p.
9. CEDESYD. *Evaluación Rápida y Estado del Arte de la Investigación de deslizamientos del Talud Quebrada del Frutal (Parque Las Ardillas USAC)*. Oficio 010.01.10. 2009.
10. CONRED. *Informe de la Evaluación de Seguimiento y susceptibilidad en Área Colindante Quebrada el Frutal, parque Las Ardillas, USAC, Guatemala*. DMI\_033\_20130320\_ES\_ÁreaColindanteQuebradadelFrutal"LasArdillas"USAC\_Guatemala\_EAGL. 2011.
11. \_\_\_\_\_. *Evaluación de seguimiento condiciones del parque Las Ardillitas, y colonia El Carmen colindantes a la quebrada El Frutal, zona 12 Ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala*. DMI\_102\_20160610\_Es\_Condicioes\_laderas\_Quebrada\_El\_Frutal\_Zona\_12\_Guatemala\_GABG. 2016.
12. Definición.de. *Definición talud*. [en línea]. <<https://definicion.de/talud/>>. [Consulta: 27 de abril de 2018].
13. DEL CID, Ligia. *Estudio de sismos originados por fuentes sismogénicas superficiales ocurridos en Guatemala en el siglo XIX*. Trabajo de



graduación de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 111p.

14. Diario de Centro América. *Acuerdo Gubernativo Número 179-2001*. [en línea]. <<https://www.conred.gob.gt/www/documentos/declaratorias/declaratoria179-2001.pdf>>. [Consulta: 27 de enero de 2018].
15. GARCÍA, Víctor. Oficio Of. Ref. Cedesyd.007.01.16.
16. GERSCOVICH, Denise. *Estabilidad de taludes*. Bogotá, Colombia: Lemoine Editores, 2015. 199p.
17. INEGI. *Modelo Digital de Elevaciones (DEM)*. [en línea]. <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>>. [Consulta: 14 de abril de 2018].
18. INSIVUMEH y CONRED. *Informe de evaluación en el parque ecológico Las Ardillas, ciudad universitaria, zona 12, ciudad capital*. DMI103\_110202\_ParqueEcologicoLasArdillasUSACZona12\_DM. 2011.
19. LÓPEZ, Germán. *Introducción al uso del programa SLOPE/W versión 2012-Student*. Trabajo de graduación de Mecánica, Universidad de Córdoba, Departamento de Mecánica, 2015. 83p.
20. MAPPINGGIS. *Qué podemos hacer con QGIS en el campo de la Teledetección*. [en línea]. <[https://mappinggis.com/2017/10/que-podemos-hacer-con-qgis-en-el-campo-delateledeteccion/#Por\\_que](https://mappinggis.com/2017/10/que-podemos-hacer-con-qgis-en-el-campo-delateledeteccion/#Por_que)>

\_trabajar\_con\_herramientas\_de\_teledeteccion\_en\_QGIS>.

[Consulta: 17 de mayo de 2018].

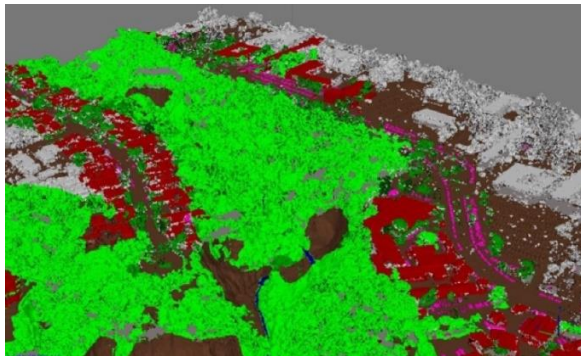
21. MARTÍNEZ, Yohanny. *Estabilización de deslizamientos de tierras mediante pilotes*. Trabajo de graduación de Ingeniería, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería de la Tierra, 2016. 115p.
22. MATTEIS, Álvaro. *Estabilidad de taludes*. Trabajo de graduación, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. [en línea]. <<https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>>. [Consulta: 02 de junio de 2018].
23. MENCOS, Luis. *Instrumentación geotécnica y monitoreo de taludes estabilizados con anclajes, aplicados en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 116p.
24. OLIVA, Aldo. *Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo*. [en línea]. <[https://www.academia.edu/12465089/ESTABILIDAD\\_DE\\_TALUDES\\_Y\\_LADERAS.\\_AN%C3%81LISIS\\_CUANTITATIVO\\_Y\\_CUALITATIVO?auto=download/](https://www.academia.edu/12465089/ESTABILIDAD_DE_TALUDES_Y_LADERAS._AN%C3%81LISIS_CUANTITATIVO_Y_CUALITATIVO?auto=download/)>. [Consulta: 28 de julio de 2018].
25. PÉREZ, Carlos. *Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. Revista Geológica de América Central. 41: 71-78. 2009.

26. Prensa Libre. *Huracán Mitch cae con fuerza sobre Guatemala*. [en línea]. <<http://www.prensalibre.com/hemeroteca/el-huracan-mitch-se-ensaa-con-guatemala>>. [Consulta: 28 de abril de 2018].
27. QGIS. *Una introducción fácil a SIG*. [en línea]. <[https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/introduciendo\\_gis.html](https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/introduciendo_gis.html)>. [Consulta: 12 de junio de 2018].
28. RAE (Real Academia Española). *Definición de talud*. [en línea]. <<http://dle.rae.es/srv/fetch?id=Z1ckycO>>. [Consulta: 15 de marzo de 2018].
29. SAGASTUME, Marco. *Síntesis histórica. Universidad de San Carlos de Guatemala*. [en línea]. <[http://www.usac.edu.gt/g/Sintesis\\_Historica\\_edicion\\_2013.pdf](http://www.usac.edu.gt/g/Sintesis_Historica_edicion_2013.pdf)>. [Consulta: 18 de marzo de 2018].
30. SÁNCHEZ, Ángela. *Aplicación de la fotogrametría digital para levantamiento gráfico de Casa de los Cosidó en Elche*. Trabajo de graduación de Expresión Gráfica y Cartografía, Universidad de Alicante, Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía, 2015. [en línea]. <<http://hdl.handle.net/10045/49687>>. [Consulta: 10 de febrero de 2018].
31. SILVA, Lucía. *Ventajas y desventajas de los drones*. [en línea]. <<https://www.dronesweb.net/ventajas-desventajas-los-drones/>>. [Consulta: 18 de febrero de 2018].

32. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda, 1998. 540p. [en línea]. <<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>>. [Consulta: 19 de julio de 2018].
  
33. ZETINA, Ana; FERNÁNDEZ, Alba. y LARA, Gloria. Análisis para la optimización de las instalaciones físicas de la ciudad universitaria zona 12 Universidad de San Carlos de Guatemala. Trabajo de graduación de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 1991. 223p.

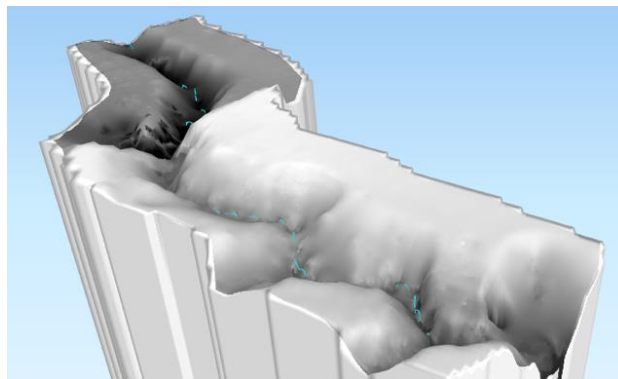
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Selección de elementos existentes sobre el modelo digital de la superficie (DSM) del barranco Las Ardillas para generar el modelo digital del terreno (DTM)**



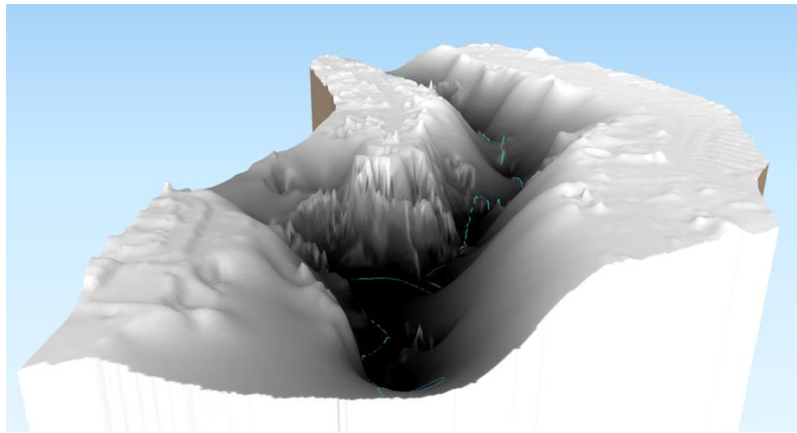
Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan.

Apéndice 2. **Modelo tridimensional del barranco Las Ardillas en tres dimensiones**



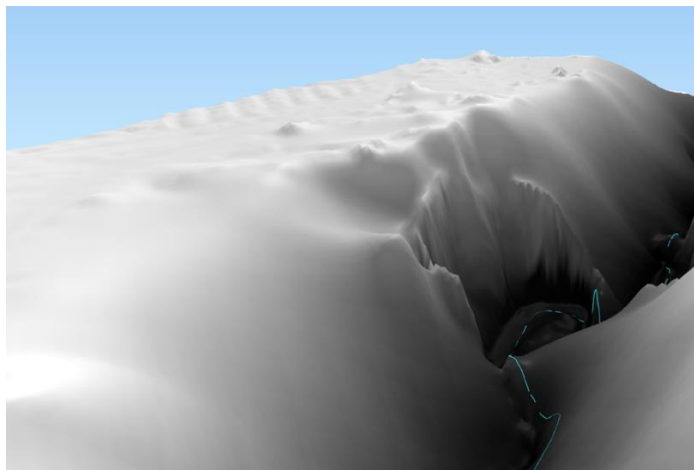
Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan.

Apéndice 3. **A la derecha de la imagen se observa el relieve del barranco Las Ardillas y del lado izquierdo de la misma se puede visualizar el barranco de la colonia El Carmen**



Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan.

Apéndice 4. **Avance del deslizamiento en las cercanías del edificio de la Editorial Universitaria**



Fuente: elaboración propia, empleando Agisoft PhotoScan.

**Apéndice 5. Mapas y planos elaborados a partir del Estudio fotogramétrico y determinación de los límites de alto riesgo del barranco las ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de modelos de deslizamiento de los métodos Bishop, Morgenstern-Price y Spencer**

Fuente: elaboración propia, empleando los programas AutoCAD, GeoSLOPE y QGIS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTÉCNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 1/11**

**MAPA DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL  
BARRANCO LAS ARDILLAS**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide . . . . . WGS84  
Proyección . . . . . Universal Transversal Mercator  
Dato vertical . . . . . Nivel medio del mar  
Dato horizontal . . . . . WGS84  
Ortofoto digital . . . . . Elaboración propia, 2018

Guatemala, julio de 2018

**MAPA DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS**



0 100 200 300 400 500 m

ESCALA 1: 8000

ESCALA GRÁFICA:

**UBICACIÓN**



**MACROLOCALIZACIÓN**



**MICROLOCALIZACIÓN**





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUFIO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 2/11**

**MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE  
(DSM)**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide ..... WGS84  
Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
Dato horizontal ..... WGS84  
DSM ..... Elaboración propia, 2018

Guatemala, julio de 2018

**UBICACIÓN**



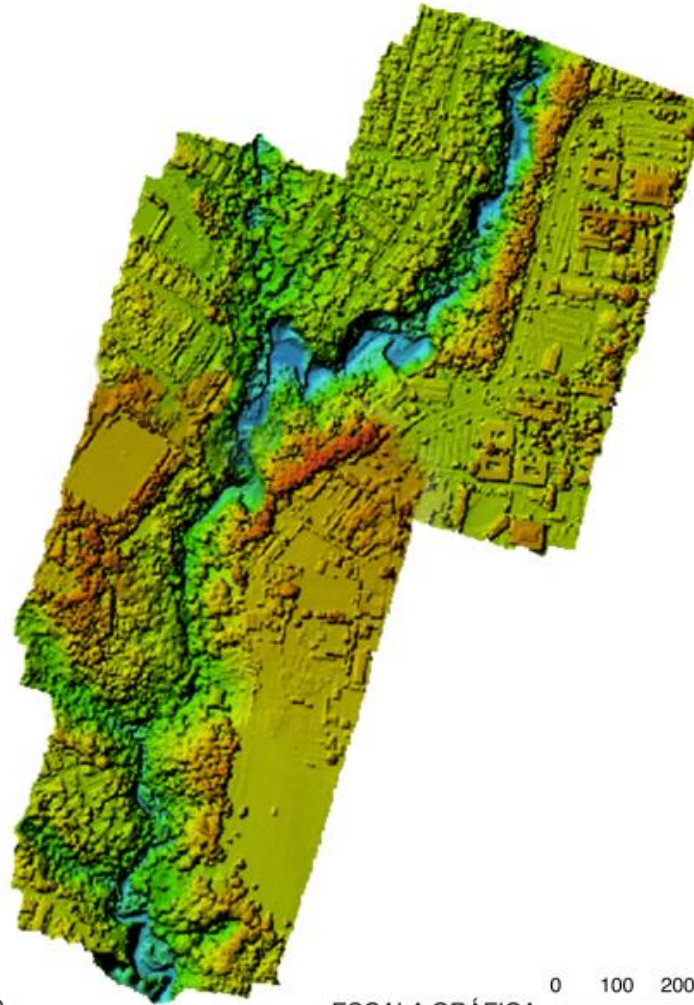
**MACROLOCALIZACIÓN**



**MICROLOCALIZACIÓN**



**MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM)**



ESCALA 1: 8000

ESCALA GRÁFICA: 0 100 200 300 400 500 m

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUFIO MARTINEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 3/11**

**MODELO DIGITAL DEL TERRENO  
(DTM)**

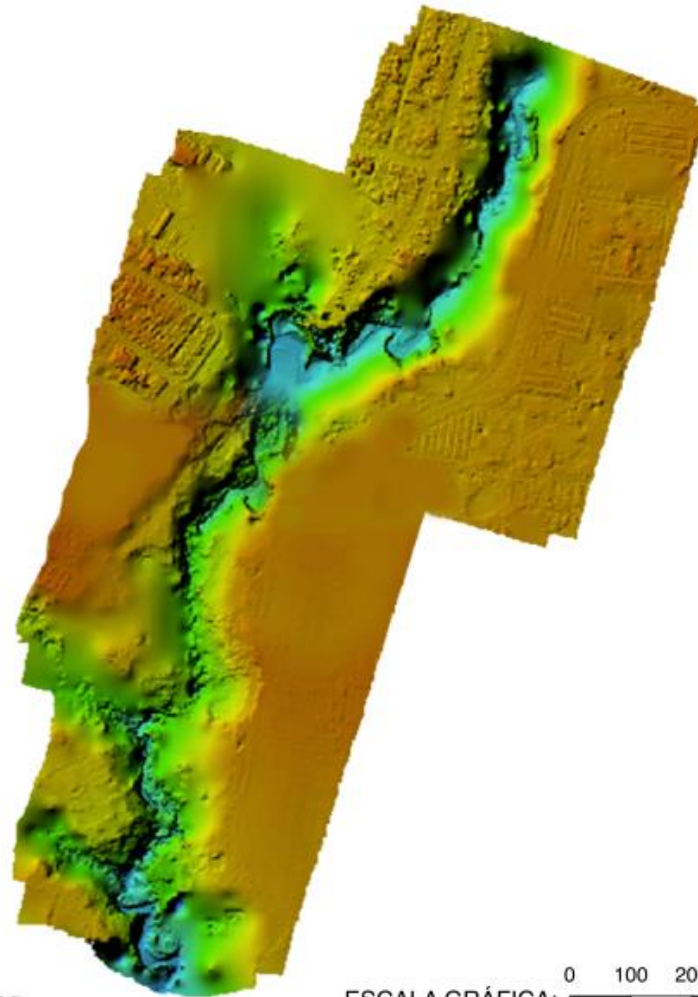
INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide ..... WGS84  
Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
Dato horizontal ..... WGS84  
DTM ..... Elaboración propia, 2018

Guatemala, julio de 2018



**MODELO DIGITAL DEL TERRENO (DTM)**



ESCALA 1 : 8000

ESCALA GRÁFICA: 0 100 200 300 400 500 m



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOTÉCNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUFIO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 4/11**

**MAPA DE CURVAS DE NIVEL**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

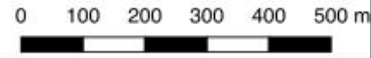
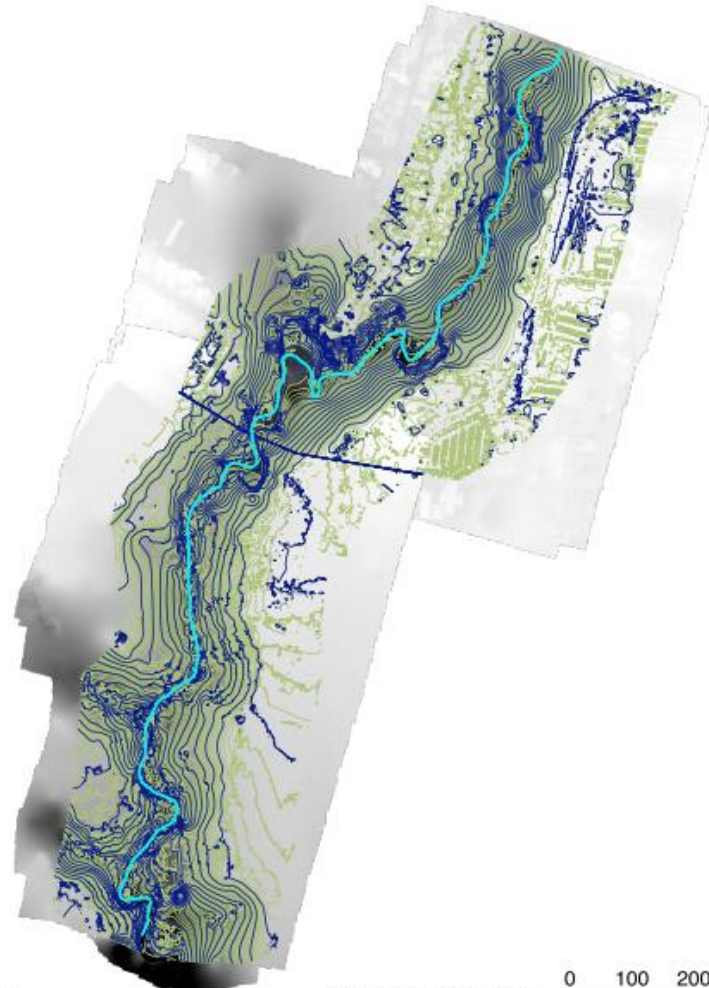
Elipsoide	WGS84
Proyección	Universal Transversal Mercator
Dato vertical	Nivel medio del mar
Dato horizontal	WGS84
DEM	Elaboración propia, 2018

