



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

**ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER
EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS**

Heike Gretel Hannelore Wellmann Castellanos

Asesorado por el Ing. José Gabriel Ordóñez Morales

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER
EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HEIKE GRETEL HANNELORE WELLMANN CASTELLANOS
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ GABRIEL ORDÓÑEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
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:

ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de febrero de 2016.

Heike Gretel Hannelore Wellmann Castellanos



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 01 de agosto de 2017

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Heike Gretel Hannelore Wellmann Castellanos quien contó con la asesoría del Ing. José Gabriel Ordóñez Morales.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
 Asesor y Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles

FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC



/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



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 del Asesor y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Heike Gretel Hannelore Wellman Castellanos ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2017

/mmm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala

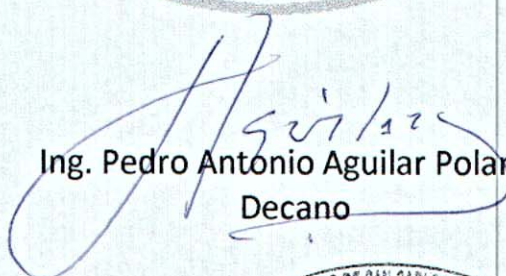


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 389.2017

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: **ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS UTILIZANDO EL PASTO VETIVER EN EL TALUD UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS**, presentado por la estudiante universitaria: **Heike Gretel Hannelore Wellman Castellanos**, 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, septiembre de 2017

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por haberme reconfortado con su amor cada vez que las cosas se ponían difíciles.
- Mi mamá** Elisa Ileana Castellanos, por haber creído en mí siempre y darme la oportunidad de estudiar, todo esto te lo debo a ti.
- Mi asesor** Ing. José Gabriel Ordóñez, por haberme guiado en todo este proceso y por el tiempo invertido en mí.
- Mis amigos** Edwin Zárate, Waleska Winter, José Tezó y Sofía Reiche, por el apoyo que me dieron en todo este camino.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Descripción de la bioingeniería.....	1
1.1.1. Técnicas de bioingeniería.....	1
1.2. Influencia de la vegetación en los taludes	2
1.2.1. Factores positivos y negativos de la vegetación.....	4
1.2.2. Características de las raíces.....	4
1.2.3. Acción de refuerzo de las raíces.....	6
1.3. Generalidades del pasto vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i> L.)	9
1.4. Estudios previos de las condiciones del talud de estudio	11
1.4.1. Trabajo de graduación <i>Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala</i>	11
1.5. Experiencia en la implementación del pasto vetiver en otros países.....	13
1.5.1. Ecuador	13
1.5.2. Venezuela.....	14
1.5.3. Colombia.....	19

1.5.4.	España	20
2.	REDUCCIÓN DE RIESGO	23
2.1.	Definición de riesgo.....	23
2.2.	Definición de amenaza.....	24
2.2.1.	Tipos de amenaza.....	25
2.2.2.	Clasificación de las amenazas	26
2.2.3.	Evaluación de amenazas	27
2.3.	Definición de vulnerabilidad	28
2.3.1.	Evaluación de la vulnerabilidad	28
2.3.2.	Factores de vulnerabilidad	29
2.4.	Evaluación del riesgo	29
2.4.1.	Estimación del riesgo	30
2.5.	Desastres	31
2.5.1.	Tipos de desastres	31
2.5.2.	Deslizamientos	34
2.5.2.1.	Origen de los deslizamientos	35
2.5.2.2.	Efectos de los deslizamientos	36
3.	PASTO VETIVER (VETIVERIA ZIZANIOIDES L.)	37
3.1.	Pasto vetiver	37
3.1.1.	Especies y variedades	37
3.1.2.	Características fisiológicas del pasto vetiver	38
3.1.3.	Características mecánicas de las raíces del vetiver.....	40
3.1.4.	Velocidad de crecimiento	41
3.1.5.	Usos del pasto vetiver	43
3.1.5.1.	Control de la erosión	44
3.1.5.2.	Otros usos.....	45

3.2.	Pasto vetiver y la climatología guatemalteca.....	48
3.2.1.	Regiones climáticas de Guatemala	48
3.2.2.	El pasto vetiver en la región con condiciones más secas de Guatemala	50
3.2.3.	El pasto vetiver en la región con condiciones más lluviosas de Guatemala.....	50
4.	TALUDES.....	53
4.1.	Definición de talud	53
4.2.	Clasificación y tipos de talud	53
4.3.	Partes de un talud	54
4.4.	Ángulo de reposo	55
4.4.1.	Talus.....	55
4.4.2.	Métodos para la medición del ángulo de reposo	55
4.4.3.	Ángulo de reposo para distintos tipos de suelo	58
4.5.	Fallas de un talud	60
4.5.1.	Causas de falla de un talud	60
4.5.2.	Etapas de falla.....	61
4.5.3.	Factores internos que influyen en la falla	62
4.5.4.	Factores externos que influyen en la falla	62
4.5.5.	Formas de falla	63
4.6.	Estabilidad de taludes	71
4.6.1.	Factores de seguridad	72
4.6.2.	Análisis para taludes infinitos.....	72
4.6.3.	Análisis para taludes finitos	74
4.6.3.1.	Método Fellenius	76
4.6.3.2.	Método Bishop.....	78
4.6.3.3.	Método de rebanadas.....	79

5.	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS	81
5.1.	Reseña histórica	81
5.2.	Delimitación del área.....	83
5.3.	Climatología	85
	5.3.1. Precipitación.....	86
	5.3.2. Temperatura.....	87
	5.3.3. Humedad del aire	88
	5.3.4. Vientos	89
5.4.	Características topográficas.....	90
5.5.	Características del suelo	92
5.6.	Factores de amenaza.....	97
5.7.	Perfil urbano.....	99
5.8.	Situación actual del área	100
6.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	105
6.1.	Descripción del ensayo a tensión.....	105
	6.1.1. Equipo utilizado	108
	6.1.2. Datos obtenidos	111
	6.1.3. Cálculos efectuados	112
	6.1.4. Tablas y gráficos de resultados.....	114
	6.1.5. Análisis de resultados	118
6.2.	Diseño de la siembra en el talud utilizando el pasto vetiver ...	121
	6.2.1. Calidad del material para la plantación	121
	6.2.2. Distancias de siembra	121
	6.2.3. Preparación del terreno	123
	6.2.4. Preparación mecánica del sustrato	124
	6.2.5. Plantación de esquejes	125
	6.2.5.1. Preparación de esquejes.....	125
	6.2.5.2. Siembra	126

6.2.6.	Cuidados posteriores a la plantación.....	127
CONCLUSIONES		131
RECOMENDACIONES.....		133
BIBLIOGRAFÍA.....		135
APÉNDICES		139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Formas de las raíces.....	6
2.	Refuerzo de raíces tipo A.....	7
3.	Refuerzo de raíces tipo B.....	8
4.	Refuerzo de raíces tipo C.....	8
5.	Refuerzo de raíces tipo D.....	9
6.	Pérdidas de suelo en el talud.....	13
7.	Uso del vetiver en el río Los Amarillos.....	14
8.	Condiciones iniciales del área en 1996.....	16
9.	Condiciones finales a dos años después de la siembra.....	16
10.	Condición inicial del área.....	17
11.	Condición del área luego de la siembra.....	18
12.	Vista aérea de la urbanización.....	19
13.	Talud en condiciones iniciales.....	19
14.	Siembra del pasto vetiver en el talud.....	20
15.	Matriz de evaluación de amenazas.....	28
16.	Tipos de desastres.....	33
17.	Partes principales del pasto vetiver.....	39
18.	Raíz del pasto vetiver a los 6 meses.....	41
19.	Crecimiento del pasto vetiver.....	42
20.	Crecimiento de la macolla del pasto vetiver.....	43
21.	Sistema vegetal de conservación de suelo.....	45
22.	Protección de terrazas.....	45
23.	Funcionamiento del vetiver.....	46

24.	Colocación del vetiver para protección	46
25.	Protección de conducto de concreto.....	47
26.	Techos en casas rurales.....	47
27.	Limpieza de aguas residuales con flotadores	51
28.	Partes de un talud.....	54
29.	Método del cilindro de Santamarina & Cho.....	57
30.	Ángulo de reposo para distintos suelos	59
31.	Caídas de suelo por gravedad	64
32.	Inclinación o volteo de material.....	65
33.	Inclinación o volteo de material.....	65
34.	Deslizamiento de suelos blandos.....	66
35.	Deslizamiento rotacional típico	67
36.	Deslizamiento de traslación	68
37.	Esparcimiento lateral típico.....	69
38.	Flujos a diferentes velocidades.....	70
39.	Avalancha y residuos depositados posteriormente.....	71
40.	Esfuerzos sobre un elemento de suelo.....	73
41.	Modos de falla de un talud finito	75
42.	Falla de base en un talud.....	76
43.	Fuerzas que actúan sobre una dovela.....	77
44.	Fuerzas que actúan sobre una dovela por el método simplificado de Bishop.....	79
45.	Delimitación del talud dentro del campus	83
46.	Fotografía del área del talud	85
47.	Mapa de Isoyetas de Guatemala	86
48.	Mapa de Isotermas de Guatemala.....	87
49.	Mapa de isohigras de Guatemala, 1.	88
50.	Mapa de isohigras de Guatemala, 2.	89
51.	Perfil topográfico del talud analizado	91

52.	Fotografía de perfil del talud analizado	92
53.	Perfil de suelos del talud estudiado.....	93
54.	Flujo del río al fondo del talud	98
55.	Ubicación de colonias aledañas.....	99
56.	División del área vista en perspectiva	100
57.	División del área vista en planta.....	101
58.	Entrada a la colonia El Bosque	102
59.	Fotografía de la Editorial Universitaria	103
60.	Plantación del pasto en Ingenio Magdalena.....	106
61.	Trenzado de raíces para la formación de una probeta.....	107
62.	Probeta utilizada para el ensayo	108
63.	Máquina electrónica utilizada en el ensayo.....	109
64.	Máquina universal utilizada en el ensayo.....	110
65.	Accesorios utilizados en el ensayo	111
66.	Gráfica Fuerza – deformación, ensayo 1	114
67.	Gráfica fuerza – deformación, ensayo 2.....	115
68.	Gráfica fuerza – deformación, ensayo 3.....	115
69.	Masa del bloque de suelo	117
70.	Distanciamientos de cercos de vetiver	122
71.	Especificaciones para la siembra.....	127

TABLAS

I.	Resistencia a la tensión de algunas plantas	40
II.	Ángulo de reposo en suelos granulares.....	60
III.	Construcción Ciudad Universitaria	82
IV.	Resultados del ensayo de granulometría.....	94
V.	Resultados del ensayo contenido de humedad.....	95
VI.	Resultados del ensayo triaxial drenado.....	96

VII.	Pesos unitarios de suelos comunes.....	97
VIII.	Descripción de número de plantas por muestra	106
IX.	Datos obtenidos con la máquina electrónica	112
X.	Datos obtenidos con la máquina universal	112
XI.	Resultados obtenidos con el ensayo de tensión.....	116
XII.	Peso del bloque de suelo.....	117
XIII.	Comparación usando máquina electrónica.....	120
XIV.	Comparación usando máquina universal.....	120
XV.	Distancias de siembra.....	123

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área de la sección transversal
P	Carga aplicada
<i>cm</i>	Centímetro
<i>cm</i>²	Centímetro cuadrado
σ	Esfuerzo
<i>kg</i>	Kilogramo

GLOSARIO

Amenaza	Factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos; se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido.
Antropogénico	De origen humano o de las actividades del hombre, incluidas las tecnológicas.
Bioingeniería	inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de medidas u obras de ingeniería, para mejorar y proteger estructuras de los problemas relacionados con la erosión y otros tipos de inestabilidades superficiales.
Desastre	Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socionatural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona o comunidad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los

recursos disponibles a la unidad social directamente afectada.