LEYENDA

- Curvas de nivel a cada 1 m
- Curvas de nivel a cada 5m
- Tributario del río Quebrada del Frutal
- Modelo Digital del Terreno (DTM)
- Altitud máxima: 1505.85m
- Altitud mínima: 1407.36m

Guatemala, julio de 2018

**MAPA DE CURVAS DE NIVEL**



ESCALA 1: 8000

ESCALA GRÁFICA:

**UBICACIÓN**

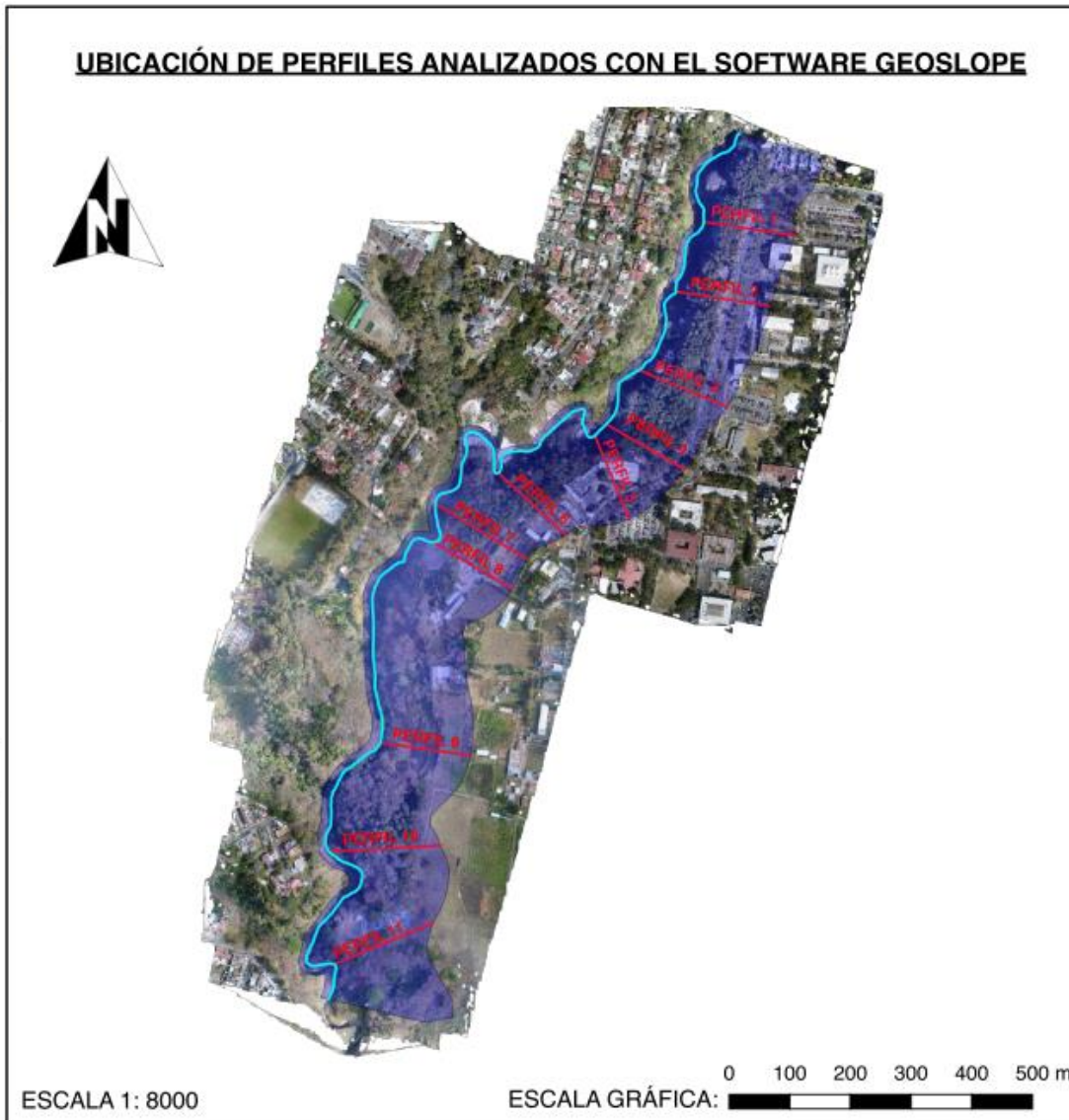


**MACROLOCALIZACIÓN**



**MICROLOCALIZACIÓN**





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-

**CEDESyD**  
 CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
 UNIVERSITARIA -DIGEU-  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

---

PROYECTO DE EPS  
 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
 DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
 DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
 MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
 BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

---

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
 (GEOTECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
 (FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
 DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

---

**MAPA 5/11**

**UBICACIÓN DE PERFILES  
 ANALIZADOS CON EL SOFTWARE  
 GEOSLOPE**

---

INFORMACION DE LOS MAPAS  
 Elipsoide ..... WGS84  
 Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
 Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
 Dato horizontal ..... WGS84  
 Ortofoto digital ..... Elaboración propia, 2018

---

LEYENDA

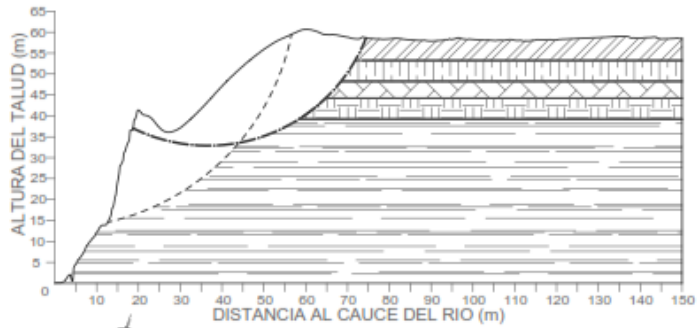
- Área de réplica del análisis de perfiles
- Perfiles con distancias de 150m
- Tributario del río Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018

INFORMACION DE LOS LIMITES DE ALTO NIVEL DEL MUESTRO DEL AREA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE MODELOS DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENTERN-PRICE Y SPENCER.

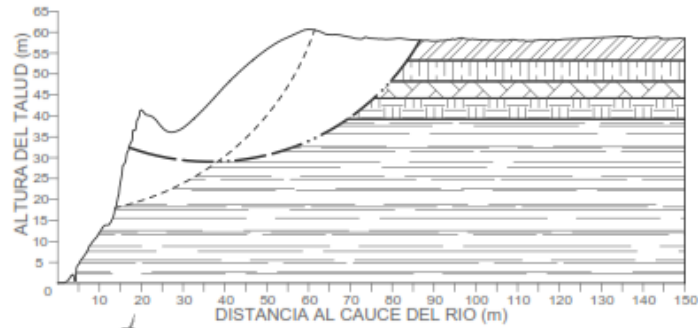
ANEXO: PLAN ALFREDO GUERRERO MONTES  
 INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL, MSc. JUAN PABLO SOLA RODRIGUEZ JORDAN, MSc. JUAN VILLANAR ALFARO INGENIERO PROFESIONAL EN INGENIERIA CIVIL, MSc. DANIEL GARCIA DE FIGUEROA (INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL)

PLANO 1/11 - PERFIL 1 - FACULTAD DE ARQUITECTURA



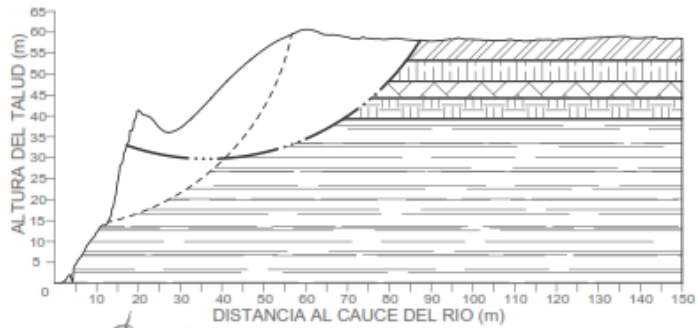
**MÉTODO DE BISHOP**  
 Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1700



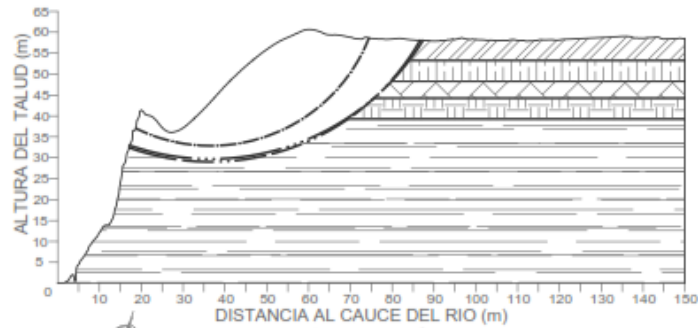
**MÉTODO DE MORGENTERN-PRICE**  
 Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1700



**MÉTODO DE SPENCER**  
 Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1700



**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
 Barranco Las Ardillas, USAC

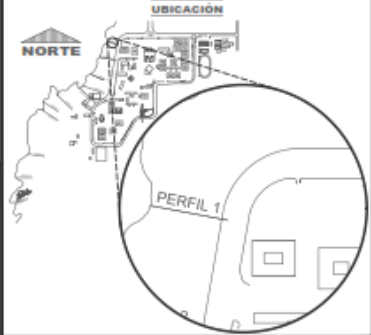
ESCALA 1:1700

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	0,67	0,70	0,65	
Radio (m)	57,77	64,92	57,77	
Centro (m)	Cx (m)	0,00	0,00	
	Cy (m)	70,94	61,45	70,94
Cresta	Rx (m)	56,62	61,45	56,62
	Ry (m)	59,47	60,52	59,47
Pie	Px (m)	12,73	13,85	12,73
	Pm (m)	14,59	16,06	14,59

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	1,2	1,2	1,2	
Radio (m)	40,70	57,73	59,67	
Centro (m)	Cx (m)	36,60	36,60	36,60
	Cy (m)	73,57	66,76	69,39
Cresta	Rx (m)	74,43	66,69	67,36
	Ry (m)	56,56	56,05	56,02
Pie	Px (m)	16,71	17,06	17,23
	Py (m)	37,02	32,43	32,96

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	74
Morgenstern-Price	67
Spencer	67
Promedio	63

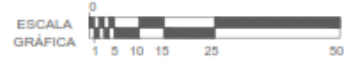


ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pomez color cafe claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color cafe
E3	SM	A-2-4	Arena pomez limosa color cafe claro
E4	SP	A-1-a	Arena pomez color cafe con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pomez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,55	34,55
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,55	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA



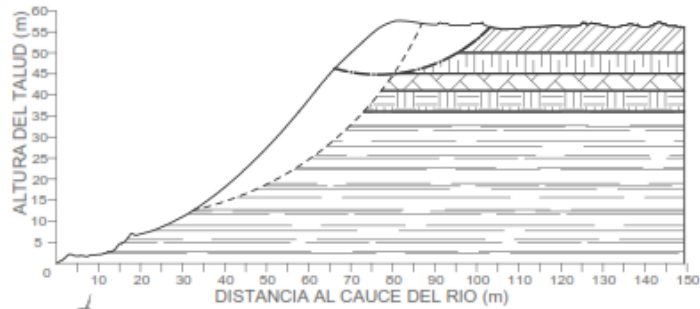
0 1 5 10 15 25 50

**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1)
- ESTRATO 2 (E2)
- ESTRATO 3 (E3)
- ESTRATO 4 (E4)
- ESTRATO 5 (E5)
- MÉTODO DE BISHOP
- MÉTODO DE MORGENTERN-PRICE
- MÉTODO DE SPENCER
- DESPLAZAMIENTO CRÍTICO
- CARGA EXTERNA

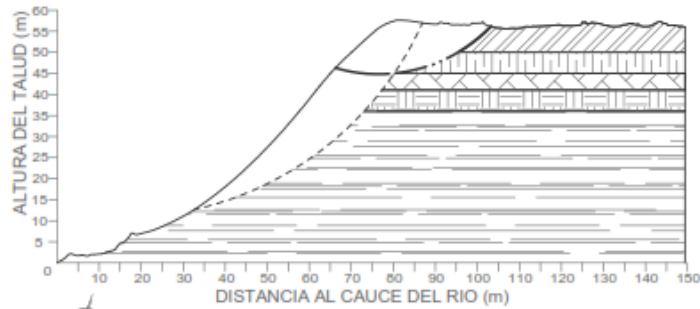
COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	7837416
Y	1852815
PIE	
X	7834346
Y	18528156





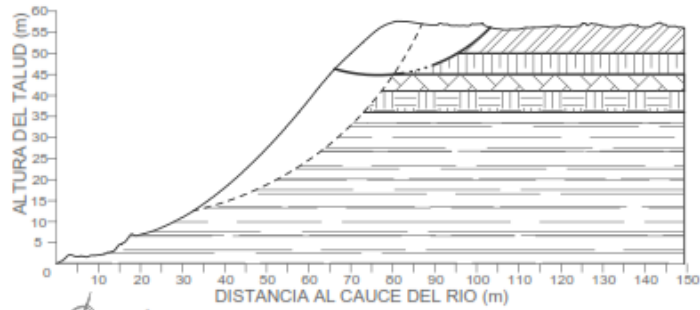
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



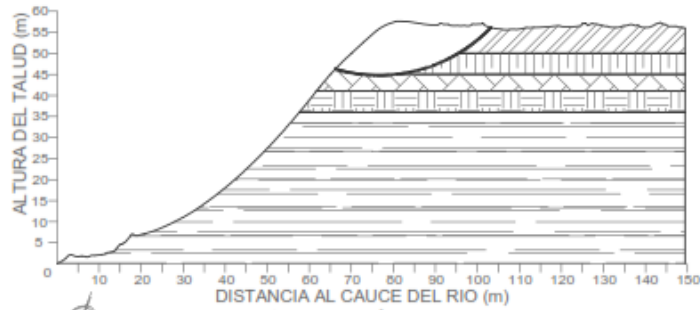
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200

ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0.432
VERTICAL	0.162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pómez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pómez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pómez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pómez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN (T/m <sup>2</sup> )	ÁNGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA

LEYENDA

- ESTRATO 1 (E1) [diagonal lines]
- ESTRATO 2 (E2) [horizontal lines]
- ESTRATO 3 (E3) [vertical lines]
- ESTRATO 4 (E4) [cross-hatch]
- ESTRATO 5 (E5) [stippled]
- MÉTODO DE BISHOP [dashed line]
- MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE [dotted line]
- MÉTODO DE SPENCER [dash-dot line]
- DESPLAZAMIENTO CRÍTICO [solid line]
- CARGA EXTERNA [rectangle with vertical lines]

COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	76925185
Y	164314615
PIE	
X	76923236
Y	164306554

PLANO 2/11 - PERFIL 2 - FACULTAD DE INGENIERÍA

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-

CEDESUD  
CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SOCIAL Y DEBATE  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA, CIESUL  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

IDENTIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL SECTOR LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

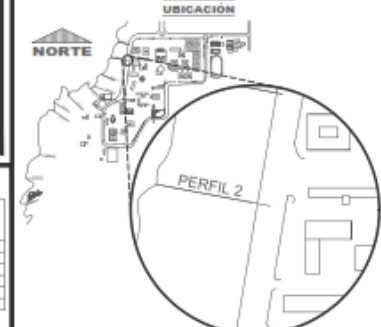
PROFESOR: DR. ALFREDO GARCÍA HERNÁNDEZ  
ASISTENTE: DR. JUAN PABLO OLGA HERNÁNDEZ (JEFE DE TALLER), DR. EDWIN VALDIVIA ALFARO (JEFE DE TALLER), FOTOGRAFÍA: DR. CRISTINA DEL ROSARIO GARCÍA DE PIETRO (ASISTENTE DE EPS)

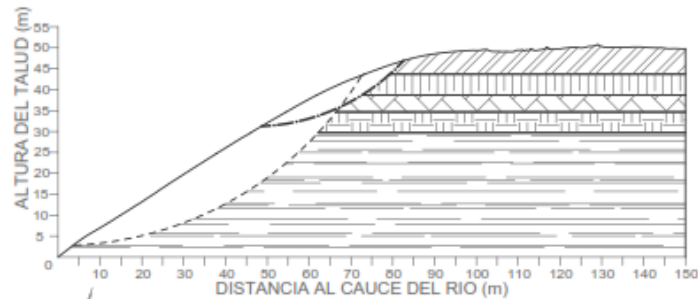
**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESPLAZAMIENTO CRÍTICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,7	0,7	0,7
Radio (m)	76,99	76,99	76,99
Centro (m)	Cx (m) 15,30 Cy (m) 89,26	15,30 89,26	15,30 89,26
Cresta	Rx (m) 66,95 Ry (m) 57,00	66,95 57,00	66,95 57,00
Pie	Px (m) 32,67 Py (m) 12,64	32,67 12,64	32,67 12,64

SUPERFICIE DE DESPLAZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,4	1,4	1,4
Radio (m)	37,16	37,16	37,16
Centro (m)	Cx (m) 76,50 Cy (m) 82,02	76,50 82,02	76,50 82,02
Cresta	Rx (m) 103,21 Ry (m) 56,15	103,21 56,15	103,21 56,15
Pie	Px (m) 66,21 Py (m) 46,29	66,21 46,29	66,21 46,29