Dovela	Elemento vertical de forma trapezoidal, en el que se divide el talud para analizar sus fuerzas involucradas.
Erosión	Desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.
Escorrentía	Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área que soporta un material.
Estolones	Brote lateral que nace en la base del tallo de algunas plantas herbáceas y que crece horizontalmente con respecto al nivel del suelo.
Inflorescencia	Conjunto de flores que nacen agrupadas de un mismo tallo.
Macolla	Conjunto de brotes originados en la base de un mismo pie de algunas plantas herbáceas perennes.
Panícula	Racimo ramificado de flores, en el que las ramas son a su vez racimos.

Pediceles	Extensión del tallo que sostiene las inflorescencias de las plantas.
Riesgo	Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas a causa de un desastre como resultado de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad a las cuales está expuesta una comunidad.
Rizomas	Tallo subterráneo con varias yemas que crecen de forma horizontal que emite raíces y brotes herbáceos de sus nudos.
Socavación	Excavación profunda causada por el agua.
Talud	Superficie inclinada respecto a la horizontal que adopta permanentemente las estructuras de tierra en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.
Talus	Fragmentos de roca de cualquier tamaño o forma, derivados y apoyados sobre la base de laderas de pendiente muy alta, los cuales forman un depósito en forma de cono.
Vulnerabilidad	Factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza.

RESUMEN

El riesgo de desprendimientos masivos de suelo está presente en el talud ubicado en el parque ecológico Las Ardillas dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala; este riesgo es el resultado de la suma de las amenazas socionaturales y antropogénicas con la vulnerabilidad generada por factores físicos, sociales y ambientales.

Se han realizado varios estudios para disminuir el riesgo, los daños y las pérdidas materiales y de vidas humanas que pueden llegar a generarse si ocurre un desprendimiento masivo en el área, uno de los cuales es el presente trabajo de graduación, en el cual se analizan las propiedades físicas y mecánicas del pasto vetiver para ser utilizado como un material dentro del campo de acción de la bioingeniería.

Primero, se realizó un estudio de los antecedentes generales del uso del pasto en situaciones similares en otros países; luego, se estudiaron las características que constituyen un riesgo, las características propias del pasto Vetiver y el comportamiento de los taludes al momento de fallar; para esa continuación, se entró de lleno al área de aplicación, se analizó su climatología, características topográficas y del suelo; finalmente, se analizaron las propiedades mecánicas del material: se realiza un ensayo experimental para determinar el esfuerzo máximo a tensión que soportan las raíces del pasto Vetiver.

OBJETIVOS

General

Proponer como alternativa para la reducción de riesgo ante la amenaza de un deslizamiento masivo, la utilización del pasto vetiver en el talud ubicado dentro del parque ecológico Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Identificar los factores críticos que constituyen una amenaza en el talud a estudiar.
2. Determinar las propiedades mecánicas del pasto vetiver que ayudarán a reducir los peligros de deslizamientos en el lugar planteado.
3. Numerar los beneficios que tiene la implementación del pasto vetiver para el control de erosión del talud estudiado.

INTRODUCCIÓN

El talud ubicado en el parque ecológico Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha presentado problemas de erosión, socavación e inestabilidad desde años atrás; esta situación representa una amenaza latente para las áreas circundantes por el riesgo de deslizamientos cuyo resultado podría ser pérdidas humanas y materiales; por lo tanto, se hace importante analizar las alternativas de estabilización de taludes con la ingeniería civil.

Se han realizado varios estudios para encontrar soluciones a los problemas que presenta el talud mencionado; entre estos estudios se encuentra el trabajo de graduación del ingeniero Jacob Ramírez Bach, *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala*, que plantea una serie de posibles soluciones para los problemas del talud.

Según la influencia que tendría para reducir el riesgo existente debido a las amenazas de deslizamientos, se plantea una alternativa de bioingeniería: la utilización del pasto vetiver para la revegetación, estabilización y control de erosión del talud mencionado.

Esta propuesta se basa en la determinación de las propiedades mecánicas de las raíces del pasto vetiver. La resistencia al esfuerzo a tensión de las raíces del pasto, la principal propiedad mecánica analizada, se determinó con una serie de ensayos experimentales con probetas trenzadas hechas con el sistema radicular de varias plantas; luego, se obtuvo el esfuerzo a tensión máximo y mínimo del material ensayado.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Descripción de la bioingeniería

La bioingeniería es la inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de medidas u obras de ingeniería para mejorar y proteger las laderas, terraplenes y estructuras de los problemas relacionados con la erosión y otros tipos de inestabilidades superficiales en laderas y defensas ribereñas para inundación.

La bioingeniería utiliza los efectos mecánicos e hidrológicos benéficos de una comunidad de plantas para cumplir una función de ingeniería:

- La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento
- Proteger de la erosión laminar una superficie del suelo expuesta
- Atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud

Debido a estas características, la bioingeniería se convierte en el aliado perfecto al momento de identificar y proponer medidas de reducción de riesgos y adaptación al cambio climático como pueden ser obras de protección a pequeña escala y/o de prevención relacionadas con estabilización de laderas, control de erosión, manejo de suelos, defensas ribereñas, etc.

1.1.1. Técnicas de bioingeniería

El manual de bioingeniería COSUDE reconoce los siguientes dos enfoques para hacer frente a una problemática de estabilización de suelos y reducir su degradación:

- Enfoque duro o convencional: aquel que mediante estructuras como superficies cementadas, con gaviones, etc., o con mallas de alambre, que generalmente son costosas, dan solución al problema.
- Enfoque blando o verde: aquel que mediante el uso de vegetación, también, dan solución al problema.

Tiene a su favor que es mucho menos costoso, estéticamente agradable y ambientalmente favorable para el entorno ya que contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático por el uso de especies vegetales: plantas, árboles y arbustos como elemento ingenieril, los cuales son muy eficientes para la captura de CO₂.

1.2. Influencia de la vegetación en los taludes

La vegetación que se establece bien en un determinado talud y se siembra con suficiente densidad, puede proporcionar una eficaz protección a la superficie del talud. La influencia de la vegetación en las condiciones de los taludes puede definirse de dos maneras:

- Hidrológicamente: la vegetación afecta las condiciones hidrológicas de un talud e influye sobre la velocidad y el volumen del flujo del agua, hacia y sobre una superficie de talud mediante los procesos de: intercepción de la lluvia, flujo radicular, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración.
 - Dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60 % del total de la lluvia anual.

- Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, demoran más el ciclo hidrológico ya que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia.
- En el caso de lluvias muy intensas, la retención de agua es mínima; pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30 % según las características de la vegetación.
- La clave desde el punto de vista de ingeniería es determinar la humedad máxima y el nivel freático crítico para un talud determinado, teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.
- En ocasiones, la vegetación produce el efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación que mejoran la estabilidad de las laderas.
- Mecánicamente: la vegetación aumenta la fortaleza y competencia del suelo en el cual está creciendo y, por lo tanto, contribuye a su estabilidad.
 - Las hierbas o maleza protegen mejor contra la erosión que los pastos.
 - La vegetación cumple dos funciones principales: determina el contenido de agua en la superficie del suelo y da consistencia al suelo debido al entramado mecánico de sus raíces.

1.2.1. Factores positivos y negativos de la vegetación

Factores positivos según el manual de bioingeniería COSUDE:

- Intercepta la lluvia.
- Aumenta la capacidad de infiltración.
- Extrae la humedad del suelo.
- Sus raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al cortante.
- Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
- Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

Factores negativos según el manual de bioingeniería COSUDE:

- Trasmite al suelo fuerza del viento.
- Aumentan el peso sobre el talud.
- Algunas especies causan grietas por desecación ya que extraen toda el agua.

1.2.2. Características de las raíces

Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente.

La extensión lateral del sistema radicular generalmente es mayor que su profundidad y, en algunos casos, superan los 50 metros de longitud.

Algunas plantas poseen un sistema de raíz extensivo, en el cual las raíces alcanzan profundidades o extensiones grandes, mientras otras forman un

sistema intensivo con raíces más cortas y finas. La forma de las raíces puede presentar tres esquemas diferentes:

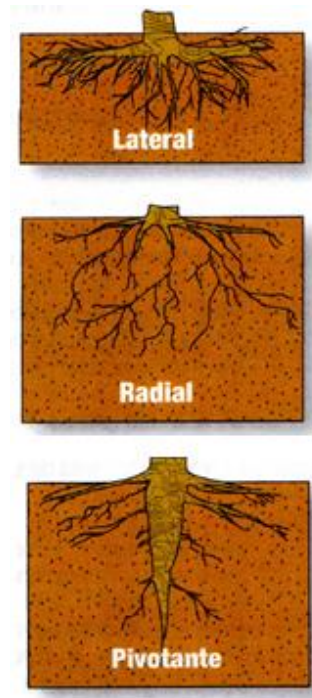
- Raíz de extensión lateral.
- Raíz de extensión radial.
- Raíz pivotante: son muy efectivas para la estabilización de deslizamientos poco profundos, ya que alcanzan profundidades mayores que las raíces laterales o radiales.

Las raíces de diámetro menor a 20 milímetros son las más importantes para la estabilidad de un talud que las raíces de mayor diámetro.

Otro factor que contribuye a la resistencia del sistema suelo raíces es la densidad de raíces por volumen de suelo.

La profundidad de las raíces, también, es un factor muy importante. La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 20 centímetros, comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos.

Figura 1. **Formas de las raíces**



Fuente: COSUDE. *Manual de bioingeniería: reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático*. p. 16.

1.2.3. Acción de refuerzo de las raíces

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades. El efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo se da en tres formas:

- Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.