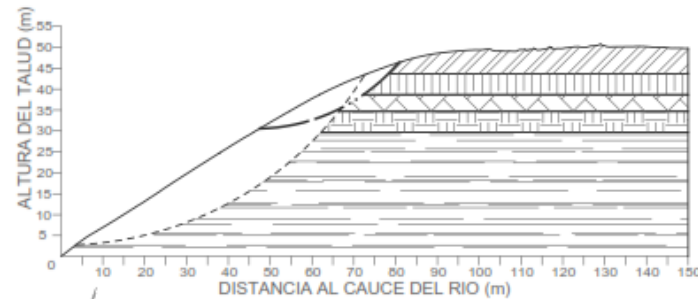
DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	103
Morgenstern-Price	103
Spencer	103
Promedio	103





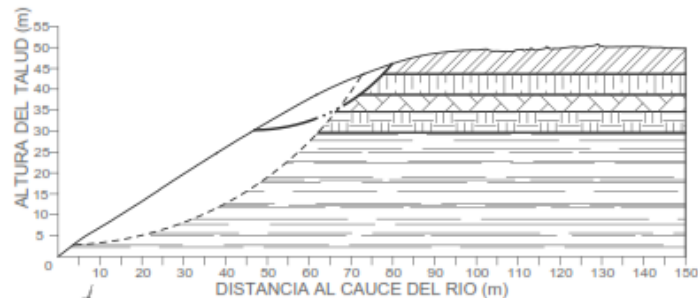
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



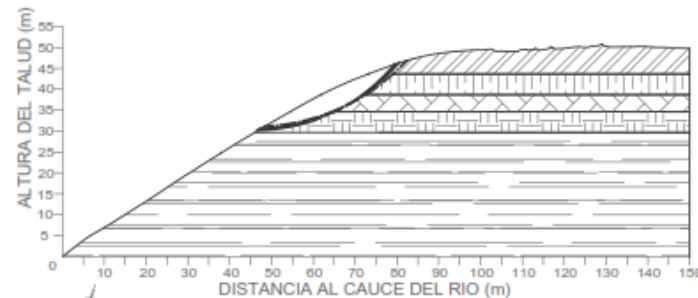
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



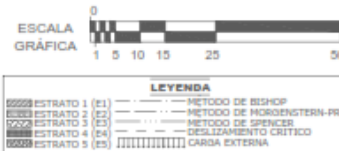
**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200

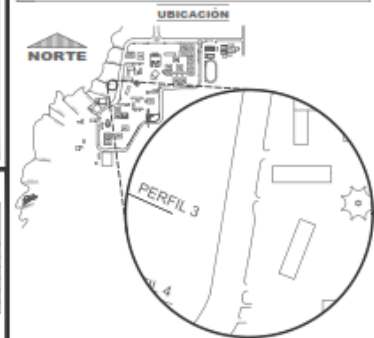
ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (pda)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pomez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pomez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pomez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pomez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN (T/m <sup>2</sup> )	ANGULO (°)
E1	1,10	1,05	34,05
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,05	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11



COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	7591950
Y	1605000
PIE	
X	7591946
Y	1605010



PLANO 3/11 - PERFIL 3 - CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA -CII-

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO DE SEGURIDAD Y DESASTRES  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA, CIESUD  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

IDENTIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL TERRITORIO DE LOS BARRIOS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MODELOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

PROFESOR: WILFRIDO GUERRERO HERNÁNDEZ  
AUTORES: ESTEBAN GARCÍA HERNÁNDEZ (PROFESOR), DR. IVÁN WILSON ALFARO (MAESTRO), PROFESOR GUSTAVO GARCÍA (PROFESOR), DR. IVÁN WILSON ALFARO (MAESTRO), PROFESOR GUSTAVO GARCÍA (PROFESOR), DR. IVÁN WILSON ALFARO (MAESTRO)

**RESULTADOS**

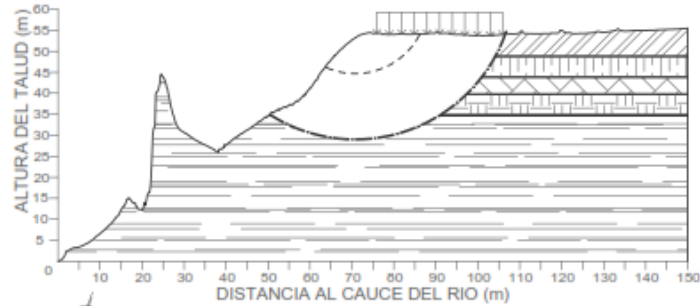
SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,6	0,9	0,9
Radio (m)	85,06	85,06	85,06
Centro (m)	Cx (m)	0,00	0,00
	Cy (m)	87,77	87,77
Cresta	Rx (m)	72,62	72,62
	Ry (m)	43,44	43,44
Pie	Px (m)	3,54	3,54
	Py (m)	2,76	2,76

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,2	1,2	1,2
Radio (m)	49,31	45,11	43,01
Centro (m)	Cx (m)	46,50	46,50
	Cy (m)	80,50	75,66
Cresta	Rx (m)	82,60	80,62
	Ry (m)	46,92	46,39
Pie	Px (m)	46,65	47,43
	Py (m)	31,25	30,56

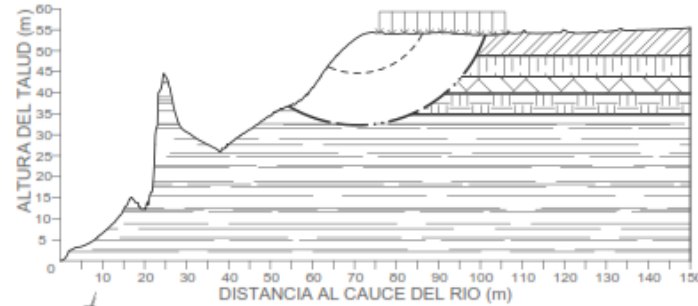
  

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	83
Morgenstern-Price	81
Spencer	80
Promedio	81



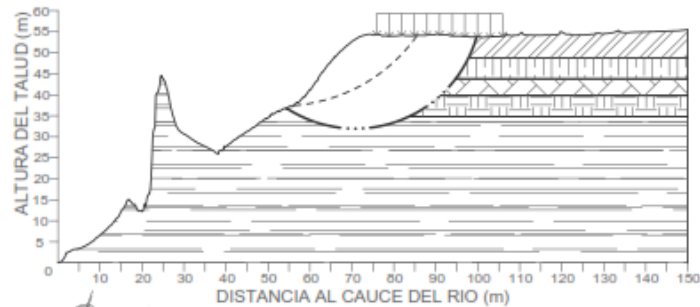
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



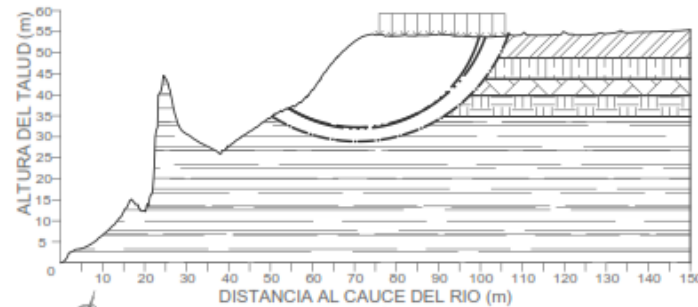
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200




**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200

PLANO 4/11 - PERFIL 4 - EDITORIAL UNIVERSITARIA

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-



**CEDESUD**  
CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO URBANO Y DESARROLLO  
INGENIERIA CIVIL, DE ESTADÍSTICA, DE INGENIERIA INDUSTRIAL, ZONAS  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP,  
MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

AUTORIA: PEDRO ALFREDO QUINONES PORTO  
AUTORIA COORDINADA POR: TERRY PELLICOLA HERNANDEZ (INGENIERO CIVIL), PEDRO ALFREDO QUINONES PORTO  
NIVEL DE INGENIERIA: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL (CON ESPECIALIZACIÓN EN PROYECTO CIVIL DE EPS)

**RESULTADOS**

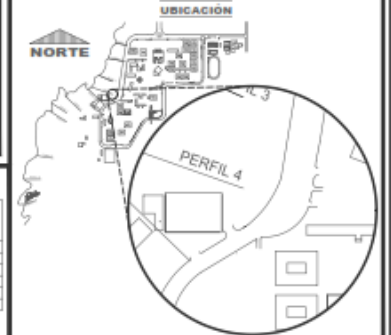
SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,6	0,7	0,7
Radio (m)	17,33	17,33	39,71
Centro (m)	Cx (m) 70,60	Cy (m) 62,00	Rx (m) 86,24
	Cy (m) 62,00	Ry (m) 54,13	Px (m) 63,63
	Rx (m) 86,24	Py (m) 46,23	
	Ry (m) 54,13		
	Px (m) 63,63		
	Py (m) 46,23		

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,5	1,5	1,5
Radio (m)	36,01	32,24	30,06
Centro (m)	Cx (m) 70,60	Cy (m) 67,02	Rx (m) 106,70
	Cy (m) 67,02	Ry (m) 54,31	Px (m) 50,49
	Rx (m) 106,70	Py (m) 34,09	
	Ry (m) 54,31		
	Px (m) 50,49		
	Py (m) 34,09		

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	107
Morgenstern-Price	101
Spencer	100
Promedio	103



PESO EDIFICIO EDITORIAL UNIVERSITARIA	
CARGA MUERTA (KN)	6 079,94
CARGA VIVA (KN)	586,41
PESO TOTAL (KN)	6 666,34
ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pómez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pómez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pómez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pómez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,05	34,05
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,05	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

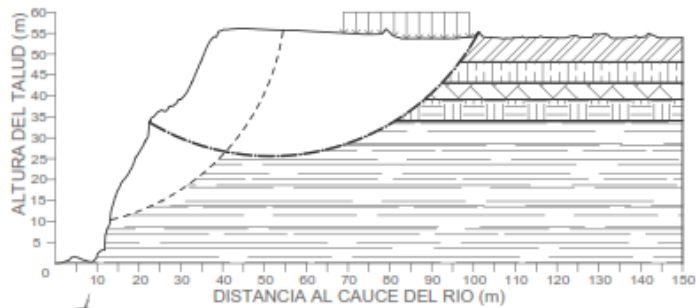
ESCALA GRÁFICA

**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1) [Symbol] MÉTODO DE BISHOP
- ESTRATO 2 (E2) [Symbol] MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE
- ESTRATO 3 (E3) [Symbol] MÉTODO DE SPENCER
- ESTRATO 4 (E4) [Symbol] DESLIZAMIENTO CRÍTICO
- ESTRATO 5 (E5) [Symbol] CARGA EXTERNA

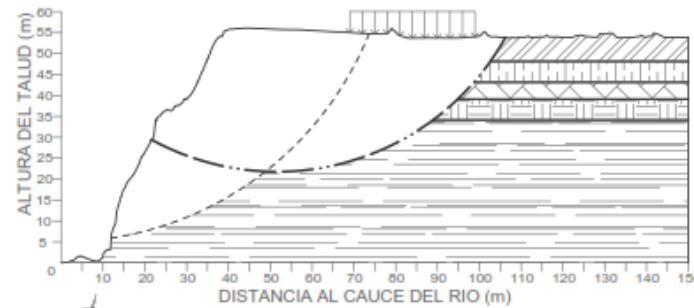
COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	18507786
Y	18506370
PIE	
X	18507805
Y	18507482





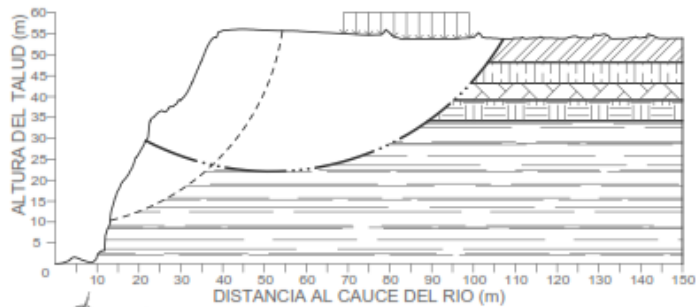
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



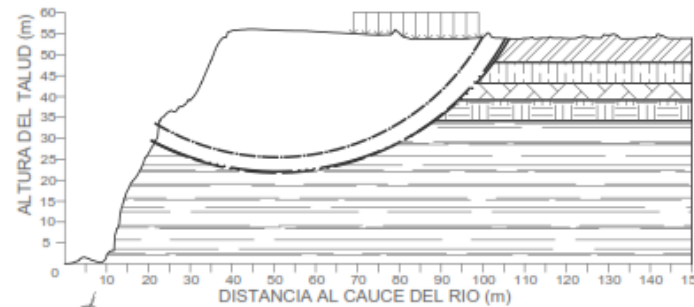
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200




**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200

PLANO 5/11 - PERFIL 5 - FEDITORIAL UNIVERSITARIA

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO - EPS -  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-



**CEDESUD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO URBANO Y CONSTRUCION  
DIRECCION GENERAL DE EXTENSION UNIVERSITARIA, JOSELU  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**PROYECTO DE OBRAS**  
DEFINICION DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO DEL SUPLENDO LAS ARELLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE MODELOS DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

**PROYECTO DE OBRAS**  
DEFINICION DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO DEL SUPLENDO LAS ARELLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE MODELOS DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

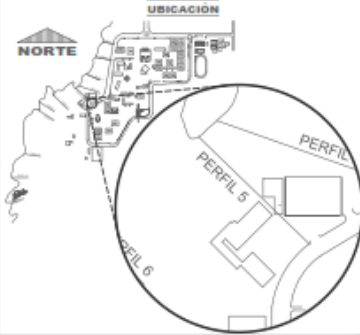
**PROYECTO DE OBRAS**  
DEFINICION DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO DEL SUPLENDO LAS ARELLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE MODELOS DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRITICO				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	0,6	0,6	0,6	
Radio (m)	54,66	79,36	54,66	
Centro (m)	Cx (m)	0,00	0,00	0,00
	Cy (m)	63,64	64,35	63,64
Cresta	Rx (m)	54,31	73,63	54,31
	Ry (m)	55,75	54,76	55,75
Pie	Px (m)	13,10	11,93	13,10
	Py (m)	10,34	5,90	10,34

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	1,5	1,5	1,5	
Radio (m)	56,44	62,56	64,57	
Centro (m)	Cx (m)	51,60	51,60	51,60
	Cy (m)	62,05	64,35	66,65
Cresta	Rx (m)	101,25	106,24	107,12
	Ry (m)	55,21	53,63	53,70
Pie	Px (m)	22,53	21,67	21,69
	Py (m)	33,67	29,39	29,43

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	101
Morgenstern-Price	106
Spencer	107
Promedio	105



PESO EDIFICIO EDITORIAL UNIVERSITARIA	
CARGA MUERTA (KN)	6 079,94
CARGA VIVA (KN)	506,41
PESO TOTAL (KN)	6 600,34
<b>ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)</b>	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pómez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pómez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pómez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pómez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,65
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

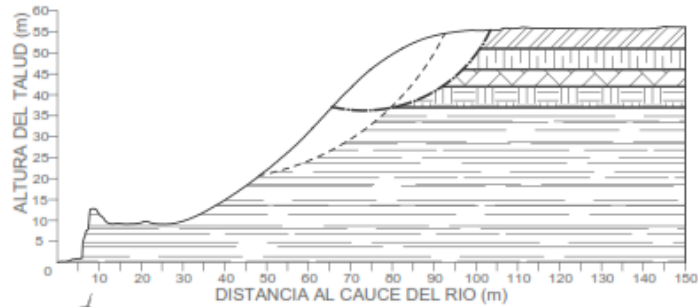
ESCALA GRÁFICA

**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1) [diagonal lines] MÉTODO DE BISHOP
- ESTRATO 2 (E2) [dotted lines] MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE
- ESTRATO 3 (E3) [dashed lines] MÉTODO DE SPENCER
- ESTRATO 4 (E4) [solid lines] DESLIZAMIENTO CRITICO
- ESTRATO 5 (E5) [horizontal lines] CARRA EXTERNA

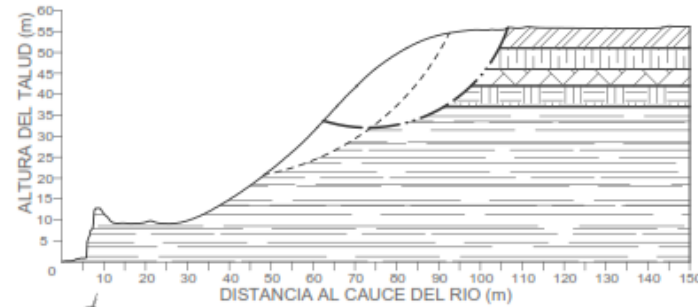
COORDENADAS UTM DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	1830976
Y	19381908
PIE	
X	1830976
Y	19382765





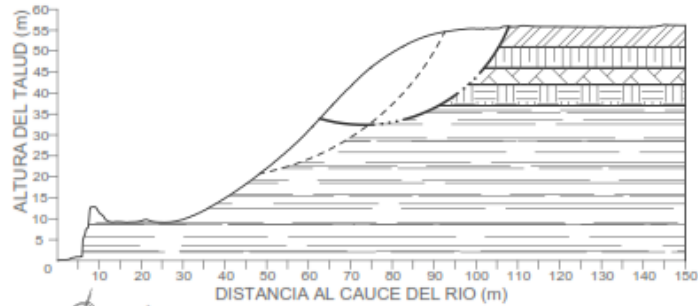
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



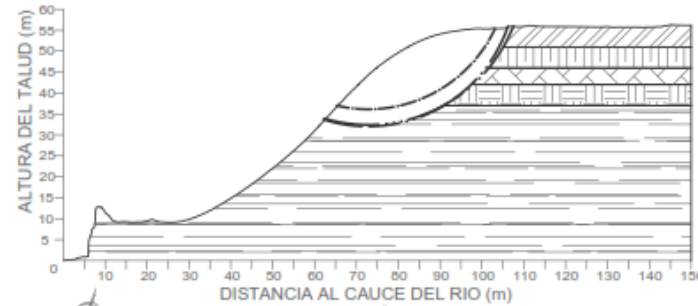
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200




**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200

PLANO 7/11 - PERFIL 7-CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA-CEMA-

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-



**CEDESUD**  
CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO URBANO Y CONSTRUCION  
DIRECCION GENERAL DE EXTENSION UNIVERSITARIA, CIBOLA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
INFORMACION DE LOS LIMITES DE ALTO NIVEL DEL MARRAJO LA AGUILLA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE PERFILES DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

ELABORADO POR: ALFREDO QUINTERO HORTIZO  
REVISADO Y APROBADO POR: SANDRO ALONSO HERNANDEZ ZEPEDA, DR. ROYD WILSON GUZO  
PROFESOR FOTOGRAFIA, DISEÑO, CONCEPTO DEL ALUMNO CLASIFICACION DE FOTO (LUGAR DE ERE)

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRITICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,7	0,8	0,8
Radio (m)	67,27	63,35	53,35
Centro (m)	Cx (m) 36,60	Cy (m) 36,60	36,60
Cresta	Rx (m) 81,93	Ry (m) 81,93	81,93
Pie	Px (m) 96,40	Py (m) 93,66	93,66
	Px (m) 39,83	Py (m) 46,56	4,56
	Px (m) 14,74	Py (m) 19,37	19,37

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,2	1,2	1,2
Radio (m)	33,47	35,24	37,31
Centro (m)	Cx (m) 73,20	Cy (m) 73,20	73,20
Cresta	Rx (m) 69,72	Ry (m) 67,27	69,72
Pie	Px (m) 103,46	Py (m) 106,55	107,85
	Px (m) 55,41	Py (m) 55,67	55,66
	Px (m) 66,70	Py (m) 62,51	62,74
	Px (m) 37,10	Py (m) 33,69	33,91

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	103
Morgenstern-Price	107
Spencer	108
Promedio	106




ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pómez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pómez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pómez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pómez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA



0 1 5 10 15 25 50

**LEYENDA**


- ESTRATO 1 (E1) --- MÉTODO DE BISHOP
- ESTRATO 2 (E2) --- MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE
- ESTRATO 3 (E3) --- MÉTODO DE SPENCER
- ESTRATO 4 (E4) --- DESLIZAMIENTO CRITICO
- ESTRATO 5 (E5) [|||||] CARGA EXTERNA

COORDENADAS UTM DE LOS LIMITES DE ALTO NIVEL

RUEDEO	
CRESTA	PICOS
X	7830758
Y	162313048
PIE	
X	7830758
Y	162313021

PLANO 8/11 - PERFIL 8 - URBANIZACIÓN Y REMODELACION, SERV. GENERALES

EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-



**CEDESUD**  
CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO URBANO Y DESASTRES  
CORRECCION GENERAL DE EXTENSION UNIVERSITARIA, SIGUELA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INFORMACION DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO DE MOVIMIENTO DE LAS ARELLAS DE LA URBANIZACION DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE PERFILES DE DESARROLLO DE LOS PERFILES 8/04-P, 8/05-P, 8/06-P, 8/07-P Y 8/08-P.

AUTORIA: ING. ALFREDO QUINONES MONTES  
AUTORIA Y DISEÑO: ING. DANI PAUL SUCIA HERNANDEZ (AUTORIA), ING. IVON HELGADO RUIFO (AUTORIA), INGENIERIA CIVIL, INGENIERIA CIVIL DE PUERTO QUICEN DE 1995.

### RESULTADOS

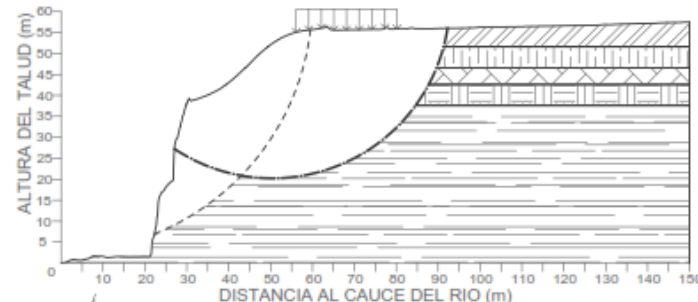
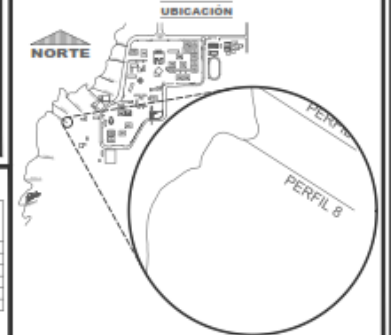
SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRITICO				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	0,5	0,7	0,6	
Radio (m)	59,92	66,99	66,95	
Centro (m)	Cx (m)	0,00	16,00	0,00
	Cy (m)	62,57	75,09	75,09
Cresta	Rx (m)	59,92	83,10	64,12
	Ry (m)	55,67	56,02	55,83
Pie	Px (m)	22,26	22,15	23,09
	Py (m)	6,95	6,31	12,24

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	1,20	1,20	1,20	
Radio (m)	42,35	47,00	45,55	
Centro (m)	Cx (m)	50,40	50,40	50,40
	Cy (m)	62,57	70,06	72,99
Cresta	Rx (m)	92,24	95,26	96,05
	Ry (m)	56,03	56,05	56,07
Pie	Px (m)	27,05	27,35	27,65
	Py (m)	27,24	29,12	29,69

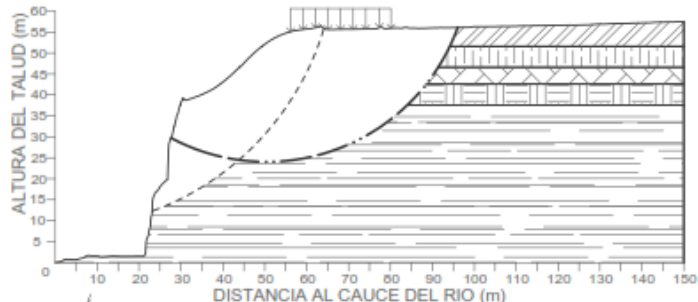
  

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	92
Morgenstern-Price	95
Spencer	96
Promedio	95



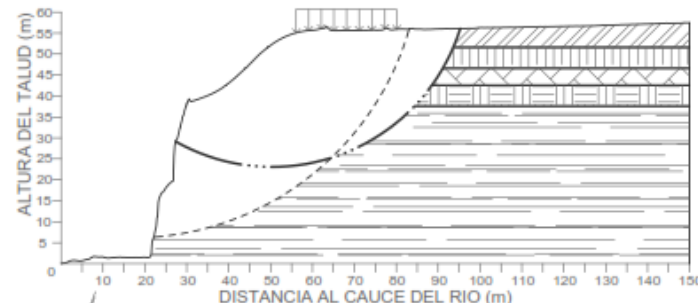
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1 : 1200



**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC


ESCALA 1 : 1200

PESO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA DIVISION DE SERVICIOS GENERALES	
PESO TOTAL (KN)	11 718,81
ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pómez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pómez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pómez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pómez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA



0 1 5 10 15 25 50

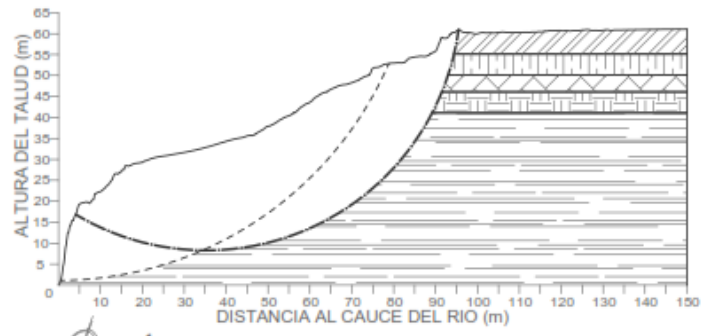
**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1) --- MÉTODO DE BISHOP
- ESTRATO 2 (E2) --- MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE
- ESTRATO 3 (E3) --- MÉTODO DE SPENCER
- ESTRATO 4 (E4) --- DESLIZAMIENTO CRITICO
- ESTRATO 5 (E5) [|||||] CARGA EXTERNA

COORDENADAS UTM DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO	
RIESGO	
CRESTA	
X	78304 806
Y	18334 745
PIE	
X	78303 740
Y	18332 765

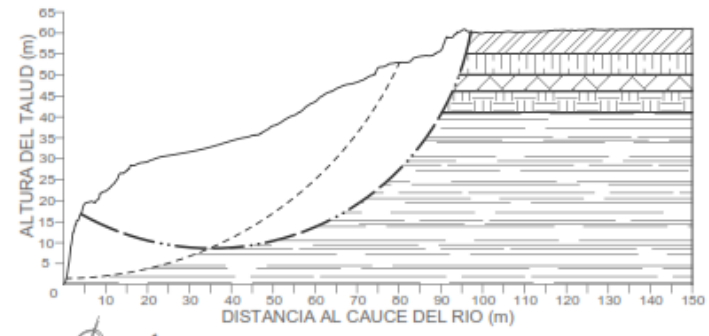


PLANO 9/11 - PERFIL 9 - FACULTAD DE VETERINARIA



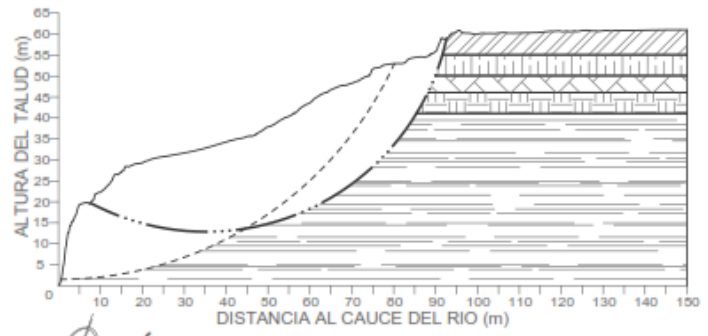
**MÉTODO DE BISHOP**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



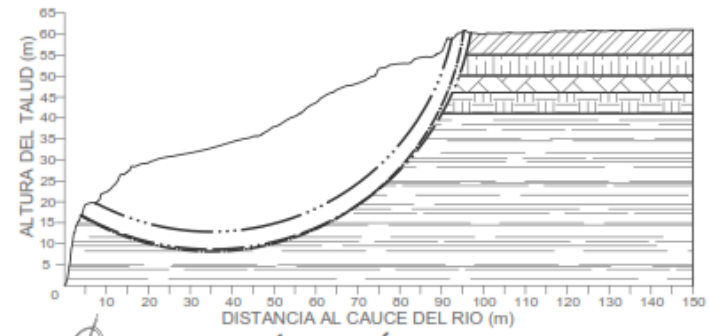
**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200



**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
Barranco Las Ardillas, USAC

ESCALA 1:1200

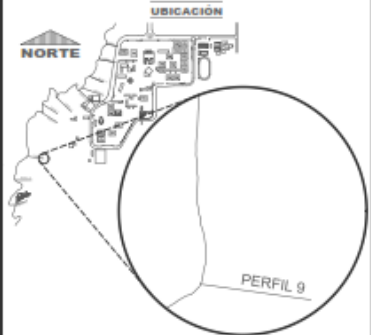
INFORMACION DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO DE MOVIMIENTO DE LAS ARELLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVES DE PERFILES DE DESARROLLO DE LOS METODOS BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER.  
**PROFESOR:** RIVER ALFREDO QUINONES PEREZ  
**ASISTENTE LABORAL:** DR. JUAN PABLO SOLA HERNANDEZ (AUTOR), DR. EDWIN HELGADO RUIFO (REVISOR), MSc. JUAN CARLOS GONZALEZ (REVISOR), MSc. CARLOS DEL ROSARIO GONZALEZ DE PEREZ (ELABORACION DE PERFILES)

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRITICO				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	0,8	0,8	0,8	
Radio (m)	85,95	85,16	85,16	
Centro (m)	Cx (m)	0,00	0,00	
	Cy (m)	87,07	89,64	89,64
Cresta	Rx (m)	76,83	80,16	80,16
	Ry (m)	52,82	52,97	52,97
Pie	Px (m)	0,52	0,62	0,62
	Py (m)	1,12	1,49	1,49

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD				
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer	
Factor de seguridad	1,3	1,3	1,3	
Radio (m)	60,84	63,03	63,02	
Centro (m)	Cx (m)	35,20	35,20	
	Cy (m)	69,12	71,66	71,66
Cresta	Rx (m)	95,47	97,19	92,61
	Ry (m)	60,67	60,29	56,66
Pie	Px (m)	4,12	4,13	7,62
	Py (m)	16,62	16,55	19,73

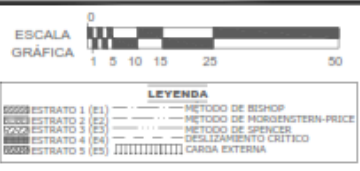
DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	95
Morgenstern-Price	97
Spencer	93
Promedio	95



ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

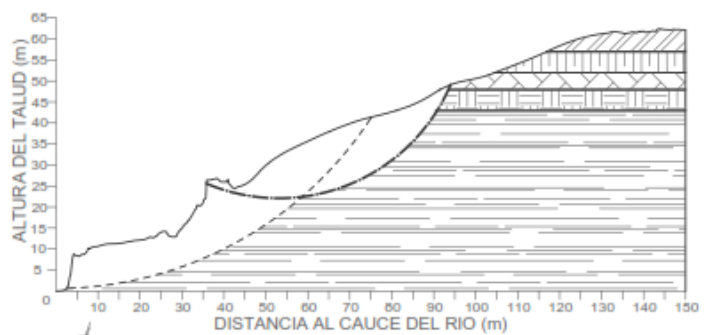
CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pomez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pomez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pomez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pomez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

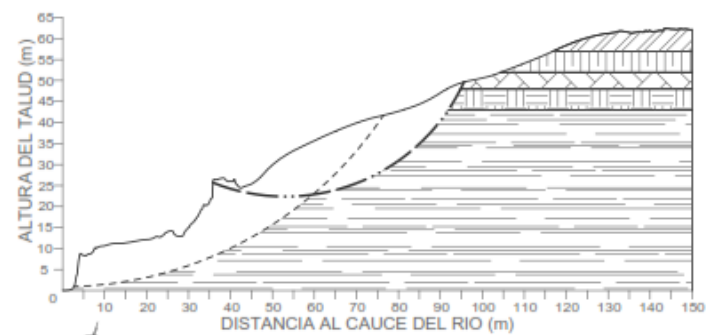


COORDENADAS UTM DE LOS LIMITES DE ALTO RIESGO			
RIESGO			
CRESTA			
X	Y	X	Y
8283416	163483283	8283374	163483349
PIE			
X	Y	X	Y
8283374	163483349	8283416	163483283

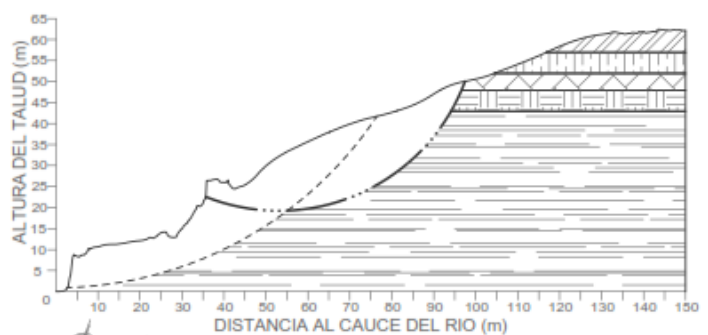
PLANO 10/11 - PERFIL 10 - PLANTA DE TRATAMIENTO



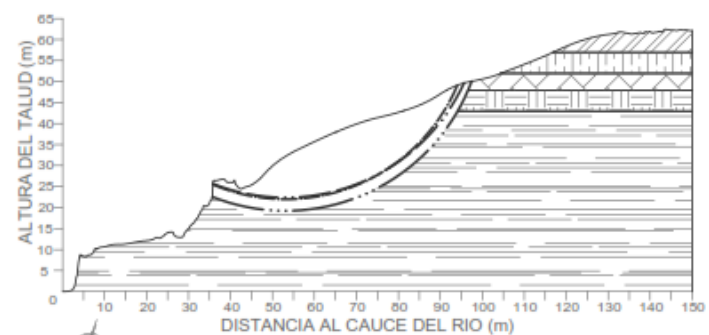
**MÉTODO DE BISHOP**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1:1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1:1200



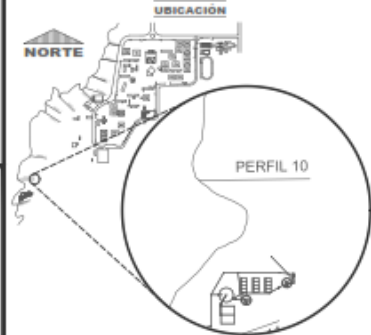
**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1:1200

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,9	0,9	0,9
Radio (m)	89,66	92,01	92,01
Centro (m)	Cx (m) 0,00	Cy (m) 92,90	Cz (m) 0,00
Cresta	Rx (m) 75,17	Ry (m) 76,46	Rz (m) 76,46
Pie	Px (m) 41,41	Py (m) 41,72	Pz (m) 41,72
	Px (m) 2,56	Py (m) 2,68	Pz (m) 2,68
	Px (m) 0,64	Py (m) 0,93	Pz (m) 0,93

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,2	1,2	1,2
Radio (m)	44,47	46,62	47,33
Centro (m)	Cx (m) 53,10	Cy (m) 66,55	Cz (m) 53,10
Cresta	Rx (m) 94,00	Ry (m) 95,64	Rz (m) 97,46
Pie	Px (m) 49,11	Py (m) 49,65	Pz (m) 50,05
	Px (m) 35,64	Py (m) 35,64	Pz (m) 35,71
	Px (m) 25,57	Py (m) 25,71	Pz (m) 22,53

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	94
Morgenstern-Price	96
Spencer	97
Promedio	96



ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pomez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pomez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pomez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pomez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA: 0, 5, 10, 15, 25, 50

**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1)
- ESTRATO 2 (E2)
- ESTRATO 3 (E3)
- ESTRATO 4 (E4)
- ESTRATO 5 (E5)
- MÉTODO DE BISHOP
- MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE
- MÉTODO DE SPENCER
- DESPLAZAMIENTO CRÍTICO
- CARGA EXTERNA