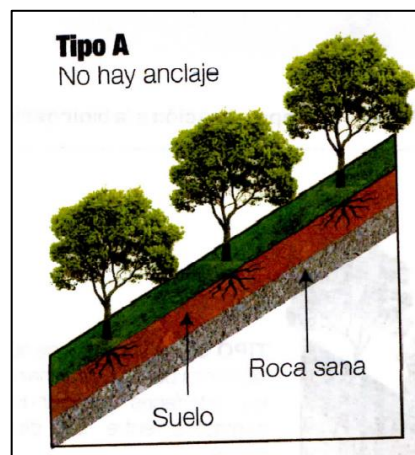
- Formar una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
- Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud.

La resistencia a la tensión de las raíces puede ser hasta el 30 % de la del acero y pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud.

Una clasificación del refuerzo de taludes con las raíces de los árboles fue propuesta por Tsukamoto y Ysakabe en 1984.

- Tipo A: taludes con una capa muy delgada de suelo sobre roca masiva y sin defectos que permitan puntos de anclaje para las raíces y una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca.

Figura 2. Refuerzo de raíces tipo A



Fuente: COSUDE. *Manual de bioingeniería: reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático*. p. 18.

- Tipo B: una capa delgada de suelo sobre una roca con fracturas o defectos que permiten la entrada y anclaje de las raíces.

Figura 3. **Refuerzo de raíces tipo B**



Fuente: COSUDE. *Manual de bioingeniería: reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático*. p. 18.

- Tipo C: varias capas de suelo y las raíces penetran normalmente las interfaces reforzando los contactos entre las diversas capas.

Figura 4. **Refuerzo de raíces tipo C**



Fuente: COSUDE. *Manual de bioingeniería: reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático*. p. 19.

- Tipo D: taludes con una capa gruesa de suelo y raíces a profundidades inferiores a las de las superficies potenciales de falla.

Figura 5. Refuerzo de raíces tipo D



Fuente: COSUDE. *Manual de bioingeniería: reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático.* p. 19.

1.3. Generalidades del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides L.*)

El pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides L.*) pertenece a la familia Gramínea, subfamilia Panicoindae. Se conoce comúnmente con otros nombres: pachuli, baúl de pobre, grama de la india, pasto violeta, zacate violeta.

Otros nombres comunes con el que se conoce el pasto Vetiver en otros países del mundo son:

- Irán: bikhiwala, khas
- Malasia: nara wastu, nara setu, naga setu, kusu – kusu

- Hausa (Nigeria): jema
- Wolof (Senegal): sep, tiep
- Tukufur (Guinea): seman
- Mende (Liberia): pindi
- Tailandia: faeg

El vetiver es una planta gramínea, perenne, con vida útil de más de cien años, de rápido crecimiento y muy resistente a propagación de plagas, extremadamente resistente a sequías, anegamiento permanente a la contaminación y a la salinidad.

Es una especie vegetal que, cuando se siembra correctamente, puede formar una sólida cobertura que puede prevenir la erosión, formar terrazas naturales, incrementar el almacenamiento de la humedad del suelo y proteger cultivos vecinos que no compiten con este. Una vez establecida esta planta puede resistir a sequías e inundaciones; crecerá en suelos altamente ácidos o alcalinos; puede recuperar vertederos de minas; puede estabilizar cortes en vías y rellenos, terraplenes de ferrovías y riveras de ríos. Las raíces únicas de esta planta, pueden absorber excesos de nitratos y fosfatos y puede tolerar niveles altos de elementos tóxicos como arsénico, mercurio, aluminio, níquel, hierro, cromo, manganeso y contener su propagación.

Este pasto puede soportar sequías extremas debido a su alto contenido de sales de la savia de sus hojas, así como inundaciones por largos periodos (se han reportado hasta 45 días de inundación en el terreno). Crece en un rango amplio de suelos y con diferentes niveles de fertilidad y puede resistir hasta temperaturas de - 9 °C, desde el nivel del mar hasta los 2 500 metros sobre el nivel del mar.

1.4. Estudios previos de las condiciones del talud de estudio

1.4.1. Trabajo de graduación *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala*

En este trabajo de graduación el ingeniero civil Jacob Ramírez Bach realiza un análisis del problema que presenta el talud de estudio y propone una serie de soluciones. En el capítulo 5 y en el apartado de recomendaciones de dicho trabajo menciona lo siguiente:

- Construcción de bermas: la colocación de bermas en partes específicas del talud, donde la topografía del terreno o la pendiente lo permita.
- Vegetación: la vegetación es parte fundamental para la estabilización del talud, por lo cual es necesario un estudio agronómico para el éxito del sistema de plantación a utilizar.
- Recubrimiento de concreto lanzado: se podría implementar en el área donde el talud presenta erosión eólica.
- Método de *soil-nailing*: se podría implementar en el área donde el talud presenta erosión eólica.
- Realizar un canal de concreto en el fondo de talud que evite erosión: para la protección en la parte baja del talud es necesario realizar un canal de concreto que controle la trayectoria del río y los daños que esto

origina, así como colocar gaviones a todo lo largo para evitar mayor erosión al fondo del talud.

Para la realización del presente trabajo de graduación se tomó en cuenta la recomendación número 2 hecha por el ingeniero Ramírez Bach que propone la vegetación como parte fundamental para la estabilización del talud.

En estudios previos se han analizado cuantitativamente los deslizamientos que han tenido lugar en el talud a lo largo de 6 años.

En un plano transversal al barranco se han presentado los siguientes:

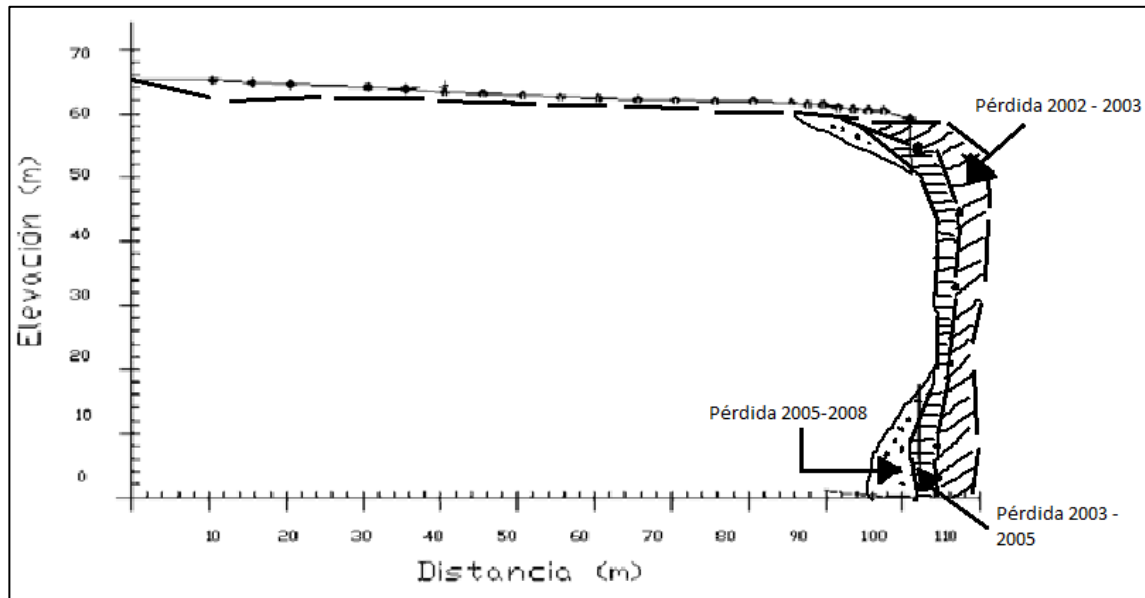
- 1 de enero de 2002: 23 metros
- 16 de mayo de 2003: 32,5 metros
- 30 de octubre de 2005: 34,7 metros
- 11 de septiembre de 2008: 44,5 metros

La ampliación longitudinal de deslizamientos ha avanzado de la siguiente forma:

- 1 de enero de 2002: 21 metros
- 16 de mayo de 2003: 21,5 metros
- 30 de octubre de 2005: 22,3 metros
- 11 de septiembre de 2008: 34,6 metros

El cálculo muestra que cada año la ampliación longitudinal del talud hacia la orilla aumentara 1,97 metros.

Figura 6. Pérdidas de suelo en el talud



Fuente: elaboración propia.

1.5. Experiencia en la implementación del pasto vetiver en otros países

1.5.1. Ecuador

En las riberas del río Los Amarillos, en los sectores de la cabecera cantonal, la parroquia Lorenzo de Garaycoa y El recinto Santo Domingo, en el cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas, se ha planteado la estabilización y prevención de la erosión con la siembra del pasto vetiver.

Se trata de un proyecto social, sin fines de lucro, que busca el bienestar de la comunidad simoneña. Su propósito es prevenir la erosión y estabilizar las riberas del río Los Amarillos que atraviesa a lo largo del cantón e incluso lo

divide en dos tramos: norte y sur. Asimismo, este proyecto persigue contribuir al control de las inundaciones que año a año sufre en invierno la población de Simón Bolívar; con ello se contribuiría, también, a mejorar el nivel de vida de los habitantes del cantón.

El río Los Amarillos tiene una longitud de 42,30 kilómetros, al atravesar el cantón Simón Bolívar lo divide en dos partes: norte y sur. El área de influencia del proyecto en el tramo norte tiene una longitud de 24,5 kilómetros y en el tramo Sur, el área de influencia tiene una longitud de 17,80 kilómetros.

Figura 7. **Uso del vetiver en el río Los Amarillos**



Fuente: PÉREZ, María. *Estabilización y prevención de la erosión*. p. 99.

1.5.2. Venezuela

Venezuela se caracteriza por su variabilidad climática. Según el sistema de clasificación de las formaciones vegetales del mundo del Dr. Leslie R. Holdrige, en este país se han reconocido 22 zonas de vida, cada localidad del

territorio nacional presenta características muy particulares que deben ser tomadas en cuenta a la hora de establecer proyectos de bioingeniería.

Los proyectos de bioingeniería desarrollados en la zona central del país se ubican en dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge: bosque seco premontano y bosque seco tropical.

- Bosque seco premontano
 - Estabilización de áreas de paisajismo de *Mágnun City Club* (Caracas, 1996).
 - Estabilización de taludes en la urbanización La Quinta (Los Teques, Edo. Miranda 2004 – 2006).
- Bosque seco tropical
 - Estabilización de taludes en la urbanización Terrazas de Buenaventura (Guatire, Edo. Miranda 2006).
- Estabilización de taludes en áreas de paisajismo de *Mágnun City Club* (Caracas 1996).
 - Duración del proyecto: 4 meses
 - Superficie: 1,5 hectáreas
 - Relaciones de talud: 1:1

El proyecto se sitúa en un desarrollo recreacional al este de la ciudad de Caracas en áreas de paisajismo. Se utilizó el pasto vetiver como medida de

protección de los taludes contra la erosión, combinándolo con especies ornamentales como capa roja (*Acalipha wilkesiana*) y vedelia (*Weddellia trilobata*). Se establecieron barreras vivas de Vetiver a curvas de nivel distanciadas cada 80 centímetros. El período de siembra para la conformación de barreras fue de aproximadamente 1 mes y la estabilidad del área se logró a partir de los 6 meses.

Figura 8. **Condiciones iniciales del área en 1996**



Fuente: GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver en diferentes localidades de Venezuela*. p. 6.

Figura 9. **Condiciones finales a dos años después de la siembra**



Fuente: GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver en diferentes localidades de Venezuela*. p. 7.

- Estabilización de taludes en la urbanización La Quinta (Los Teques, Edo. Miranda 2004 – 2006)
 - Duración del proyecto: un año y medio
 - Superficie: 3 hectáreas
 - Relaciones de talud: variable desde 0,5:1 hasta 2:1

El uso del vetiver en la estabilización de taludes de la urbanización La Quinta, surge a partir del deslizamiento de un talud adyacente.

A partir de agosto de 2004, se inició con la siembra del pasto vetiver, estableciendo barreras vivas densas cada metro, el material vegetal se manejó a raíz desnuda con cepas de vetiver de 10 centímetros de ancho aproximadamente. Es conveniente mencionar que al vetiver en este proyecto no se le suministro riego debido a las condiciones de humedad de la zona, solo al momento de la siembra.

Figura 10. **Condición inicial del área**



Fuente: GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver en diferentes localidades de Venezuela.* p. 8.

Figura 11. **Condición del área luego de la siembra**



Fuente: GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver en diferentes localidades de Venezuela*. p. 8.

- Estabilización de taludes en la urbanización Terrazas de Buenaventura (Guatire, Edo. Miranda 2006)
 - Duración del proyecto: 8 meses
 - Superficie: 1 hectárea
 - Relaciones de talud: variable de 0,5: 1 hasta 2:1

El área donde se desarrolló este trabajo se caracteriza por presentar suelos franco arcilloso, desprovisto de materia orgánica. Se establecieron barreras vivas del pasto vetiver a curvas de nivel cada metro, se trabajó con macollas a raíz desnuda de 8 centímetros de diámetro, colocadas cada 8 centímetro.

Figura 12. **Vista aérea de la urbanización**



Fuente: GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver en diferentes localidades de Venezuela*. p. 9.

1.5.3. **Colombia**

Colombia posee pisos térmicos que le dan gran variedad de climas, por lo tanto, la implementación de la técnica de estabilización de taludes con el pasto vetiver se hace óptima, pese a esto solo se evidencian pequeñas pinceladas de su aplicación en Colombia.

Figura 13. **Talud en condiciones iniciales**



Fuente: ROMERO, Diego; GALVIZ, Wilson. *Viabilidad de la implementación de fajinas para la estabilización de taludes en Colombia*. p. 58.

Figura 14. **Siembra del pasto vetiver en el talud**



Fuente: ROMERO, Diego; GALVIZ, Wilson. *Viabilidad de la implementación de fajinas para la estabilización de taludes en Colombia*. p. 59.

Entre estas aplicaciones se encuentra el seguimiento hecho por parte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) al proyecto ubicado en la variante de San Francisco – Mocoa.

1.5.4. España

En España se ha utilizado el pasto vetiver para la defensa de márgenes de ríos frente a la erosión como en el tramo del río Tenes, entre el puente de Cal Unyó y la pasarela de la Campinya.

En esta localización, el objetivo principal es la defensa del margen del río Tenes frente a la erosión y la introducción de las especies de ribera propias de la zona.

La utilización del pasto vetiver en este caso se hace para que aumente el recubrimiento inicial de la ribera y para que se impida el lavado del material de la base del talud; al mismo tiempo, que acelere la deposición de finos y mejore las condiciones del margen para su revegetación.

El método utilizado en este caso para instalar la fajina y que no se vea afectada en momentos de crecidas, es realizar un zanjeado con medios mecánicos al pie del talud, para fijar la fajina a profundidad, dejando en la superficie solamente 10 centímetros de los 30 – 40 centímetros de diámetro totales de la misma.

2. REDUCCIÓN DE RIESGO

2.1. Definición de riesgo

El riesgo es el resultado de la combinación entre determinadas amenazas y condiciones de vulnerabilidad; es decir, es la posibilidad de que ocurran daños ambientales, económicos y pérdida de vidas humanas en un determinado lugar, refiere a la dimensión de los daños y las pérdidas que puede ocasionar un fenómeno natural en una región.

La Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres (CONRED) reconoce los siguientes tipos de riesgo:

- **Riesgo a los desastres:** probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas a causa de un desastre (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) como resultado de las interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad a las cuales está expuesta una comunidad.
- **Riesgo aceptable:** nivel de pérdida o daño que una sociedad o comunidad puede considerar tolerable, dadas sus existentes condiciones sociales, económicas, políticas, culturales y ambientales, de las cuales se puede recuperar después de un evento destructor.
- **Riesgo cotidiano o social:** hace referencia a un conjunto de condiciones sociales de vida de la población que, a la vez, constituyen facetas o

características (aunque no exclusivas) de la pobreza, el subdesarrollo y la inseguridad humana, estructural, limitan o ponen en peligro el desarrollo humano sostenible.

- Riesgo Inminente: situación extrema de riesgo cuando la probabilidad de ocurrencia de un desastre es muy alta o está próximo a ocurrir.
- Riesgo primario o estructural: condiciones de riesgo existente en la sociedad en situación de normalidad, producto de los procesos contradictorios de desarrollo y evolución de la sociedad y alimentados y reconfigurados en algún grado por la incidencia de impactos eventuales de fenómenos físicos peligrosos y crisis coyunturales en la economía y sociedad.
- Riesgo secundario o derivado: condiciones específicas de riesgo que surgen de manera más o menos repentina con el impacto de un fenómeno físico peligroso en la sociedad. Estos riesgos se construyen sobre condiciones de riesgo primario y vulnerabilidades existentes previas al impacto; permite hablar de un proceso o continuo de riesgo de desastre. Los riesgos secundarios o derivados, mientras no se resuelven con la respuesta a los desastres, pasan a alimentar los riesgos primarios futuros de forma sincrética.

2.2. Definición de amenaza

Peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socionatural o antropogénico, que puede producir efectos de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se

presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido.

Amenaza es el factor externo de riesgo, representado por la potencial ocurrencia de un fenómeno de origen natural o bien generado por la actividad humana que pueden manifestarse en un lugar específico con una intensidad y duración determinada.

2.2.1. Tipos de amenaza

La Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres (CONRED) reconoce los siguientes tipos de amenaza:

- Amenaza natural: peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres atmosféricos, permitiendo identificar, entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicos, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas.
- Amenaza socionatural: peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales. Las amenazas socionaturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generarán con el cambio climático global son el ejemplo más extremo de

la noción de amenaza socio-natural. Muchos fenómenos que asuman las características de amenazas siconaturales ocurren también por procesos de la naturaleza. En este último caso, entonces, constituyen solo casos de amenaza natural.

- Amenaza antropogénica o antrópica: peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte, consumo de bienes y servicios, y la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes de los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

2.2.2. Clasificación de las amenazas

Las amenazas se clasifican según el grado de intensidad de las zonas afectadas de la siguiente forma:

- Amenaza alta: zonas afectadas con intensidad alta. Áreas a ser consideradas en la planificación territorial como no aptas para la construcción. Las áreas ya edificadas deberían ser protegidas con obras de control y protección o ser desalojadas y reubicadas.
- Amenaza media: zona de afectación con intensidad media, que requieren de una reglamentación y normas.
- Amenaza baja: zona de afectación con intensidad media o baja para un evento de probabilidad muy baja.

- Amenaza residual: zona de afectación con intensidad alta para eventos de probabilidad muy baja.

2.2.3. Evaluación de amenazas

La evaluación de amenazas se realiza a través de inventarios e identificación de fenómenos peligrosos existentes. Esta evaluación es realizada de forma participativa con las municipalidades, los líderes comunales y la población a través de observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.). La finalidad es conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos naturales peligrosos, su duración, magnitud e intensidad así como la frecuencia y probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica; este análisis debe considerar los aspectos de variabilidad climática y cambio climático.

Tiene como resultado la elaboración de un mapa de amenazas que representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

La evaluación de amenazas tiene 4 fases:

- Estimar la intensidad relativa del fenómeno.
- Estimar la probabilidad o frecuencia de ocurrencia del fenómeno o desarrollo posible en el futuro.
- Identificación del nivel de amenaza (alto / medio / bajo).
- Zonificación de las amenazas en función de su nivel.

Figura 15. **Matriz de evaluación de amenazas**

Intensidad	Alta	Alta	Alta	Media	Residual
	Media	Alta	Media	Baja	
	Baja	Media	Baja	Baja	
	Frecuencia TR	Alta 1 - 10	Media 10 - 50	Baja 50 - 200	Muy Baja > 200
	Frecuencia				

Fuente: COSUDE. *Guía para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento*. p. 16.

2.3. Definición de vulnerabilidad

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, políticos, económicos y ambientales que aumentan la predisposición, susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto negativo de un fenómeno físico destructor (producido por amenazas naturales o antrópicas) y a reponerse después de un desastre.

Es la suma de condiciones de una población, infraestructura o sistema ambiental que están en peligro de ser afectados y la insuficiencia o falta de capacitación para protegerse ante los efectos de un desastre.

2.3.1. Evaluación de la vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición, fragilidad (física, social, económica y ambiental) y la predisposición a daños y pérdidas ante una amenaza específica.

Se identifican los factores que benefician o favorecen la reducción de riesgos a desastres y la resiliencia para evaluar la capacidad se aplica automapeo comunitario, talleres y entrevistas. Consiste en la identificación y evaluación de los elementos vulnerables y de los factores de vulnerabilidad.

2.3.2. Factores de vulnerabilidad

- Factores físicos: hace referencia a la ubicación física inadecuada a los asentamientos humanos, a las condiciones técnicas y a los materiales precarios u obsoletos de la vivienda.
- Factores ambientales: son las consecuencias o manifestaciones negativas del medio ambiente y surgen a raíz del aprovechamiento inadecuado e irracional del ser humano sobre los recursos naturales.
- Factores económicos: se refiere a la falta de recursos económicos de las poblaciones, que incide en lo poco o nulo acceso a satisfactores de necesidades básicas.
- Factores sociales: constituyen un papel importante en la conformación de la vulnerabilidad ya que agrupa un conjunto de relaciones, comportamientos, creencias, presencia institucional, formas de organización y maneras de actuar de las personas quienes colocan a las poblaciones en condiciones de mayor exposición ante las amenazas.

2.4. Evaluación del riesgo

Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento.

Es, también, el conjunto de acciones y procedimientos para la identificación de los peligros y análisis de la vulnerabilidad de una población con fines de evaluar los riesgos (probabilidad de daños: pérdidas de vidas humanas e infraestructura); en función de esto recomendar medidas de prevención (medidas estructurales y no estructurales) y/o para reducir los efectos de los desastres.