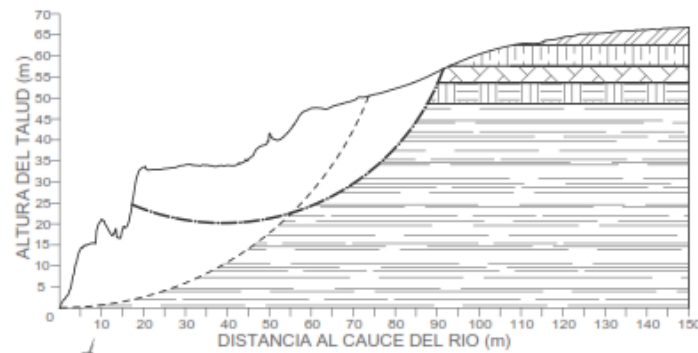
COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
RIESGO: CRESTA	
X	76207,910
Y	91242,900
PIE	
X	76201,876
Y	91241,910

PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL BARRIO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENTERN-PRICE Y SPENCER

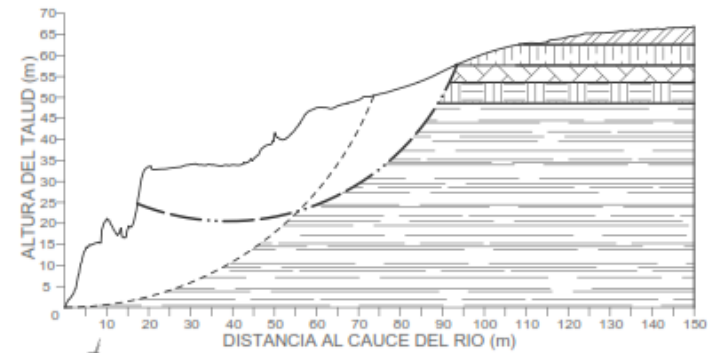
ANÁLISIS Y DISEÑO DEL BARRIO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENTERN-PRICE Y SPENCER

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL BARRIO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE LOS MÉTODOS BISHOP, MORGENTERN-PRICE Y SPENCER

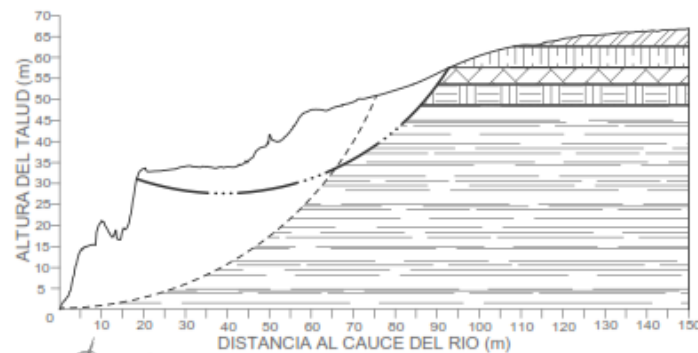
PLANO 11/11 - PERFIL 11 - PLANTA DE TRATAMIENTO



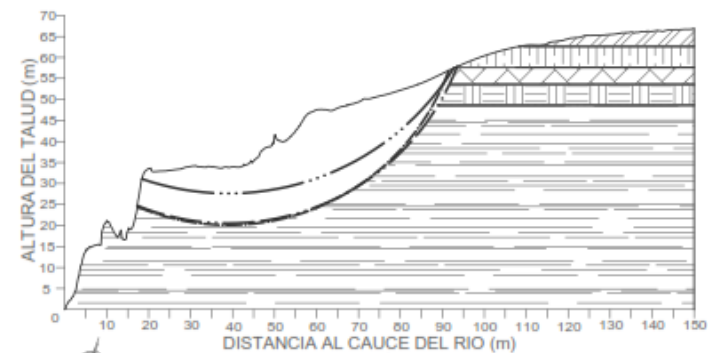
**MÉTODO DE BISHOP**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE MORGENTERN-PRICE**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1 : 1200



**MÉTODO DE SPENCER**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1 : 1200



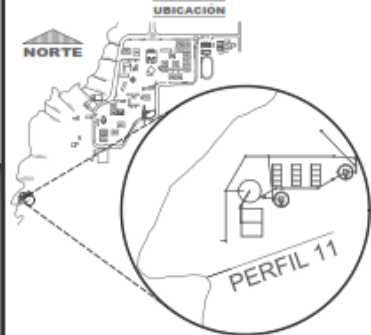
**COMPARACIÓN DE MÉTODOS**  
 Barranco Las Ardillas, USAC  
 ESCALA 1 : 1200

**RESULTADOS**

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	0,8	0,8	0,8
Radio (m)	79,05	79,05	81,69
Centro (m)	Cx (m) 0,00	0,00	0,00
	Cy (m) 79,05	79,05	82,02
Cresta	Rx (m) 73,69	73,69	75,54
	Ry (m) 50,45	50,45	50,91
Pie	Px (m) 0,01	0,01	0,24
	Py (m) 0,01	0,01	0,33

SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO A ESTABILIDAD			
Descripción	Bishop	Morgenstern-Price	Spencer
Factor de seguridad	1,2	1,2	1,2
Radio (m)	55,84	56,53	63,29
Centro (m)	Cx (m) 39,00	39,00	39,00
	Cy (m) 76,09	79,05	90,92
Cresta	Rx (m) 91,49	93,54	92,73
	Ry (m) 56,90	57,54	57,47
Pie	Px (m) 17,29	17,31	16,40
	Py (m) 24,59	24,70	31,06

DISTANCIA DE PROTECCIÓN POR RIESGO	
Método	Distancia (m)
Bishop	91
Morgenstern-Price	94
Spencer	93
Promedio	93



ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (PGA)	
HORIZONTAL	0,432
VERTICAL	0,162

CLASIFICACIÓN DEL SUELO EN BASE A PLASTICIDAD			
ESTRATO	S.C.U.	P.R.A.	DESCRIPCIÓN
E1	SP	A-1-a	Arena pomez color café claro
E2	SM	A-2-4	Arena limosa color café
E3	SM	A-2-4	Arena pomez limosa color café claro
E4	SP	A-1-a	Arena pomez color café con gravilla
E5	SP-SM	A-1-b	Arena pomez color gris con gravilla

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO			
ESTRATO	DENSIDAD (T/m3)	COHESIÓN (T/m2)	ANGULO (°)
E1	1,10	1,85	34,85
E2	1,34	0	29,16
E3	1,12	2,85	35,02
E4	1,53	1,77	34,94
E5	1,53	3,03	30,11

ESCALA GRÁFICA  
 0 1 5 10 15 25 50

**LEYENDA**

- ESTRATO 1 (E1)
- ESTRATO 2 (E2)
- ESTRATO 3 (E3)
- ESTRATO 4 (E4)
- ESTRATO 5 (E5)
- MÉTODO DE BISHOP
- MÉTODO DE MORGENTERN-PRICE
- MÉTODO DE SPENCER
- DESPLAZAMIENTO CRÍTICO
- CARGA EXTERNA

COORDENADAS UTM DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO	
CRESTA	
X	76326326
Y	1873073817
PIE	
X	763262011
Y	1873055872



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEO TÉCNICA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)



**MAPA 6/11**

**MAPA DEL ÁREA DE ALTO RIESGO  
DE 100M DEL ACUERDO  
GUBERNATIVO 179-2001**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide . . . . . WGS84  
Proyección . . . . . Universal Transversal Mercator  
Dato vertical . . . . . Nivel medio del mar  
Dato horizontal . . . . . WGS84  
Ortofoto digital . . . . . USAC, 2016

LEYENDA

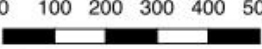
-  Distancia de 100m Acdo Gub 179-2001
-  Tributario del rio Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018

**MAPA DEL ÁREA DE ALTO RIESGO DE 100M DEL ACUERDO GUBERNATIVO  
179-2001**



ESCALA 1: 9500

ESCALA GRÁFICA: 

UBICACIÓN



MACROLOCALIZACIÓN



MICROLOCALIZACIÓN





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUFIO MARTINEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 7/11**

**MAPA DEL ÁREA CRÍTICA A  
DESLIZAMIENTO DEL BARRANCO  
LAS ARDILLAS**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide ..... WGS84  
Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
Dato horizontal ..... WGS84  
Ortofoto digital ..... USAC, 2016

LEYENDA

- Área crítica a deslizamiento
- Área no analizada
- Tributario del río Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018

**MAPA DEL ÁREA CRÍTICA A DESLIZAMIENTO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS**



0 100 200 300 400 500 m

ESCALA 1: 9500

ESCALA GRÁFICA:

**UBICACIÓN**



**MACROLOCALIZACIÓN**

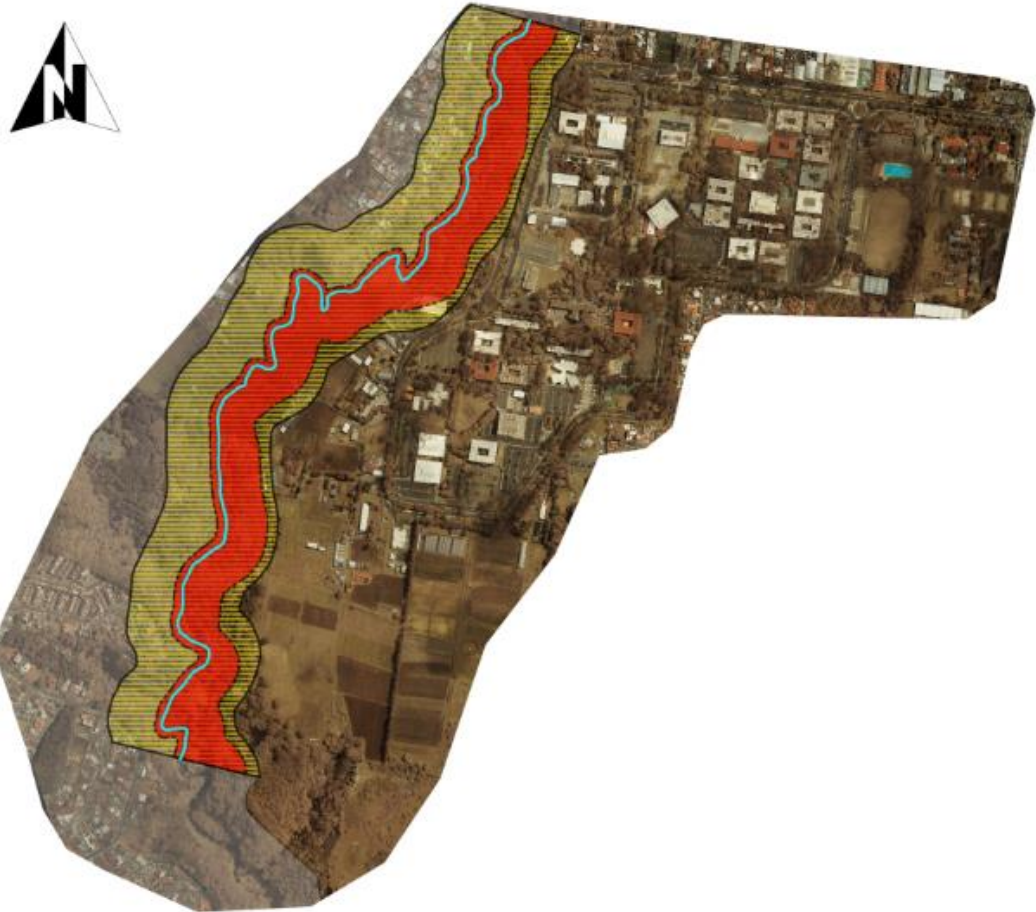


**MICROLOCALIZACIÓN**

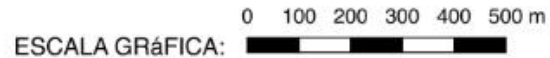




**COMPARACIÓN DEL ÁREA CRÍTICA A DESLIZAMIENTO CON LOS 100M DEL ACUERDO GUBERNATIVO 179-2001**



ESCALA 1: 9500



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESyD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LITOS DE ALTO RIESGO DEL  
BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO  
ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTÉCNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 8/11**

**COMPARACIÓN DEL ÁREA CRÍTICA A DESLIZAMIENTO CON LOS 100M DEL ACUERDO GUBERNATIVO 179-2001**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide ..... WGS84  
Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
Dato horizontal ..... WGS84  
Ortofoto digital ..... USAC, 2016

LEYENDA

- Área crítica a deslizamiento
- Distancia 100m Acdo. Gub. 179-2001
- Área no analizada
- Tributario del río Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**PROYECTO DE EPS**  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUINÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

### MAPA 9/11

## MAPA DE LA FRANJA DE PROTECCIÓN POR RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS

#### INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide ..... WGS84  
Proyección ..... Universal Transversal Mercator  
Dato vertical ..... Nivel medio del mar  
Dato horizontal ..... WGS84  
Ortofoto digital ..... USAC, 2016

#### LEYENDA

- Franja de protección por riesgo
- Área no analizada
- Tributario del río Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018

## MAPA DE LA FRANJA DE PROTECCIÓN POR RIESGO DEL BARRANCO LAS ARDILLAS



0 100 200 300 400 500 m

ESCALA 1: 9500

ESCALA GRAFICA:

### UBICACIÓN



### MACROLOCALIZACIÓN



### MICROLOCALIZACIÓN



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS METODOS  
BISHOP, MORGENTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTECNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUÑO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 10/11  
COMPARACIÓN DE LA FRANJA DE  
PROTECCIÓN POR RIESGO CON  
LOS 100M DEL ACUERDO  
GUBERNATIVO 179-2001**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide . . . . . WGS84  
Proyección . . . . . Universal Transversal Mercator  
Dato vertical . . . . . Nivel medio del mar  
Dato horizontal . . . . . WGS84  
Ortofoto digital . . . . . USAC, 2016

LEYENDA

- Franja de protección por riesgo
- Distancia de 100m Acdo Gub 179-2001
- Área no analizada
- Tributario del río Quebrada del Frutal

Guatemala, julio de 2018

**COMPARACIÓN DE LA FRANJA DE PROTECCIÓN POR RIESGO CON LOS 100M  
DEL ACUERDO GUBERNATIVO 179-2001**



0 100 200 300 400 500 m

ESCALA GRÁFICA:

ESCALA 1: 9500

UBICACIÓN



MACROLOCALIZACIÓN



MICROLOCALIZACIÓN





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



**CEDESÝD**

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES  
DIRECCIÓN GENERAL DE EXTENSIÓN  
UNIVERSITARIA -DIGEU-  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROYECTO DE EPS  
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ALTO RIESGO  
DEL BARRANCO LAS ARDILLAS DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, A TRAVÉS DE  
MODELOS DE DESLIZAMIENTO DE LOS MÉTODOS  
BISHOP, MORGENSTERN-PRICE Y SPENCER

EPESISTA: JESÚS ALFREDO QUIÑÓNEZ MONTEJO

ASESORÍA Y REVISIÓN: ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ  
(GEOCTÉCNIA); ING. KEVIN WALDEMAR NUFÍO MARTÍNEZ  
(FOTOGRAMETRÍA); INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
DE PINTO (UNIDAD DE EPS)

**MAPA 11/11  
COMPARACIÓN DEL ÁREA  
CRÍTICA A DESLIZAMIENTO, ÁREA  
DE PROTECCIÓN POR RIESGO Y  
DE 100M DEL ACUERDO**

INFORMACIÓN DE LOS MAPAS

Elipsoide	WGS84
Proyección	Universal Transversal Mercator
Dato vertical	Nivel medio del mar
Dato horizontal	WGS84
Ortofoto digital	USAC, 2016

LEYENDA

- Área crítica a deslizamiento
- Franja de protección por riesgo
- Distancia de 100m Acdo Gub 179-2001
- Área no analizada
- Tributario del río Quebrada del Frutal

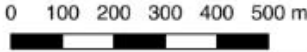
Guatemala, julio de 2018

**COMPARACIÓN DEL ÁREA CRÍTICA A DESLIZAMIENTO, ÁREA DE PROTECCIÓN  
POR RIESGO Y DE 100M DEL ACUERDO GUBERNATIVO 179-2001**



ESCALA 1: 9500

ESCALA GRÁFICA:



UBICACIÓN



MACROLOCALIZACIÓN



MICROLOCALIZACIÓN



# ANEXOS

## Anexo 1. Cedesyd.63.05.14

1/2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

26 MAYO 2014

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN

Hora: 13:19 Firma: *[Firma]*

Arq. Alenka Irina Barreda Tarácena  
Directora  
Dirección General de Extensión Universitaria  
Presente

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

Of. Ref. Cedesyd.63.05.14  
23 de mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

15:15

Estimado Arquitecta:

Por este medio se le informa que en 2009 el CEDESVD, realizó la Evaluación Rápida y Estado del Arte del deslizamiento del Talud Quebrada El Frutal, conocido como Parque Las Ardillas, y se estableció que el borde del talud por pérdida de suelo por deslizamiento se acerca hacia las instalaciones de la editorial universitaria a tasas variables, siendo la más álgida entre 2.85 a 3.25 metros por año, con lo cual para el año 2014 los servicios sanitarios de mantenimiento estarían en el borde del barranco; en inspección realizada el día de ayer jueves 22 de mayo de 2014 a las 13:00 a 14:30 horas, se estableció que la distancia hacia los mismos es de apenas 4.60 metros. (Estudio de CEDESVD Adjunto).

Así mismo se le informa, que la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), el ocho de mayo del año 2013, entregó un informe de Evaluación de Seguimiento y Susceptibilidad, considerando variables geológicas e hidrometeorológicas, con el acompañamiento de CEDESVD, INSIVUMEH, DIRECCIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE LA USAC, en el cual en la cuarta recomendación, segunda oración indica literalmente: *"Debe darse el traslado inmediato de las instalaciones hacia un lugar seguro, donde pueda continuarse con las labores diarias, ya que no se descarta la activación de nuevos fenómenos con la llegada del invierno y la ocurrencia de eventos sísmicos. De ser necesario, deben considerarse traslados para otros inmuebles aledaños a la quebrada, en función de los requerimientos de los estudios a realizar y las condiciones que dichos inmuebles presenten* (Estudio de CONRED Adjunto).