2.4.1. Estimación del riesgo

Un análisis de riesgo consiste en estimar las pérdidas probables ante la ocurrencia de los diferentes eventos peligrosos posibles. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento.

El análisis de riesgo de los componentes permitirá obtener un mapa de riesgos, en los cuales se tendrán identificados los componentes más vulnerables y críticos, pero también las amenazas a las cuales está expuesto. Los resultados de los análisis de amenazas y vulnerabilidad son la base para efectuar el análisis y estimación del riesgo. Para su elaboración se debe superponer los planos del sistema con los componentes identificados como más vulnerables y los mapas de amenazas para cada una de las amenazas identificadas.

El análisis se representa en mapas utilizando sistemas de información geográfica. En estos se identifican y califican los niveles de riesgos, generalmente: bajo, medio y alto. El análisis de riesgo y su correspondiente escenario de riesgo tiene como propósito estimar el daño esperado de manera cuantitativa o cualitativa. Debe considerar los siguientes aspectos:

- Características del escenario (magnitud e intensidad, hora y duración del evento, probabilidad).
- Caracterización y estimación de las pérdidas esperadas en el sistema.
- Estimación del tamaño y el valor de los daños.
- Integrar en el análisis los escenarios climáticos y sus impactos en el sistema.

2.5. Desastres

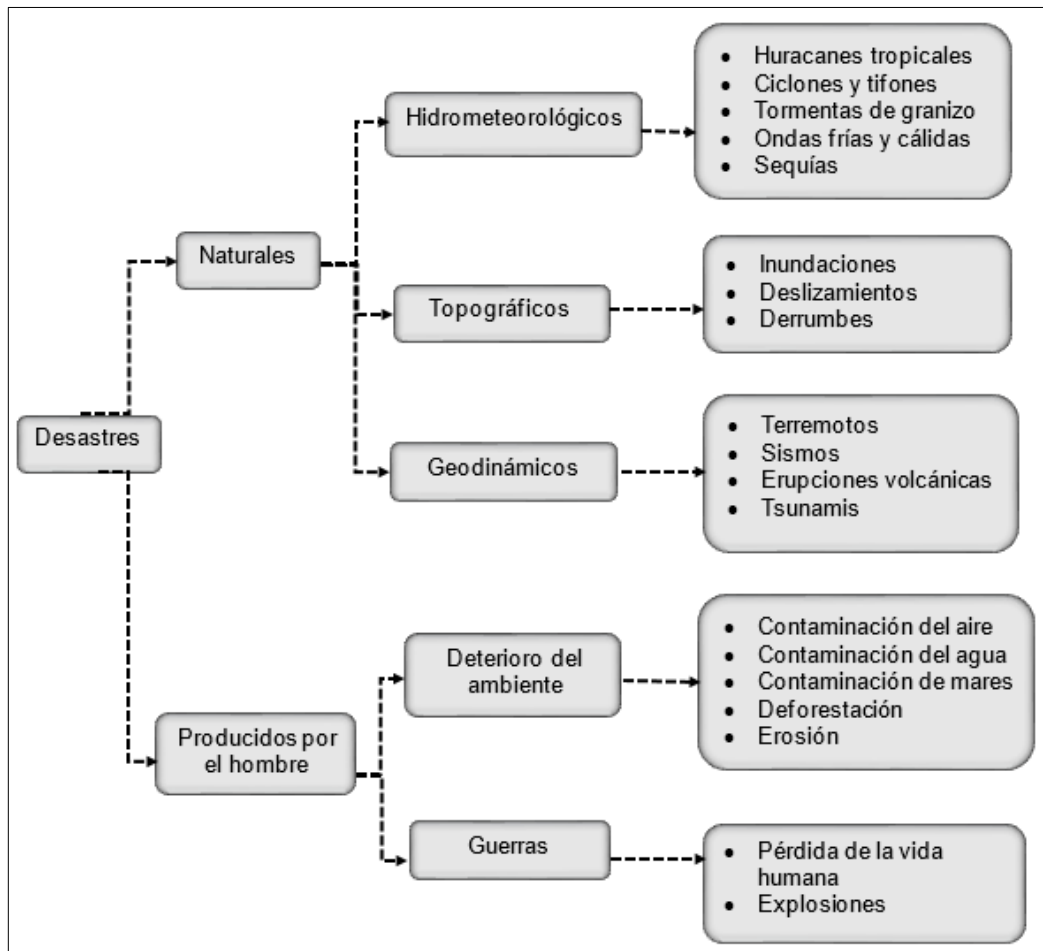
Un desastre es una alteración intensa en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, causadas por un suceso natural o generado por la actividad humana, que excede la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, o bien, la interrupción y alteración severa e intensa que trastorna gravemente el funcionamiento normal de una comunidad o sociedad, provocado por un evento físico potencialmente destructor, de origen natural o antrópico, determinado por condiciones de vulnerabilidad latentes en la sociedad, que puede causar importantes pérdidas de vidas humanas, materiales, económicas, productivas o ambientales que amenaza la forma de subsistencia y desarrollo de un territorio, comunidad, grupos de personas y ecosistemas.

2.5.1. Tipos de desastres

Los tipos de desastres según su origen pueden ser naturales y producidos por el hombre.

- Desastres atmosféricos: lluvias de granizo, huracanes (que son ciclones tropicales migratorios cuyo origen se ubica sobre los océanos). Los ciclones de tipo huracán son vientos circulares que toman mucha velocidad y giran alrededor de un centro de baja presión llamado ojo del huracán.
- Desastres volcánicos: las erupciones volcánicas son consideradas como la descarga de fragmentos, en el aire o en el agua, de lava y gases a través del cráter de un volcán o de las paredes del edificio volcánico. Son la expulsión del magma ardiente, gases y cenizas por el espacio aéreo y terrestre de que circunda al volcán.
- Desastres sísmicos: son vibraciones producidas en la corteza terrestre cuando las rocas que se han ido tensando se rompen de forma súbita y rebotan. Las vibraciones pueden oscilar desde las que apenas son apreciables hasta las que alcanzan carácter catastrófico. En el proceso se generan seis tipos de ondas de choque: dos se clasifican como ondas internas —viajan por el interior de la Tierra, y las otras cuatro son ondas superficiales. Las ondas se diferencian, además, por las formas de movimiento que imprimen a la roca. Las ondas primarias o de compresión (ondas P) hacen oscilar a las partículas desde atrás hacia adelante en la misma dirección donde se propagan; mientras que las ondas secundarias o de cizalla (ondas S) producen vibraciones perpendiculares a su propagación.

Figura 16. Tipos de desastres



Fuente: GALINDO, Daniel. *Evaluación de la vulnerabilidad físico estructural de edificios de uso público en el municipio de Acatenango, Chimaltenango*. p. 20.

- Desastres hidrológicos: se encuentran las inundaciones, un aumento significativo del nivel de agua de un río. La crecida es una inundación perjudicial de los bienes y terrenos usados por el hombre. Sus causas se dan sobre todo cuando llueve y parte del agua es retenida por el suelo, una parte se evapora, otra parte es absorbida por la vegetación y la otra pasa a formar parte del caudal de los ríos; a esto último se le llama

esorrentía. Las cuencas de muchos ríos se inundan periódicamente de manera natural, formando lo que se conoce como llanura de inundación. Las inundaciones fluviales son por lo general consecuencia de una lluvia intensa, con lo que los ríos se desbordan. Se dan, también, inundaciones relámpago en las que el nivel del agua sube y baja con rapidez. Suelen obedecer a una lluvia torrencial sobre un área relativamente pequeña. Las inundaciones no solo dañan la propiedad y amenazan la vida de humanos y animales, también, tienen otros efectos como la erosión del suelo y la sedimentación excesiva.

2.5.2. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de materiales del suelo tales como rocas, tierra y materiales artificiales o bien su combinación que se produce a lo largo de una superficie inclinada, delimitados por una o varias fallas o rupturas. Son desplazamientos de masas de tierra o roca por una pendiente en forma súbita o lenta.

Incluye derrumbes, caídas y flujo de materiales no consolidados. Pueden ser lentos o rápidos y da la impresión de que la tierra es una enorme bola de helado que se va derritiendo y al fundirse se resbala lentamente llevándose todo a su paso. Se pueden activar a causa de:

- Terremotos
- Topografía irregular
- Tipo de rocas y suelo
- Erupciones volcánicas
- Suelos saturados por fuertes lluvias
- Orientación de las fallas en la tierra

- Crecimiento de aguas subterráneas
- Actividad humana
- Socavamiento de los ríos
- Erosión

2.5.2.1. Origen de los deslizamientos

Existen varios factores que contribuyen al desarrollo de este fenómeno:

- Clima: debido a la precipitación pluvial excesiva sobre suelos alterados.
- Topografía: debido a las pendientes pronunciadas y desprovistas de vegetación.
- Geología: aporta parámetros para comprender la inestabilidad en las laderas.
- Litología: según el tipo de suelo y rocas se puede determinar la degradación del suelo.
- Estructuras: determinan zona de debilidad y la correcta colocación de materiales.
- Sismicidad: por las vibraciones provocadas por estos movimientos pueden ser lo suficientemente fuertes para provocar deslizamientos de diferente magnitud.

- Vulcanismo: debido a los sismos volcánicos y deformación del aparato volcánico, asimismo, por la acumulación de material fragmentario que favorece la inestabilidad del suelo.
- Actividad humana: cuando se realiza sin una adecuada planificación, principalmente obras viales, desarrollos urbanísticos, rellenos mal hechos, deforestación, erosión provocada por actividad agrícola.
- Rupturas: son superficies de falla que pueden ser curvas y/o planas y sobre se deslizan los materiales colapsados de una ladera.

2.5.2.2. Efectos de los deslizamientos

Los efectos más importantes de los deslizamientos según Galindo son:

- Ruptura o agrietamiento del suelo.
- Erosión intensa.
- Sepultamiento de infraestructura.
- Pérdida de vidas.
- Derrumbes.
- Represamiento y generación de embalses en cauces fluviales con desarrollo de eventuales avalanchas de lodo y rocas.

3. PASTO VETIVER (VETIVERIA ZIZANIOIDES L.)

3.1. Pasto vetiver

El vetiver es una planta gramínea, perenne, sin tallo, que forma matas o macollas muy densas que engordan y crece sin ser invasivas con otras hierbas; cuenta con una vida útil de más de cien años, de rápido crecimiento y muy resistente a la propagación de plagas, a la contaminación y a la salinidad. No tiene ni desarrolla rizomas o estolones.

Es una especie vegetal que cuando se siembra correctamente, puede formar una sólida cobertura que puede prevenir la erosión, formar terrazas naturales, incrementar el almacenamiento de la humedad del suelo y proteger cultivos vecinos que no compiten con este.

Una vez establecida esta planta puede resistir a sequías e inundaciones; crece en suelos altamente ácidos o alcalinos; puede recuperar vertederos de minas; y puede estabilizar cortes en vías y rellenos, terraplenes de ferrovías y riveras de ríos. Las raíces únicas de esta planta, pueden absorber excesos de nitratos y fosfatos y puede tolerar niveles altos de elementos tóxicos: arsénico, mercurio, aluminio, níquel, hierro, cromo, manganeso y contener su propagación.

3.1.1. Especies y variedades

Existen de 10 a 12 especies de gramíneas comunes y perennes que se encuentran en las regiones tropicales del mundo y que pertenecen a la familia

Gramínea, subfamilia *Panicoindae*; dentro de estas el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ha demostrado ser la ideal para la conservación del suelo y agua, la humedad del suelo y otros usos como en bioremediación, bioingeniería, forrajes, agroforestería, medicinal, artesanía, etc.

De las 10 o 12 especies conocidas de vetiver, solo tres se emplean en sistemas de bioingeniería para conservación de suelos: *Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty, *Chrysopogon nigritana* y *Chrysopogon nemoralis*.

Los principales cultivares estériles de desarrollo rápido son: Vallonia, Monto, Sunshine, Guiyang. Además, estos cultivares se diferencian prácticamente solo en el nombre, pues análisis de ADN han demostrado que no existen diferencias genéticas, todos son del mismo origen.

3.1.2. Características fisiológicas del pasto vetiver

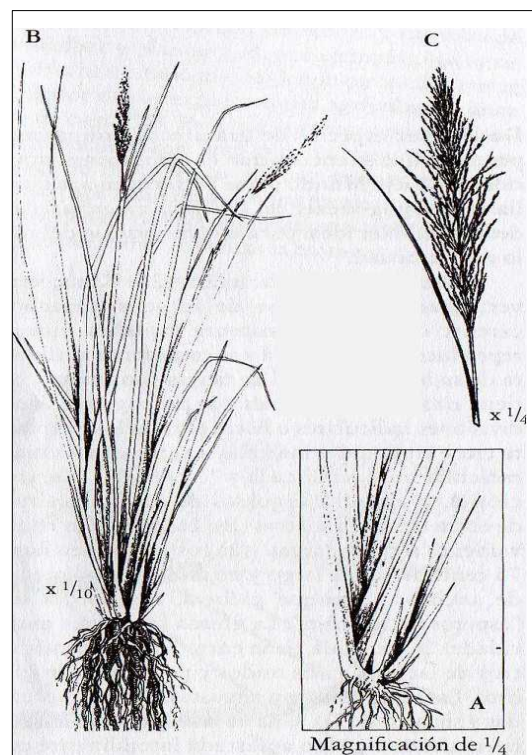
Los aspectos taxonómicos de la especie son: tiene raíces ramificadas y esponjosas que alcanzan hasta tres metros de profundidad. Los tallos erguidos con altura entre 0,5 y 1,5 metros. Las hojas son relativamente rígidas, largas y angostas, un tanto afiladas, de 75 centímetros de largo y hasta 8 milímetros de ancho. Las flores en forma de panícula con 15 y 40 centímetros de largo; los nudos y pedicelos sin vellosidades.

No tiene estolones, tiene rizomas muy cortos (2 -3 milímetros) y un sistema radicular masivo finamente estructurado que puede crecer rápidamente. Posee tallos rígidos y enhiestos que pueden mantenerse firmes hasta en un flujo de agua relativamente profundo. Forma nuevas raíces a partir de nodos cuando está enterrado en contacto con el suelo.

El vetiver es una planta que sobrevive en condiciones adversas donde otras plantas no pueden vivir. Tolerancia prolongadas sequías, incendios, inundaciones, inmersiones y temperaturas extremas de -15 °C a 55 °C. Puede resistir un amplio rango de pH, crece en suelos con acidez de 3 y puede sobrevivir a alcalinidades con un pH alto entre 10,5 a 11.

En la siguiente figura se muestran las principales partes del pasto vetiver: A representa los macollos; B, la unión entre las hojas y las raíces a través de los macollos; C, la panícula donde se desarrolla la inflorescencia, la cual tiene entre 15 a 40 centímetros de largo.

Figura 17. **Partes principales del pasto vetiver**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 4.

3.1.3. Características mecánicas de las raíces del vetiver

El vetiver tiene un masivo y finamente estructurado sistema de raíces. La raíz del pasto vetiver tiene una característica que lo diferencia de otras raíces de pastos y árboles, siendo el poder de penetración. La fuerza innata y vigor de la raíz del vetiver le permite penetrar a través de suelos difíciles o capas de rocas con fracturas; incluso capas asfálticas. Sin rizomas o estolones, las raíces de la planta crecen rectas hacia abajo con una masa tan densa como la cantidad de hojas que produce por encima del suelo. Estas raíces penetran de 3 a 4 metros en el sustrato antes del adelgazamiento.

Tabla I. Resistencia a la tensión de algunas plantas

Nombre botánico	Nombre común	Resistencia a la tensión (Mpa)
Salix sp.	Sauce	9 - 36
Populus sp.	Alamos	5 - 38
Alnus sp.	Alisos	4 - 74
Pseudotsuga sp.	Abeto de Douglas	19 - 71
Hacer sacharinum	Arce plateado	15 - 30
Tsuga heterophylla	Cicuta del oeste	27
Vaccinum sp.	Gaylussacia	16
Hordeum vulgare	Cebada	15 - 31
****	Zacate, hierbas	2 - 20
****	Musgo	0.002 - 0.007
Vetiveria zizanioides	Pasto vetiver	40 - 120

Fuente: PEREZ, Carlos; LIZCANO, Jorge. *Uso del pasto vetiver como una propuesta de bioingeniería en la estabilización de taludes*. p. 69.

El pasto vetiver al tener un masivo y denso sistema radicular ofrece un mayor incremento de resistencia al cortante por unidad de concentración de fibra (6 – 10 kilo pascales por kilogramo de raíz por metro cúbico de suelo).

Si bien la tabla I muestra la resistencia a la tensión que tienen algunas plantas, para este trabajo de graduación no se toman como parámetros de comparación con los resultados obtenidos durante los ensayos realizados, ya que se desconocen las condiciones de trabajo en las cuales se obtuvieron esos esfuerzos tensionantes.

Figura 18. **Raíz del pasto vetiver a los 6 meses**



Fuente: IDVN. *Indonesia red vetiver*. www.eastbalipovertyproject.org/indonesia-vetiver-network/?lang=es. Consulta: 10 de abril de 2016.

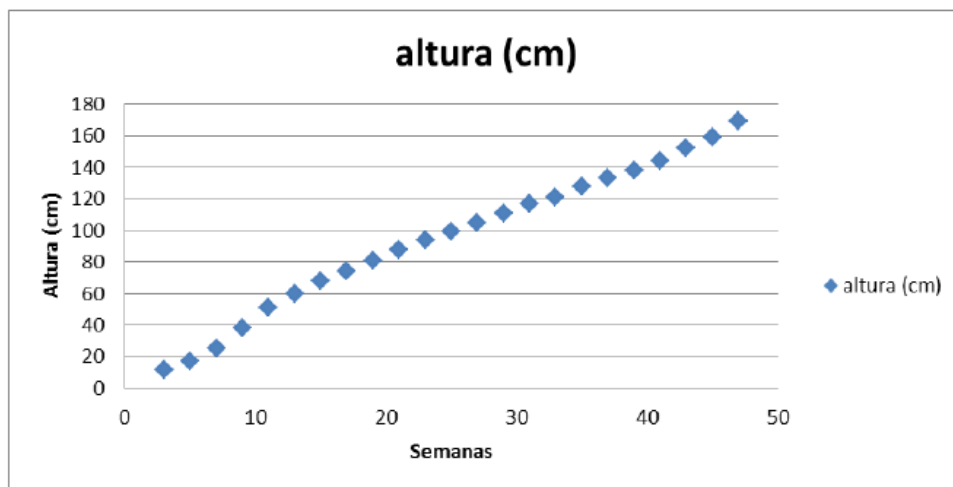
3.1.4. Velocidad de crecimiento

El crecimiento del pasto vetiver generalmente es uniforme y no tiende a estancarse en ningún momento, crece entre 15 a 20 centímetros cada quince días.

El mayor crecimiento de las raíces del pasto se da cuando ha sido desarrollado en condiciones de cuidado óptimas: la estimulación del crecimiento con poda constante, un suelo altamente fértil y condiciones climáticas favorables.

En una siembra realizada en una finca en el municipio La Democracia, Escuintla, Guatemala, se observó un crecimiento de 40 centímetros a las 10 semanas de la siembra; a las 20 semanas la planta había crecido 80 centímetros; a las 30 semanas presentó un crecimiento de 105 centímetros y a las 40 semanas un crecimiento de 140 centímetros.

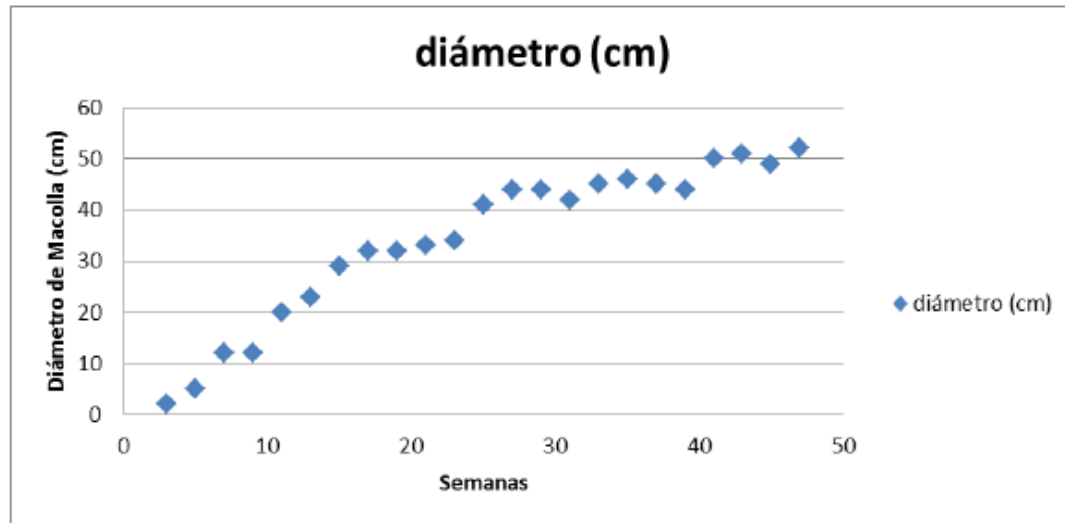
Figura 19. **Crecimiento del pasto vetiver**



Fuente: FLORES, Juan. *Evaluación de tres distanciamientos de siembra en cuatro épocas de corte en vetiver*. p. 49.

Al mismo tiempo, el crecimiento de la macolla del pasto se presenta de forma constante y en aumento a lo largo del tiempo, lo cual se puede analizar en la siguiente figura.