Cada uno de los estudios de caso del deslizamiento activo del parque las ardillas se entregaron de forma digital mediante CD'S el 25 de enero de 2013 según consta en listado de asistencia adjunto.

Es importante considerar que CEDESVD mediante circular 05.05.13, convocó y posteriormente coordinó la reunión donde se presentó el informe de la CONRED para analizar las recomendaciones del informe y definir las acciones a seguir, lo cual se llevó a cabo el día 24 de mayo de 2013 (Se adjunta la circular y listado de asistencia).

Considerando los dos estudios anteriores y la inspección realizada el 22 de mayo de 2014, se concluye que el área en mención es de **ALTO RIESGO E INHABITABLE**, por lo cual se recomienda:

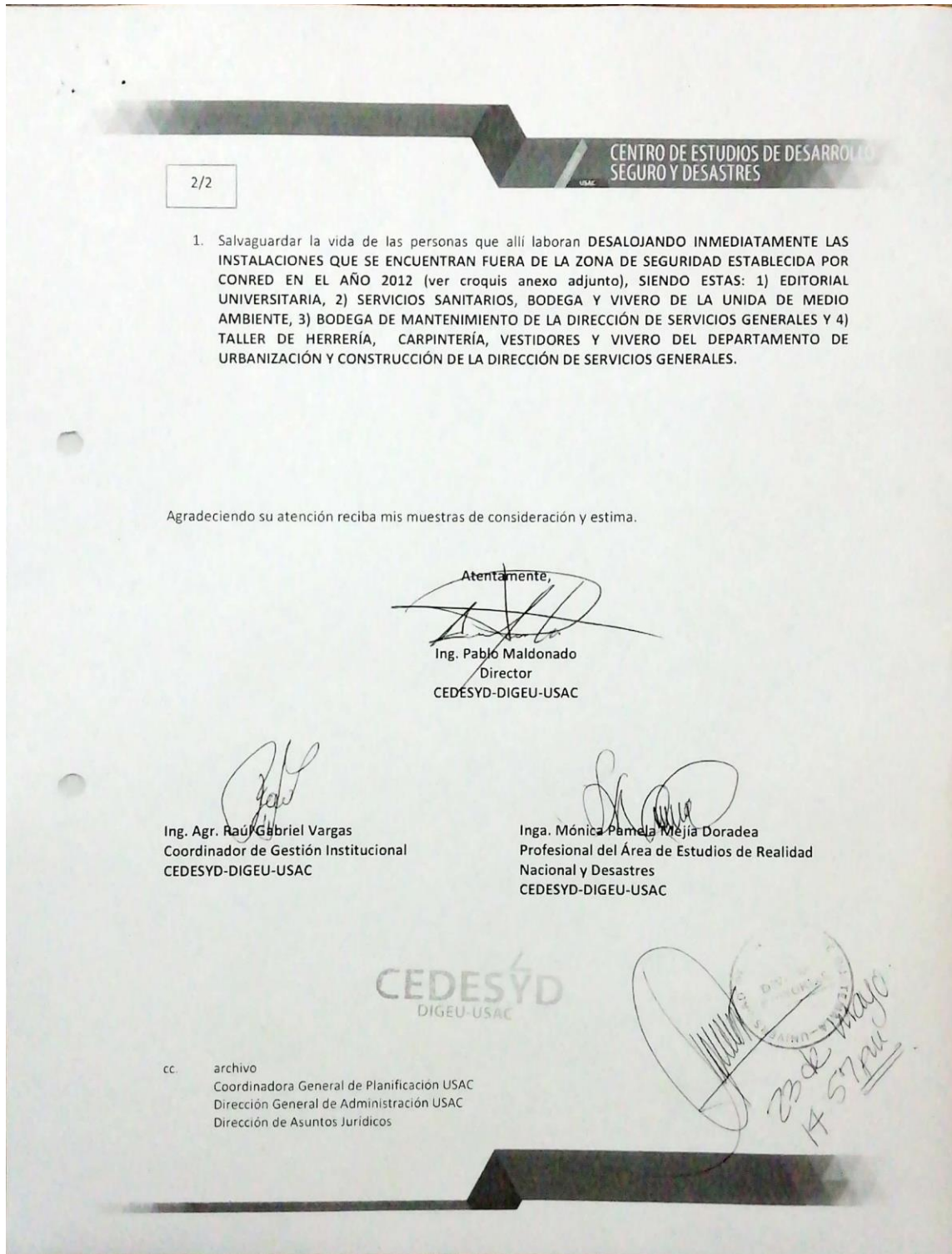
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
Coordinadora General de Planificación

26 MAY 2014

Hora: 13:15 Firma: *[Firma]*

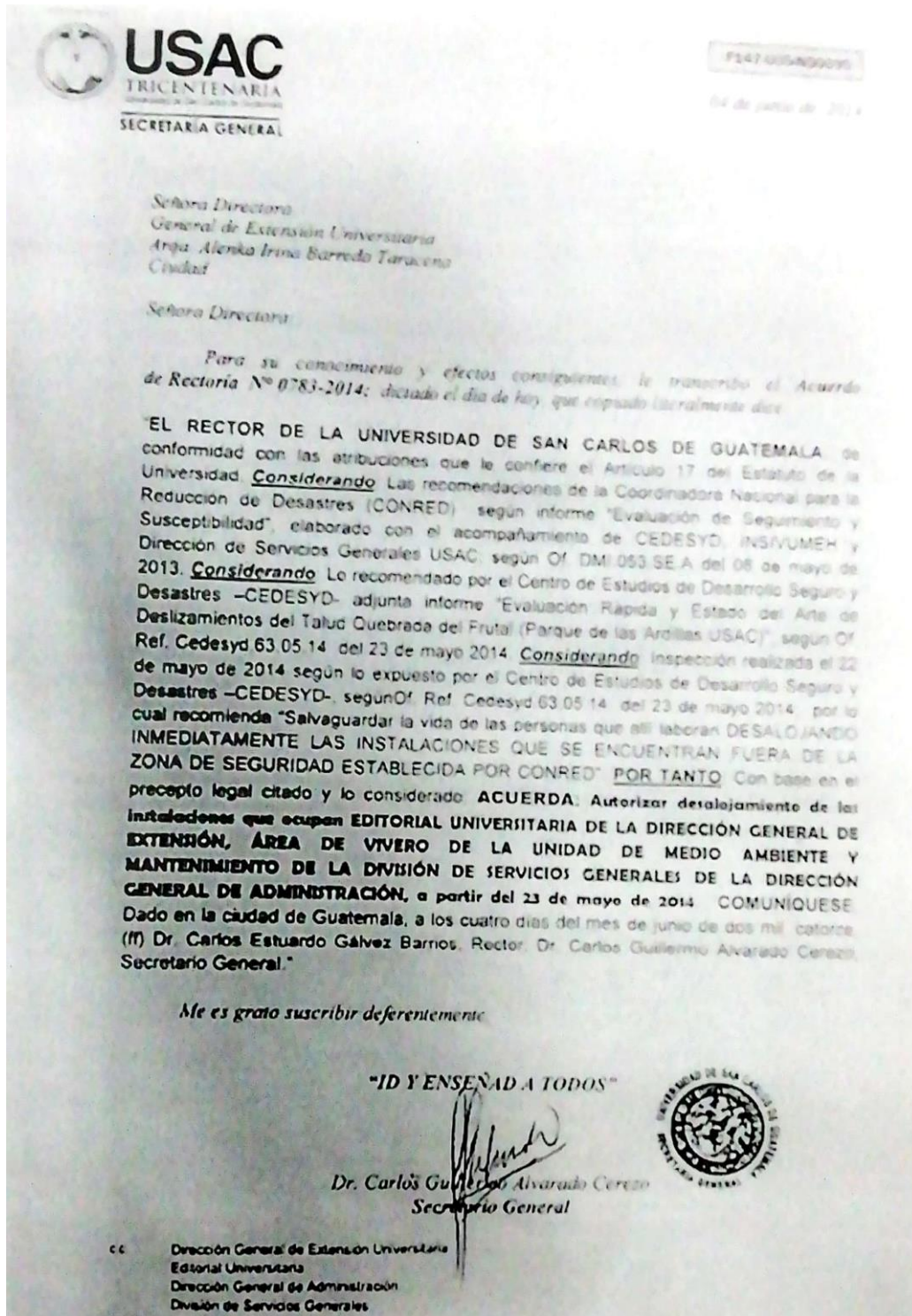


Continuación del anexo 1.



Fuente: Archivo CEDESYSY. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Anexo 2. Acuerdo de Rectoría No. 783-2014



Fuente: Archivo CEDESUD. Universidad de San Carlos de Guatemala.



Anexo 3. Publicación del Acuerdo Gubernativo 179-2001

**OPINION**

Por lo expuesto, esta Dirección Técnica del Presupuesto, OPINA: Que el Proyecto de Presupuesto de Ingresos y Egresos del Fisco Nacional de la Vivienda en Legitimación para el Ejercicio Fiscal 2001, puede ser aprobado en la cantidad de SESENTA Y CUATRO MILLONES OCHOCIENTOS OCHO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y DOS QUETZALES EXACTOS (Q. 44,887,52). Si ese Superior Despacho está de acuerdo con el contenido del presente dictamen, se acompaña para su consideración y aprobación el Proyecto de Acuerdo Gubernativo que precede a continuación, de conformidad con lo que establece la Constitución Política de la República de Guatemala, artículo 183, inciso c) y la constitución en el Decreto No. 131-97 del Congreso de la República de Guatemala, Ley Orgánica del Presupuesto, artículo 46, y lo prescrito en el Acuerdo-Libretos No. 149-98, Reglamento del artículo 179, artículo 24.

*[Firma]*  
 Director Técnico del Presupuesto

**OPINION**

*[Firma]*  
 Tercer Vice Rector  
 Autoridad Central de Presupuesto

*[Firma]*  
 Lic. Haroldo Francisco Sánchez  
 Jefe del Departamento de Asesoría Económica



**PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA**

Acuérdase aprobar en su totalidad la declaratoria de sectores de altos riesgos de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, emitida por la Junta y Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED- el 8 de abril de 2001.

ACUERDO GUBERNATIVO NUMERO 179-2001

Guatemala, 16 de mayo de 2001

El Presidente de la República,

**CONSIDERANDO**

Que es deber del Estado garantizar a los habitantes de la República de Guatemala la vida, la integridad, la tranquilidad y la seguridad tanto de ellos como de sus bienes, adoptando las medidas necesarias para evitar en lo posible los daños de cualquier calamidad o amenaza que azote al país o a determinada región, así como para evitar o reducir sus efectos.

**CONSIDERANDO**

Que de conformidad con la Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, los organismos del Estado, las entidades autónomas y descentralizadas de éste y en general los funcionarios y autoridades de la administración pública quedan obligados a participar en todas aquellas acciones que se anticipen a la ocurrencia de los desastres.

**CONSIDERANDO**

Que año con año, durante el invierno se han venido produciendo una serie de eventos tales como inundaciones, arrastre y deposición de sedimentos, crecidas y movimientos de terrenos y laderas en los sectores comprendidos en las cuencas de Amatitlán y los ríos Villalobos y Michatoya, los cuales provocan daños a los habitantes de las áreas circunvecinas así como a sus bienes y a la estructura física de obras públicas y privadas, lo que hace urgente y necesario emitir las disposiciones legales tendientes a prevenir tales daños.

**CONSIDERANDO**

Que la Junta y Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED- con fecha 8 de abril de 2001 declaró SECTORES DE ALTO RIESGO EN LAS CUENCAS DE AMATITLÁN, VILLALOBOS Y MICHATOYA, declaratoria que, con base en el dictamen técnico científico emitido por el Consejo Científico de CONRED, fue aprobada, avalada y ratificada por unanimidad por el Consejo Nacional para la Reducción de Desastres en sesión extraordinaria de fecha 2 de mayo de 2001, por lo que es pertinente emitir la normativa correspondiente a efecto de que la declaratoria tenga los efectos preventivos deseados.

**CONSIDERANDO**

Que la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-, es el organismo al más alto nivel encargado de planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para recuperar el ecosistema del Lago de Amatitlán y todas sus cuencas tributarias. Que los recientes estudios de amenaza y vulnerabilidad realizados por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán y la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres han sido determinantes para la identificación de los sectores que se consideran los más amenazados por los desastres naturales.

**POR TANTO:**

En ejercicio de las funciones que le confiere el artículo 183, literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala

**EN CONSEJO DE MINISTROS**

**ACUERDO:**

**Artículo 1.** Se aprueba en su totalidad la declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, emitida por la Junta y Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED- el 8 de abril de 2001, aprobada, avalada y ratificada por el Consejo Nacional para la Reducción de Desastres el 2 de mayo de 2001. En consecuencia, en los sectores a que se refiere este acuerdo no podrá desarrollarse ni apoyarse ningún tipo de proyecto público ni privado, hasta que la amenaza u ocurrencia del desastre haya desaparecido.

**Artículo 2.** Los sectores declarados de alto riesgo comprenden las cuencas hidrográficas del Río Villalobos, Lago de Amatitlán, y Río Michatoya, delimitadas en forma más precisa en el informe técnico científico emitido por el Consejo de CONRED, sector que se entiende a una distancia de 100 metros horizontales a cada lado de cada río, zanjón y quebrada existente y en el caso del Río Villalobos, se considerará como tal toda la zona de aluvión y delta del río y en las áreas donde el cauce natural del río haya sido modificado, principalmente en los alrededores de los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, del departamento de Guatemala.

**Artículo 3.** En caso de producirse alguna amenaza o hecho que ponga en riesgo la seguridad de personas o sus bienes, CONRED, en colaboración con las Coordinadoras Regionales, Departamentales, Municipales o Locales para la Reducción de Desastres, deberá evacuar a un lugar seguro a las personas que se encuentren en riesgo en el área indicada en este acuerdo, por lo que para el efecto debe aunar esfuerzos con las municipalidades correspondientes.

**Artículo 4.** Como consecuencia de la declaratoria de sectores de alto riesgo, las entidades públicas a las cuales compete, deben regular las siguientes actividades: El desfogeo de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas; el aporte de derechos por actividades humanas, como sedimentos y basuras en los cuerpos de aguas; el desvío y modificación de cauces hídricos por extracciones y actividad humana en general y la explotación de materiales de construcción tanto en ríos como en bancos de préstamos y canchales.

**Artículo 5.** Adicionalmente, para prevenir la ocurrencia de desastres, las entidades públicas competentes deben realizar trabajos de infraestructura urgentes para resguardar y proteger las obras de infraestructura existentes en el área; realizar estudios más detallados de amenazas y vulnerabilidad para definir los riesgos en forma más específica; establecer planes, programas y proyectos de conservación y manejo del área de interés.

**Artículo 6.** En resguardo de la integridad y seguridad de los habitantes y sus bienes debe realizarse el ordenamiento territorial y planificación urbana en los sectores objeto de este acuerdo.

**Artículo 7.** De ser necesario y si las circunstancias lo ameritan, en resguardo de las personas y sus bienes se procederá a declarar el estado que de conformidad con la Ley de Orden Público corresponde.

**Artículo 8.** El presente acuerdo entra en vigencia al día siguiente de su publicación en el diario oficial.

**COMUNIQUESE,**

*[Firma]*  
**JUAN FRANCISCO REYES LOPEZ**  
 PRESIDENTE EN FUNCIONES

*[Firma]*  
 Ministro de Gobernación

*[Firma]*  
 Ministro de Relaciones Exteriores

*[Firma]*  
**EDUARDO WEYMAN**  
 SECRETARIO DE FINANZAS PUBLICAS

*[Firma]*  
 Carlos Enrique Sánchez  
 VICEMINISTRO DE ECONOMIA  
 ENCARGADO DEL DESPACHO

*[Firma]*  
 Lic. Jorge Escobar Marrero  
 Ministro de Agricultura  
 Ganadería y Alimentación

*[Firma]*  
 Licda. Dilia Lux de CAJ  
 MINISTRA DE CULTURA Y DEPORTES

*[Firma]*  
 Mg. Edgar Orrego Barro Dávalos  
 Viceministro de Coordinación  
 A.S. Financiera y Vitícola  
 Encargado del Despacho

Anexo 4. Acuerdo de CEDESVD 001-2016



**ANTECEDENTES**

Los deslizamientos en el campus central de la USAC han sido recurrentes a través de los años, debido a que el mismo se ubica entre dos cauces de la Quebrada de El Frutal, microcuenca Villa Lobos, Cuenca María Linda, al Oeste conocido localmente como Cauce de Las Ardillas y al Este el cauce del Centro Experimental Docente de Agronomía, los cuales se extienden de Norte a Sur, por lo que dicha área constituye un sector de alto riesgo/peligrosidad.

El **riesgo de desastres** se establece cuando existe una **"amenaza" o Peligrosidad**, en este caso los deslizamientos o en forma más general los movimientos en masa de tierra y que tienen la probabilidad de afectar a una población expuesta o **Vulnerable**, cuando existe alta peligrosidad en un área deshabitada y en la misma se emplazan poblaciones humanas, el riesgo de desastres será alto, es por ello que desde el punto de vista conceptual las "declaratorias de alto riesgo" incluyen zonas de alto riesgo (peligrosidad y vulnerabilidad o exposición de las personas) y zonas de alta peligrosidad (peligrosidad sin personas o sus bienes expuestos o vulnerables).

El Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres (CEDESVD), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) ha evaluado y monitoreado el riesgo de desastres por deslizamiento en el campus central de la USAC, en coordinación con la Coordinadora Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastres (CONRED).

El 19 de enero de 2010, se envía a Rectoría el Dictamen de Evaluación Rápida y Estado de El Arte de la Investigación de Deslizamientos del Talud Quebrada de El Frutal (Parque las Ardillas USAC), donde se evidencia que la Editorial Universitaria, las oficinas de Medio Ambiente y Viveros, así como Servicios se encuentran en una zona de deslizamiento activo de alto riesgo (oficio 010.01.10) y se dan las recomendaciones a corto, mediano y largo plazo.

El 23 de mayo de 2014 el CEDESVD, mediante oficio Cedesvd.63.05.14, enviado a la Dirección General de Extensión Universitaria, con copia a la Coordinadora General de Planificación, Dirección General de Administración y Dirección de Asuntos Jurídicos de la

Continuación del anexo 4.



USAC, establece que la 1) Editorial Universitaria, 2) servicios sanitarios, bodega y vivero de la unidad de medio ambiente, 3) bodega de mantenimiento de la dirección de servicios generales y 4) taller de herrería, carpintería, vestidores, y vivero del departamento de urbanización y construcción de la dirección de servicios generales, se encuentra en una zona de alto riesgo e inhabitable, por lo que se deben desalojar inmediatamente, todas estas edificaciones que se encuentran fuera de la zona de seguridad establecida por CONRED en 2012.

El 04 de junio de 2014, mediante Acuerdo de Rectoría No. 783-2014, acuerda autorizar el desalojo de las instalaciones en zona de alto riesgo por deslizamientos establecidas por el CEDESVD.

#### **CONSIDERANDO**

Que es deber del Estado garantizar a los habitantes de la República de Guatemala la vida, la integridad, la tranquilidad y la seguridad tanto de ellos como de sus bienes, adoptando las medidas necesarias para evitar en lo posible los daños de cualquier calamidad o amenaza que azote al país o a determinada región, así como para evitar o reducir sus efectos.

#### **CONSIDERANDO**

Que de conformidad con la Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, los organismos del Estado, las entidades autónomas y descentralizadas de éste y en general los funcionarios y autoridades de la administración pública quedan obligados a participar en todas aquellas acciones que se anticipen a la ocurrencia de los desastres

#### **CONSIDERANDO**

Las diversas solicitudes que el CEDESVD ha recibido para evaluar el riesgo de desastres de sitios para construcción de nuevas edificaciones dentro del campus central de la USAC y que las mismas se encuentran cercanas a los dos cauces de la Quebrada de El Frutal, Microcuenca del río Villa Lobos, Cuenca María Linda, el 16 de octubre de 2015, el CEDESVD con la Coordinadora General de Planificación de la USAC, mediante reconocimiento de campo generó el mapa de zona de alta peligrosidad por deslizamiento atendiendo al Decreto Gubernativo No. 179-2001, a fin de resguardar la vida de las personas:

#### **POR TANTO**

En ejercicio de las funciones que le confiere el punto sexto, inciso 6.4, del Acta No. 08-2008 y lo establecido en la línea de acción 3.a y 3.b de creación del Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres.





Continuación del anexo 4.

## ACUERDA

**Artículo 1.** Que en resguardo de la vida de las personas y los bienes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es **obligatorio** atender lo establecido en la declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, emitida por la Junta y Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED- el 6 de abril de 2001, aprobada, avalada y ratificada por el Consejo Nacional para la Reducción de Desastres el 2 de mayo de 2001, y ratificada mediante el Acuerdo Gubernativo 179-2001, del 16 de mayo de 2001.

**Artículo 2.** En los sectores a que se refiere este acuerdo no podrá desarrollarse ni apoyarse ningún tipo de proyecto público ni privado, hasta que la amenaza u ocurrencia del desastre haya desaparecido.

**Artículo 3.** Los sectores de alto riesgo por deslizamiento, en el campus central de la USAC, en los cauces de la Quebrada El Frutal, río Villa Lobos, se extiende a una distancia de 100 metros horizontales a cada lado de cada río, zanjón y quebrada existente y que se encuentran delimitados en el Mapa CEDESVD-01-2016 que delimita el área de restricción (adjunto).

**Artículo 4.** Toda violación a las disposiciones de las Declaratorias de Alto Riesgo, será sancionada con una multa entre doscientos a quinientos salarios mínimos mensuales, vigentes para las actividades agrícolas, según lo establece el artículo 118 inciso f, del Reglamento de CONRED, Acuerdo Gubernativo 49-2012.

**Artículo 5.** En caso de producirse alguna amenaza o hecho que ponga en riesgo la seguridad de personas o sus bienes, CONRED, en colaboración con las Coordinadores Regionales, Departamentales, Municipales o Locales para la Reducción de Desastres, deberá evacuar a un lugar seguro a las personas que se encuentren en riesgo en el área indicada en este acuerdo, por lo que para el efecto debe aunar esfuerzos con las municipalidades correspondientes.

**Artículo 6.** Como consecuencia de la declaratoria de alto riesgo por deslizamientos, las Unidades Académicas y Dependencias de la USAC, en conjunto con la Coordinadora General de Planificación, la Dirección General de Administración, y a las que compete según sus deberes, deben regular las siguientes actividades que establece dicho Acuerdo Gubernativo: el desfogue de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas; el aporte de desechos sólidos de actividades humanas, como sedimentos y basuras en los cuerpos de aguas y cauces de corrientes ya sean permanentes, intermitentes o efímeras; el desvío y modificación de cauces hídricos por extracciones y actividad humana en general y la explotación de materiales de construcción tanto en ríos como en bancos de préstamos y canteras.

**Artículo 7.** Identificadas las zonas de riesgo por deslizamiento, para prevenir la ocurrencia de desastres, las unidades académicas y/o dependencias de la USAC, deberán organizar, dirigir y ejecutar con la Coordinadora General de Planificación, la Dirección General de Administración y entidades competentes los trabajos de

Continuación del anexo 4.



infraestructura y protección urgentes para resguardar y proteger las obras físicas existentes en el área; realizar estudios más detallados de amenazas y vulnerabilidad para definir los riesgos en forma más específica; establecer planes, programas y proyectos de conservación y manejo del área de interés.

**Artículo 8.** A las unidades que realizan actividades de práctica académica y reforestación que causen impactos en el área delimitada, tener el cuidado de utilizar **EXCLUSIVAMENTE** especies endémicas en todos sus estratos naturales (hierbas, arbustos, árboles) con capacidad para estabilizar las laderas y proteger los cauces, mejorar la captación de agua, reducir la erosión y deterioro del suelo.

**Artículo 9.** En resguardo de la integridad y seguridad de las personas del campus central y sus bienes debe realizarse: por la Coordinadora General de Planificación el ordenamiento territorial y planificación urbana del campus central y los sectores objeto de este acuerdo; la Dirección General de Administración, verificar que no se realicen actividades que puedan incrementar las condiciones de vulnerabilidad; y el CEDESUD responsable de un monitoreo periódico para constatar las condiciones de riesgo que por su calidad de ser dinámicas pueden cambiar en cualquier momento, según la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos y de origen geológico.

***Por una Cultura de Seguridad y Resiliencia ante los Desastres***

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Dr. Victor Manuel García,   
JEFE JEFATURA  
Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres  
CEDESUD-DIGEU-USAC

CC. Coordinadora General de Planificación  
Dirección General de Administración Universitaria  
Dirección de Asuntos Jurídicos  
Dirección General Financiera  
Auditoría Interna



Continuación del anexo 4.



Fuente: Archivo CEDESUD. Universidad de San Carlos de Guatemala.





Anexo 5. Of.Ref.Cedesyd.007.01.16

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO SEGURO Y DESASTRES

Copia

# 45.2d6

Of.Ref.Cedesyd.007.01.16  
21 de enero de 2016

**Doctor**  
**Carlos Guillermo Alvarado Cerezo**  
**Rector**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

#400

**Estimado Doctor Alvarado:**

Reciba un cordial saludo del Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres (CEDESVD), de la Dirección General de Extensión Universitaria (DIGEU), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

El objeto de la presente es informarle que la Presidencia de la República a solicitud de la Junta y Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED mediante el Acuerdo Gubernativo 179-2001, del 16 de mayo de 2001, declaró "sectores de altos riesgos de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya", indicando que "no podrá desarrollarse ni apoyarse ningún tipo de proyecto público ni privado, hasta que la amenaza u ocurrencia del desastre haya desaparecido".

En el Artículo 2, establece que: "Los sectores declarados de alto riesgo comprenden las cuencas hidrográficas del Río Villalobos, Lago de Amatitlán y Río Michatoya, delimitadas en forma más precisa en el informe técnico científico emitido por el Consejo de CONRED, sector que se extiende a una distancia de 100 metros horizontales a cada lado de cada río, zanjón y quebrada existente y en el caso del Río Villalobos, se considerará como tal toda la zona de aluvión y delta del río y en las áreas donde el cauce natural del río haya sido modificado, principalmente en los alrededores de los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, del departamento de Guatemala".

Durante el año 2015 en coordinación con la DIGA y CGP realizamos un recorrido con el propósito de georeferenciar y delimitar los 100 metros de restricción que se establecen en el Acuerdo Gubernativo mencionado y hemos generado un mapa que adjunto. Durante esa visita además se identificaron malas prácticas agrícolas y otros impactos negativos por parte de las unidades académicas y administrativas que las utilizan.

Esta delimitación se realizó debido a que hemos recibido solicitudes de ubicación de infraestructura física en dicha área, lo cual no es procedente, por lo que con el propósito de notificar oficialmente a la comunidad universitaria de las consecuencias legales y punitivas que pueden derivar del hecho de construir obras físicas o desarrollar proyectos académicos hemos considerado necesario emitir un Acuerdo del CEDESVD, que es necesario sea refrendado por un Acuerdo de Rectoría para salvaguardar la responsabilidad institucional y de su persona como representante legal en dichos usos prohibidos.

Edificio de Recursos Educativos 1er nivel, Ciudad Universitaria, zona 12  
 Teléfonos 2418-7678 correo electrónico [ceves@usac.gmll.com](mailto:ceves@usac.gmll.com)

Continuación del anexo 5.

CENTRO DE ESTUDIOS DE DESARROLLO  
SEGURO Y DESASTRES

Solicito a usted firmarlo y a la vez notificar oficial y preventivamente a todas las autoridades administrativas y académicas que por desconocimiento de dicha normativa reguladora, puedan infringirlo.

Agradeciendo su atención reciba mis muestras de consideración y estima, elévese para constituirse en Acuerdo de Rectoría a la brevedad posible.

*Por una Cultura de Seguridad y Resiliencia ante los Desastres*

Y ENSEÑAD A TODOS

Atentamente,

  
Dr. Victor Manuel Garcia Lopez

JEFE

Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres  
CEDESVD-DIGEU-USAC

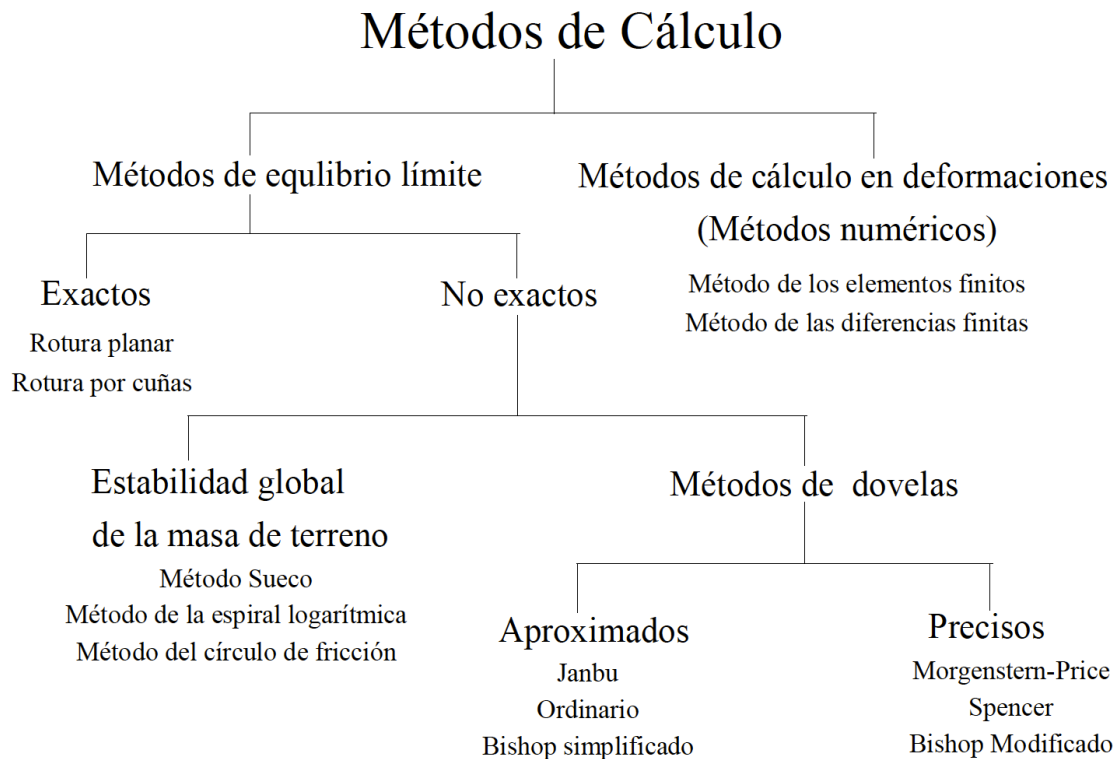
CC. Coordinadora General de Planificación  
Dirección General de Administración Universitaria  
Dirección de Asuntos Jurídicos  
Dirección General Financiera  
Auditoría Interna

Edificio de Recursos Educativos 1er. nivel, Ciudad Universitaria, zona 12  
Teléfonos 2418-7678 correo electrónico [cedesvd.usac@gmail.com](mailto:cedesvd.usac@gmail.com)

Fuente: Archivo CEDESVD. Universidad de San Carlos de Guatemala.



Anexo 6A. **Clasificación de los métodos de cálculo para análisis de estabilización de taludes**



Fuente: Oliva, A. *Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo.* p.6.

Anexo 6B. **Resumen de los métodos de análisis de Estabilidad de Taludes en suelos de equilibrio límite más utilizados**

Método	Descripción	Equilibrio de fuerzas		Equilibrio de Momentos
		Vertical	Horizontal	
Fellenius (Ordinario) (1927)	No toma en cuenta las fuerzas entre rebanadas y no satisface el equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como	SI	NO	SI

Continuación del anexo 6B.

	para rebanadas individuales, es un método muy utilizado por su procedimiento simple, muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros.			
Bishop Modificado (1955)	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.	SI	NO	SI
Lowe-Garafiath (1960)	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.	SI	SI	NO
Janbú Generalizado (1968)	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.	SI	SI	SI*

Continuación del anexo 6B.

<p>Spencer (1967)</p>	<p>Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>
<p>Morgenstern-Price (1965)</p>	<p>Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>
<p>Sueco modificado (U.S. Army Corps of Engineers) (1970)</p>	<p>Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>	<p>NO</p>
<p>Sarma (1973)</p>	<p>Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>	<p>SI</p>

Continuación del anexo 6B.

	corresponde al caso de cero coeficientes sísmicos. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.			
--	---	--	--	--

Fuente: ALONSO, Eduardo. *Métodos generales de equilibrio límite*. p.55.

## Anexo 7. Resultados de laboratorio

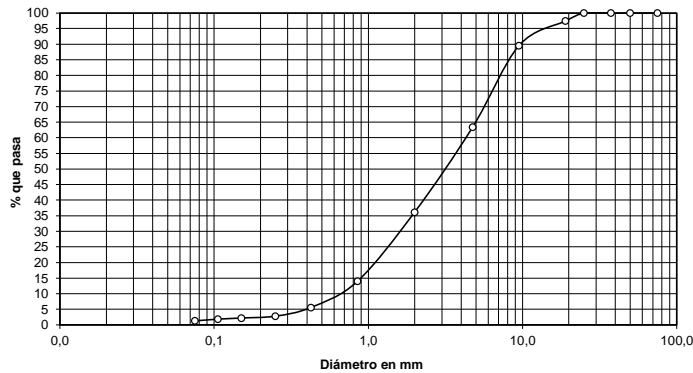
Interesado: Departamento de Servicios/USAC.  
 Proyecto: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 FECHA: 06 de Octubre de 2016.

RESULTADOS:					
TALUD: No.	PROFUNDIDAD (m.)	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	6,00	0,0	0,0	SM	Arena pómez color café claro
2	11,00	38,1	5,2	SM	Arena limosa color café
3	15,00	0,0	0,0	SM	Arena pómez limosa color café claro
4	20,00	0,0	0,0	SM	Arena pómez color café con gravilla
5	25,00	0,0	0,0	SM	Arena pómez color gris con grava

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Interesado: Departamento de Servicios/USAC.  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo  
 Norma: ASTM D6913-04  
 Proyecto: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016. Talud 1, Prof: 6,00 m.

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100,00	10	2.00 mm	36,18
2"	50 mm	100,00	20	850 µm	13,98
1 1/2"	37.5 mm	100,00	40	425 µm	5,60
1"	25 mm	100,00	60	250 µm	2,79
3/4"	19.0 mm	97,43	100	150 µm	2,21
3/8"	9.5 mm	89,57	140	106 µm	1,84
4	4.75 mm	63,44	200	75 µm	1,29



Descripción del suelo: Arena pómez color café claro.

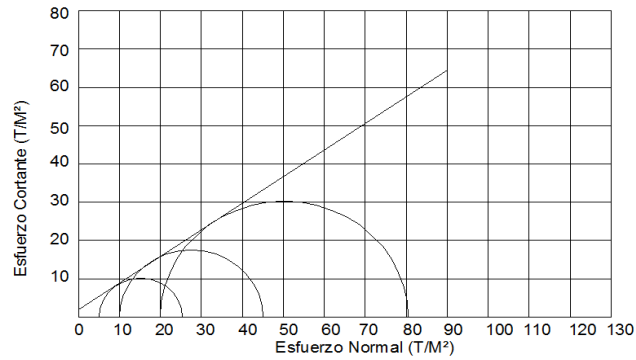
Clasificación:	S.C.U.: SP	% de Grava: 36,56	D10=0,85 mm.
	P.R.A.: A-1-a	% de Arena: 62,15	D30=1,79 mm.
		% de finos: 1,29	D60=4,62 mm.