Figura 20. **Crecimiento de la macolla del pasto vetiver**



Fuente: FLORES, Juan. *Evaluación de tres distanciamientos de siembra en cuatro épocas de corte en vetiver*. p. 50.

3.1.5. Usos del pasto vetiver

El pasto vetiver ha sido utilizado por más de 3 000 años como fuente de fragancias y medicinas, para controlar la erosión y conservar los suelos y el agua.

En el siglo XX, el pasto vetiver fue utilizado por agricultores quienes plantaron coberturas del pasto a través de los contornos para detener la erosión en jardines de té y en cañaverales.

Actualmente, la bioingeniería ha dado a conocer el uso de este pasto para la estabilización de taludes en diferentes partes del mundo. Entre los usos más relevantes que se le da a este, se encuentran:

3.1.5.1. Control de la erosión

Existen diversos tipos de erosión, el más perjudicial para todos los terrenos es el tipo laminar que es provocado por las precipitaciones y es el responsable de la pérdida de millones de toneladas de suelo desnudo cada año.

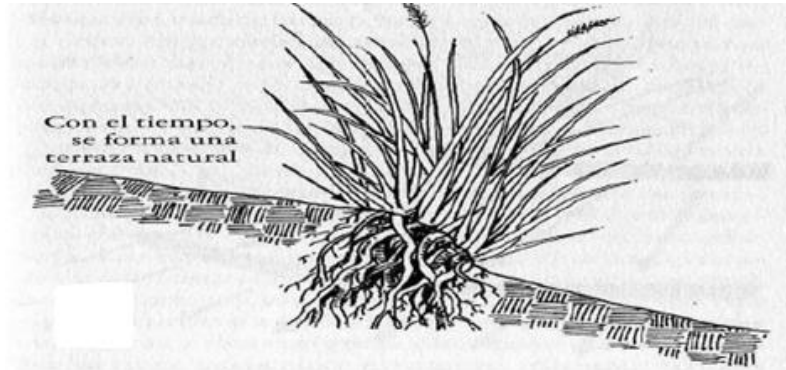
A medida que las gotas de agua de lluvia golpean el suelo, este se desprende en partículas que luego son arrastradas con la escorrentía, es así como el terreno pierde cobertura vegetal y se crean surcos y cárcavas.

En zonas donde no es posible cubrir el terreno forestalmente se opta por barreras vegetales para detener la pérdida del suelo, una de las opciones más utilizadas son las barreras vivas con pasto vetiver, las cuales crean un sistema natural de protección del suelo que a su vez conserva la humedad y evita las pérdidas por erosión.

El sistema masivo de raíces del pasto vetiver hace que el agua escurrida pierda fuerza y deposite los sedimentos de arrastre, generalmente muy fértiles, en las barreras vivas, las hierbas retoñan en los sedimentos y se crean terrazas naturales.

El pasto vetiver, al tener la particularidad de emitir raíces de los nódulos de los tallos, sigue rebrotando, aunque se encuentre en parte cubierto de sedimentos; por lo tanto, mientras más alta sea la capa de sedimentos atrapados, más alta serán también las barreras del vetiver.

Figura 21. **Sistema vegetal de conservación de suelo**



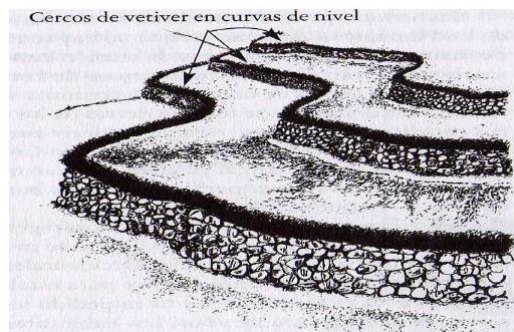
Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 15.

3.1.5.2. **Otros usos**

El sistema del pasto vetiver aparte de ser usado para estabilizar taludes y controlar la erosión, se utiliza en los siguientes casos:

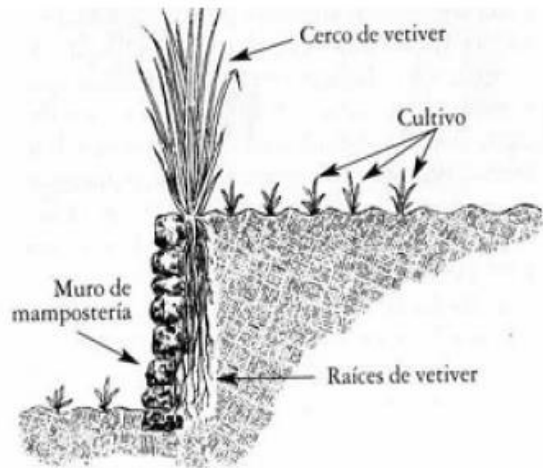
- Protección de las terrazas de mampostería o barreras de rocas

Figura 22. **Protección de terrazas**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 29.

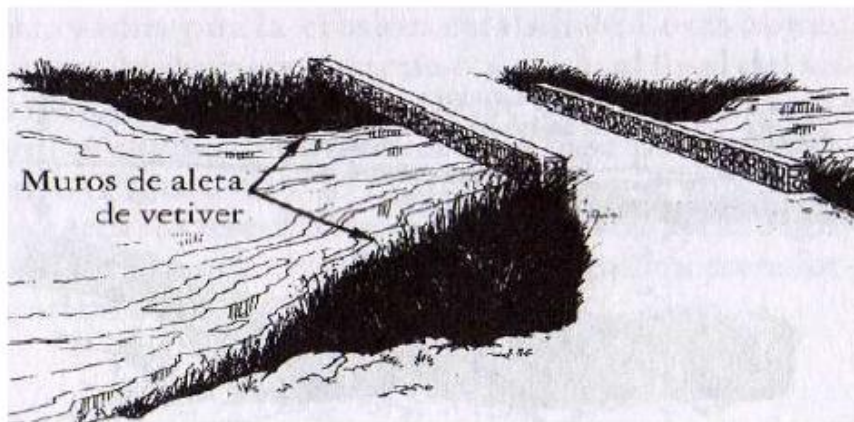
Figura 23. **Funcionamiento del vetiver**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 30.

- Protección de puentes

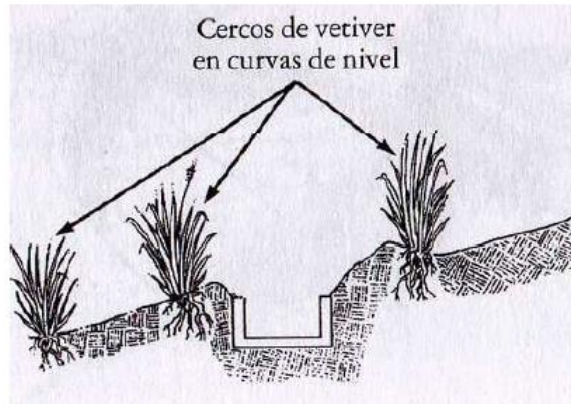
Figura 24. **Colocación del vetiver para protección**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 31.

- Protección de acueductos

Figura 25. **Protección de conducto de concreto**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 32.

- Utilizado en techos para construcciones rurales

Figura 26. **Techos en casas rurales**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 34.

- Para realizar artesanías: con los tallos de floración se fabrican diversos objetos como: sombreros, platos y escobas.
- Para realizar abono orgánico.
- Para bioremediación: se utiliza como biofiltro de aguas residuales, para limpieza de aguas contaminadas en piscinas de oxidación y como repelente de insectos.
- Conservación de diques de defensa de ríos: impide que la erosión devuelva el cauce a los campos.

3.2. Pasto vetiver y la climatología guatemalteca

La República de Guatemala tiene una superficie geográfica de 108 889 km², la cual presenta un relieve diverso y complejo, en donde hay desde altas montañas, pies de montes hasta planicies coluvio-aluviales.

El clima es el producto de la influencia de los factores astronómicos, geográficos, topográficos y meteorológicos. Guatemala se caracteriza por tener 6 regiones climáticas, caracterizadas por el sistema de Thorntwaite.

3.2.1. Regiones climáticas de Guatemala

- Las planicies del norte: comprende la región norte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, Alta Verapaz e Izabal, junto con las planicies de El Petén. Es una región muy lluviosa durante todo el año, con intensidades mayores de junio a octubre, con una oscilación de temperatura entre 20 y 30 °C.

- Franja transversal del norte: comprende la ladera de la sierra de los Cuchumatanes, la cuenca del río Polochic y el norte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, Alta Verapaz. Es una región muy lluviosa, con altos registros entre junio a octubre.
- Meseta y altiplanos: esta región se encuentra entre la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Debido a la variabilidad de elevaciones en esta zona se generan microclimas en los cuales las lluvias no son tan intensas, con los registros pluviales más altos entre mayo a octubre y en el resto del año las lluvias pueden ser deficitarias.
- La bocacosta: comprendida desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa, es una región angosta situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico. Aquí las lluvias alcanzan los niveles más altos del país, junto con la franja transversal del norte, los meses más lluviosos de esta zona se ven comprendidos entre junio y septiembre.
- Planicie costera del Pacífico: esta región se extiende desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa, aquí las lluvias van disminuyendo conforme se llega al litoral marítimo.
- Zona oriental: comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y sectores de los departamentos de El Progreso, Jutiapa, Chiquimula y Jalapa. Esta zona es en donde menos llueve en todo el país, caracterizada por el mayor déficit de lluvia y los más altos valores de temperatura.

3.2.2. El pasto vetiver en la región con condiciones más secas de Guatemala

La región con condiciones más secas de Guatemala comprende un porcentaje muy pequeño del área del país, está esencialmente en el centro del valle del río Motagua, en los departamentos de Zacapa y El Progreso, donde los vientos cargados de humedad que soplan del Caribe son interceptados por la Sierra de las Minas y las montañas vecinas. Esta región se caracteriza porque en algunas partes las lluvias no alcanzan los 500 mm al año y su temperatura varía de 22 °C a 30 °C llegan a alcanzar hasta los 42 °C.

El pasto vetiver al ser xerófita al mismo tiempo que hidrófita, es capaz de soportar sequías extremas, se ha observado que soporta vivir en lugares con niveles de precipitación media anual de 200 mm, por lo que llega a tener una muy buena adaptación en la región más seca de Guatemala en la cual se tiene un mínimo aproximado de 500 mm de precipitación media anual.

3.2.3. El pasto vetiver en la región con condiciones más lluviosas de Guatemala

En las regiones de la bocacosta y la franja transversal del norte se presentan los niveles más altos de lluvias de todo el país, en donde las elevaciones varían entre los 300 a los 1 400 msnm. Los niveles de temperatura en estas regiones descienden conforme aumenta la elevación, variando entre los 18 °C a 30 °C.