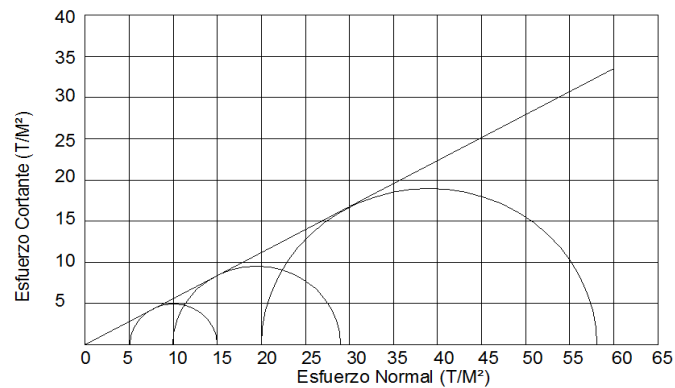
## Continuación del anexo 7.

INTERESADO: Departamento de Servicios/USAC.  
 PROYECTO: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016.  
 Norma: AASHTO T-234.  
 Talud: 1 Profundidad: 6,00 m, Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:			
<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : <math>\phi = 34,85^\circ</math></b>		<b>COHESIÓN: <math>C_u = 1,85 \text{ Ton/m}^2</math></b>	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena pomez color café claro		
DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA:	2,5" X 5,0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q$ (T/m <sup>2</sup> )	20,39	35,22	60,39
PRESIÓN INTERSTICIAL $u$ (T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA $E_r$ (%)	3,0	4,5	6,0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	0,85	0,85	0,85
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1,10	1,10	1,10
HUMEDAD (%H)	29,2	29,2	29,2

INTERESADO: Departamento de Servicios/USAC.  
 PROYECTO: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016.  
 Norma: AASHTO T-234.  
 Talud: 1 Profundidad: 11,00 m, Muestra: 2

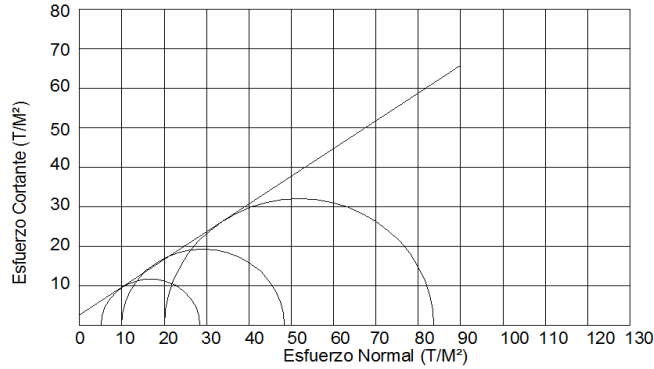


PARAMETROS DE CORTE:			
<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : <math>\phi = 29,16^\circ</math></b>		<b>COHESIÓN: <math>C_u = 0,00 \text{ Ton/m}^2</math></b>	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena limosa color café		
DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA:	2,5" X 5,0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q$ (T/m <sup>2</sup> )	9,98	18,98	37,94
PRESIÓN INTERSTICIAL $u$ (T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA $E_r$ (%)	1,5	3,5	5,5
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1,22	1,22	1,22
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1,34	1,34	1,34
HUMEDAD (%H)	9,7	9,7	9,7



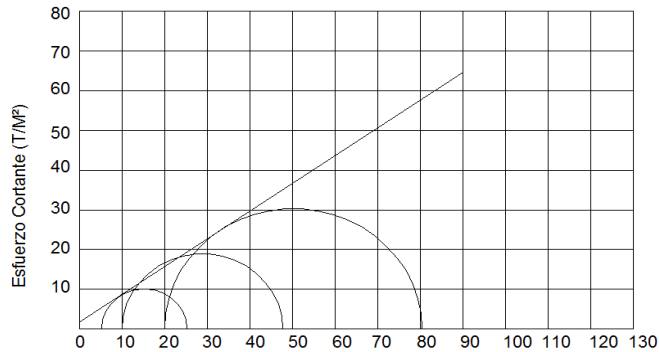
## Continuación del anexo 7.

INTERESADO: Departamento de Servicios/USAC.  
 PROYECTO: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016.  
 Norma: AASHTO T-234.  
 Talud: 1 Profundidad: 15,00 m, Muestra: 3



PARAMETROS DE CORTE:			
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 35,02^\circ$		COHESIÓN: $C_u = 2,58 \text{ Ton/m}^2$	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena pómez limosa color café claro		
DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA:	2.5" X 5.0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	23,39	38,45	63,88
PRESIÓN INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA Er (%)	2,0	4,0	6,0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1,08	1,08	1,08
DENSIDAD HÚMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1,12	1,12	1,12
HUMEDAD (%H)	3,1	3,1	3,1

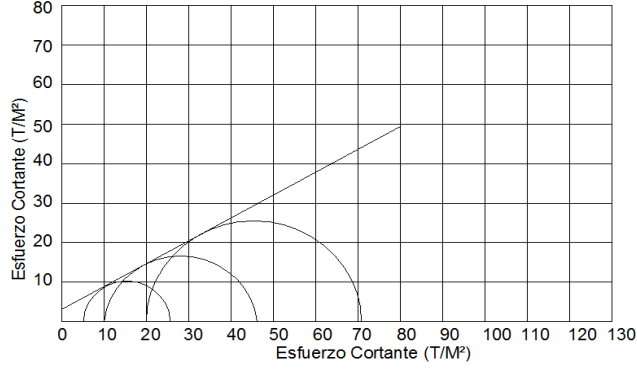
INTERESADO: Departamento de Servicios/USAC.  
 PROYECTO: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: 06 de Octubre de 2016.  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016.  
 Norma: AASHTO T-234.  
 Talud: 1 Profundidad: 20,00 m, Muestra: 4



PARAMETROS DE CORTE:			
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 34,94^\circ$		COHESIÓN: $C_u = 1,77 \text{ Ton/m}^2$	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena pómez color café con gravilla		
DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA:	2.5" X 5.0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	20,20	37,56	60,39
PRESIÓN INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA Er (%)	2,0	4,0	6,0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1,44	1,44	1,44
DENSIDAD HÚMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1,53	1,53	1,53
HUMEDAD (%H)	6,7	6,7	6,7

## Continuación del anexo 7.

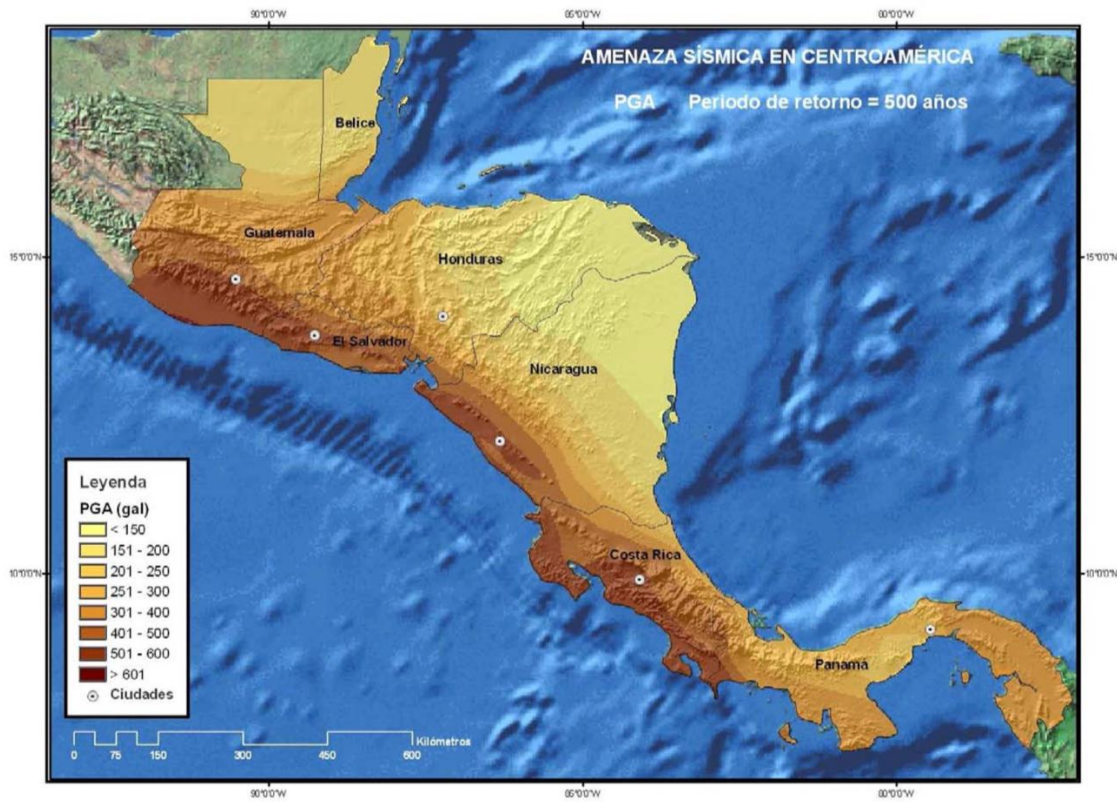
INTERESADO: Departamento de Servicios/USAC.  
 PROYECTO: Estudio de Suelos Talud de Parque Ecología Las Ardillas.  
 Ubicación: Ciudad Universitaria, Zona 12,  
 Fecha: 06 de Octubre de 2016.  
 Norma: AASHTO T-234.  
 Talud: 1                      Profundidad: 25,00 m,                      Muestra: 5



<b>PARAMETROS DE CORTE:</b>			
<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : <math>\phi = 30,11^\circ</math></b>		<b>COHESIÓN: <math>C_u = 3,03 \text{ Ton/m}^2</math></b>	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena pómez color gris con grava.		
DIMENSIÓN Y TIPO DE LA PROBETA:	2.5" X 5.0"		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por el interesado.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESIÓN LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	20,66	36,22	50,79
PRESIÓN INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACIÓN EN ROTURA Er (%)	2,0	4,0	6,0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1,46	1,46	1,46
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1,53	1,53	1,53
HUMEDAD (%H)	5,2	5,2	5,2

Fuente: Archivo CEDESVD. Universidad de San Carlos de Guatemala.

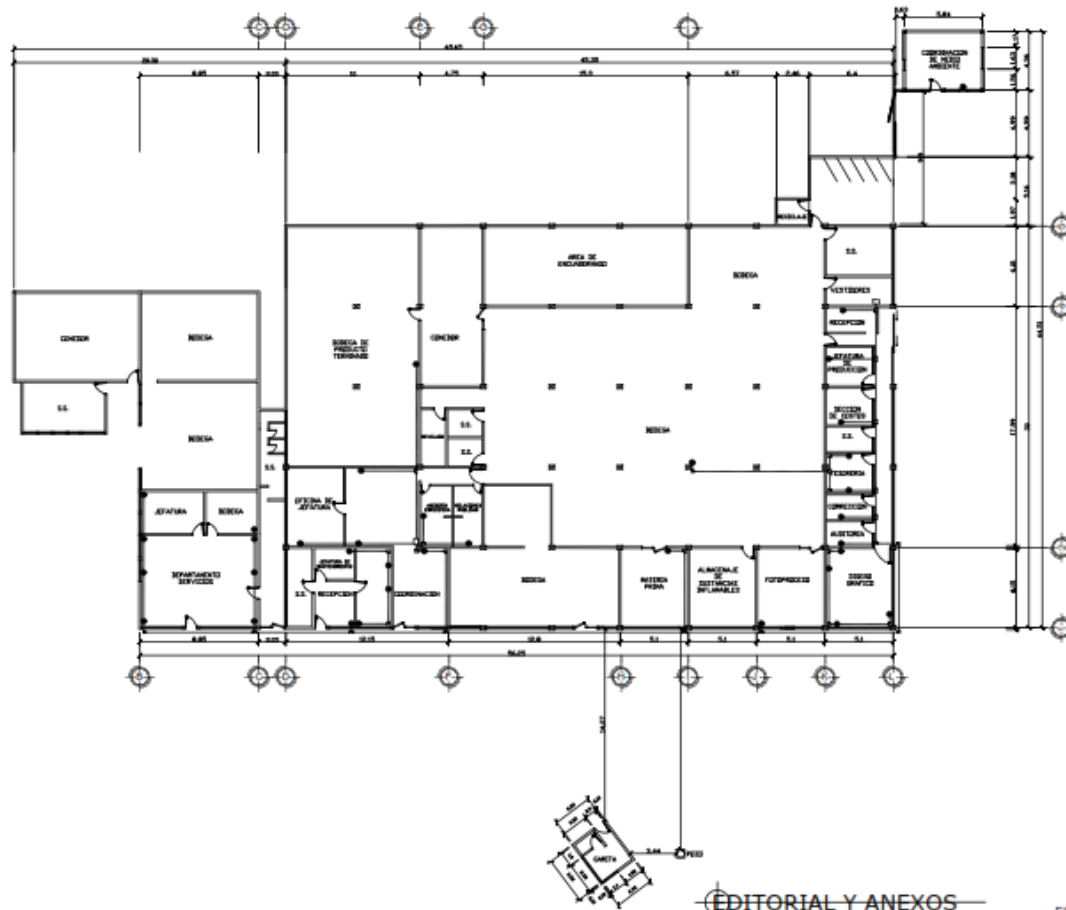
Anexo 8. Mapa de los valores de la Aceleración máxima del suelo (PGA) para la región centroamericana



Fuente: BENITO, Belén. *Amenaza sísmica en América Central*. p.89.

**Anexo 9. Plano de los edificios Editorial Universitaria y ERIS de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Fuente: División de Servicios Generales, USAC y Unidad de planificación de la Facultad de Ingeniería.



SIMBOLOGIA	
●	PUERTO DE RED TERA
○	PUERTO - WALL
○	RECEPTOR - PARED
—	CABLEADO MEDIDA HORIZONTAL 4' x 4' MIN
—	SUPORTE EN CIELO
—	TUBOS DE 2" x 1/2" EN REDONDO
—	CABLEADO PLACAS PARA REDONDO DE 12 x 12 MIN. REDONDO EN CABLEADO MURADO
—	CABLEADO PLACAS PARA REDONDO DE 12 x 12 MIN. REDONDO EN CABLEADO MURADO
□	CASA DE 4' x 4'
⊕	TERMINACION REDONDA
⊞	CODO TERMINACION REDONDA

EDITORIAL Y ANEXOS ESC: 1/375

PROYECTO:

**CONSTRUCCION DE LA RED DE SERVICIOS INTEGRADOS**

**COCISA**  
COMPAÑIA CONSTRUCTORA DE OBRAS CIVILES, S.A.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

ESCALA: INDICADA

FORMATO: A-2  
FECHA: NOVIEMBRE 2009

AREA: CAMPUS CENTRAL

EDIFICIO: T-1

DIBUJO: COCISA

SITIO: ZONA "A"

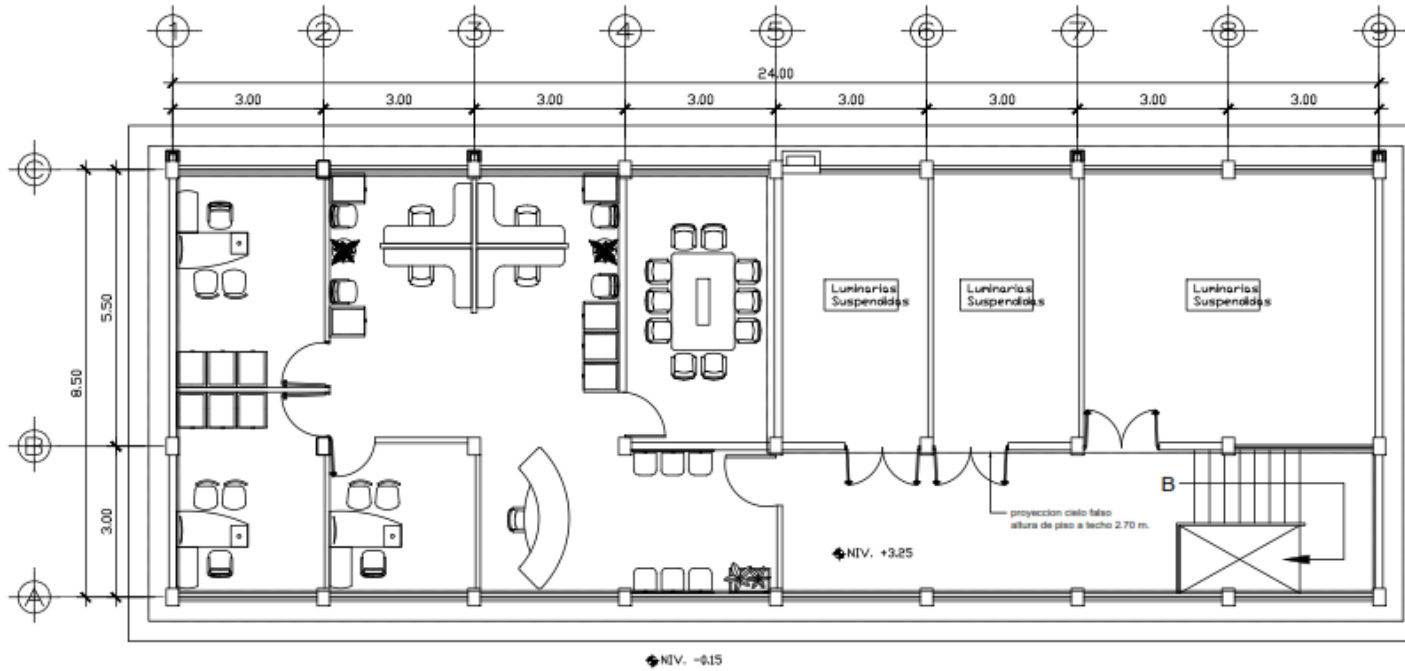
PLANTA: NIVEL TRES

DIRECCION: AVE. PETAPA, 32 CALLE ZONA 12

**RED DE DATOS**

CONTIENE:  
**RED DE CABLEADO ESTRUCTURADO**

HOJA: 1 DE 2



### PLANTA ALTA - ERIS

FACULTAD DE INGENIERIA

ESC. 1/100



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA - UNIDAD DE PLANIFICACION

PROYECTO: PLANTAS DE DISTRIBUCION / EDIFICIO ERIS CESEM

FECHA: ABRIL 2010

ESCALA: Indicada

DIBUJO Y DISEÑO:  
Unidad de Planificación

HOJA: 1/1

ING. MURPHY PAZ R.

ING. ROBBY MAYORCA