Al ser un pasto hidrófita, el vetiver es capaz de vivir en climas con niveles de precipitación muy altos; también, en zonas de inundación, humedales, lagunas y pantanos se ha observado que se adapta correctamente en lugares

con una precipitación media anual hasta de 6 000 milímetros. Como prueba de ello está su utilización en cajas flotantes como cultivo hidropónico para reducir las recargas altas de nutrientes que son tóxicas para los cultivos y para limpieza de aguas residuales.

En Guatemala se tiene registrada la precipitación media anual en las regiones de la bocacosta y la franja transversal del norte, la cual ha alcanzado hasta 5 000 mm, lo que indica que se tiene una alta adaptabilidad para el pasto Vetiver en estas regiones del país.

Figura 27. **Limpieza de aguas residuales con flotadores**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 36.

4. TALUDES

4.1. Definición de talud

- Un talud es cualquier superficie expuesta e inclinada respecto a la horizontal; si la superficie se formó naturalmente se le llama ladera, si se formó de forma artificial o por alguna intervención de ingeniería se le llama corte o terraplén.

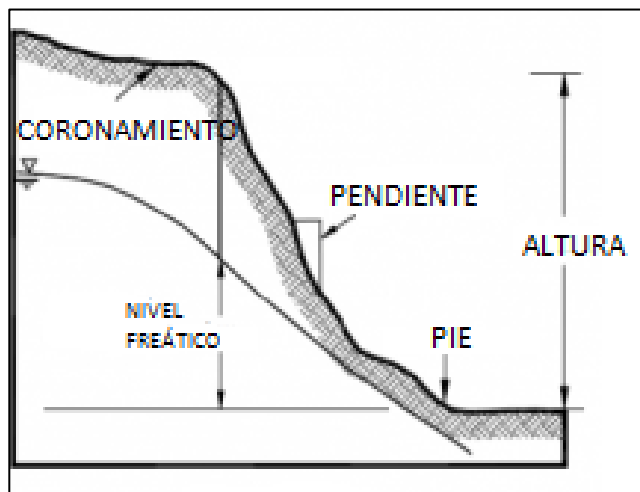
4.2. Clasificación y tipos de talud

- Talud natural: son terrenos inclinados que no han sido intervenidos por el hombre. Su conformación se da como parte de un proceso natural, comúnmente, se les llaman laderas.
- Coluvión: es una masa de materiales sueltos y heterogéneos, estos pueden ser de suelo o de fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento que comúnmente se depositan en las bases de las laderas. Generalmente, consisten en mezclas heterogéneas de suelo y roca que van desde arcillas hasta rocas de varios metros de diámetro, se les localiza a lo largo de las partes bajas de los valles o a la mitad de talud.
- Talud artificial: se da cuando el hombre modifica el estado natural del terreno creando así cortes o terraplenes (rellenos).

4.3. Partes de un talud

- Pie: punto en donde cambian bruscamente las pendientes en la parte inferior del talud.
- Coronamiento: punto en donde cambian bruscamente las pendientes en la parte superior del talud.
- Altura: distancia vertical entre el pie y coronamiento del talud, esta distancia es fácilmente observable en taludes artificiales.
- Pendiente: es la inclinación del talud o ladera, se puede expresar en grados, porcentajes o como una relación entre la distancia horizontal y vertical.

Figura 28. Partes de un talud



Fuente: elaboración propia.

4.4. Ángulo de reposo

El ángulo de reposo es el ángulo máximo con que un montículo de suelo se mantiene estable sin que se produzca una falla por deslizamiento. Este se ve determinado por la fricción y cohesión del suelo, también, por el tamaño de sus partículas.

Al verter material granular lentamente sobre una superficie horizontal, fluye formando un montículo en que la superficie libre va fallando hasta que el proceso se detiene y se forma una pendiente estable, así el ángulo de reposo corresponde al ángulo formado entre la superficie inclinada del montículo y la base. El talud tendrá una inclinación media aproximadamente igual al ángulo de reposo que tendría si el material se vertiera directamente.

4.4.1. Talus

Un talus es la representación del coluvión, se define como talus a los fragmentos de roca de cualquier tamaño o forma, derivados y apoyados sobre la base de laderas de pendiente muy alta, los cuales forman un depósito en forma de cono, con una base ancha y un ápice, al ángulo máximo que forma el talus se le conoce como ángulo de reposo. Generalmente, estos ángulos varían entre 34 y 37 grados, pero en ocasiones pueden alcanzar valores mayores a 45 grados.

4.4.2. Métodos para la medición del ángulo de reposo

Los métodos utilizados para medir el ángulo de reposo sirven para estimar los valores máximos de inclinación de las masas de suelo, tanto para taludes como para muros de tierra, lo que repercute en la seguridad y costo de los

proyectos de vías terrestres; actualmente, se conocen varios métodos para determinar el ángulo de reposo de suelos granulares; entre los cuales están los siguientes:

- ASTM C1444-00 Método de prueba estándar para medir el ángulo de reposo en suelos granulares por flujo libre.

Este ensayo consiste en vaciar la muestra de suelo en una superficie de papel a través de un embudo, el cual puede tener un diámetro mínimo de 0,25 pulgadas y un máximo de 0,38 pulgadas, desde una altura de 1,5 pulgadas. El material se debe vaciar por el embudo continuamente para mantener un flujo constante; finalmente, se mide el diámetro de la base del montículo y se repite la operación dos veces más para obtener un promedio. El ángulo de reposo se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{2H}{D - d} \right]$$

Donde:

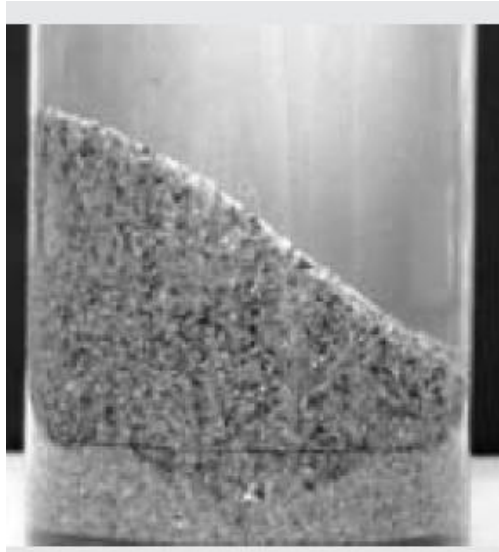
- Φ : ángulo de reposo
- H: altura entre la superficie de papel y el punto de descarga
- D: promedio de diámetros
- D: diámetro interno de la salida del embudo

- Método del cilindro de Santamarina & Cho

Santamarina & Cho proponen dos métodos para calcular el ángulo de reposo de un material granular. El primero consiste en llenar un cilindro

transparente con un litro de agua y suelo. Este cilindro se inclina en aproximadamente 60° y luego se vuelve a su posición original para medir el ángulo de reposo correspondiente a la pendiente formada por el material. En el caso de que exista segregación de las partículas de suelo en presencia de agua, los autores recomiendan realizar este ensayo en seco.

Figura 29. **Método del cilindro de Santamarina & Cho**



Fuente: SOLAQUE, Diana; LIZCANO Arcesio. *Ángulo de fricción crítico y ángulo de reposo de la arena del Guamo*. p. 6.

- **Método del cilindro de Train**

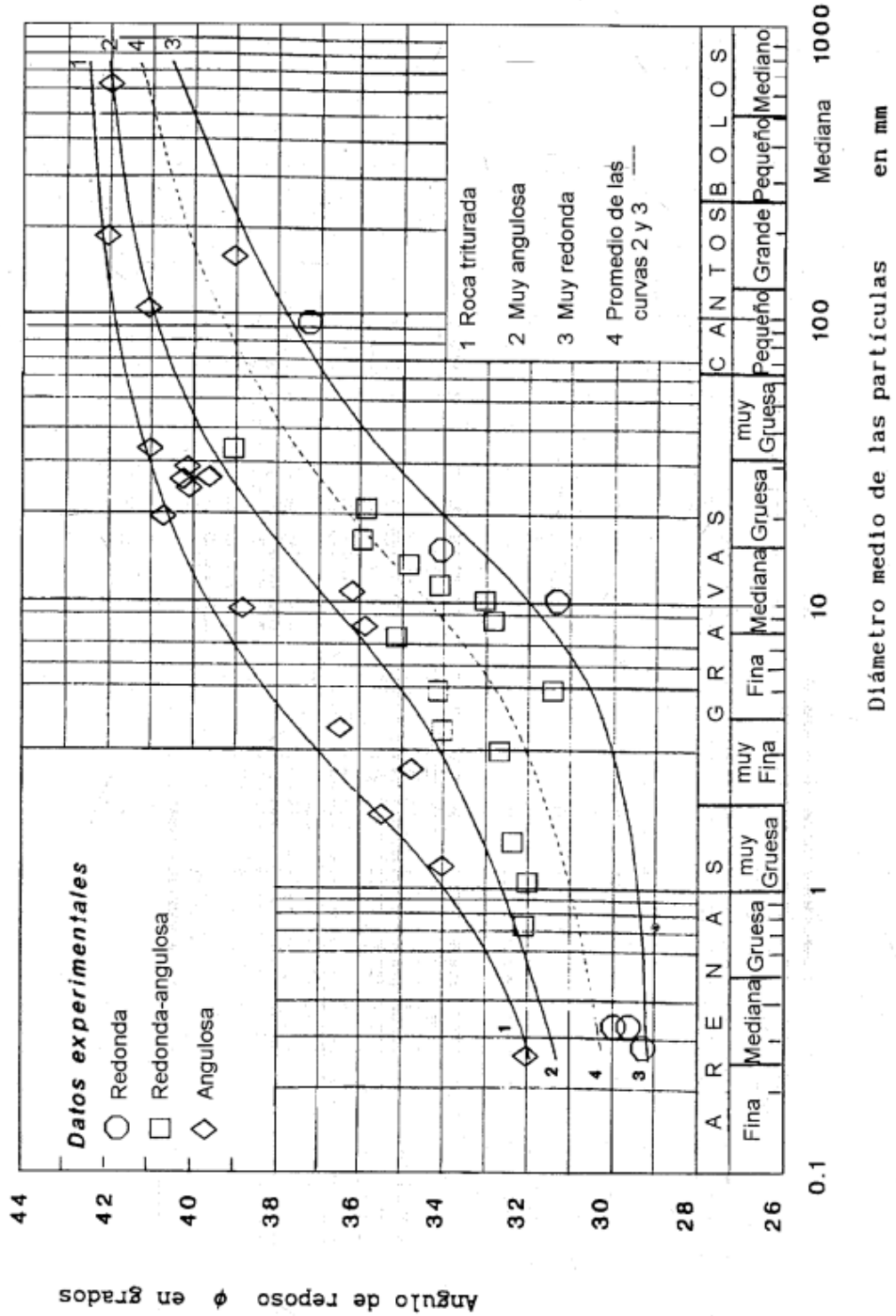
Se deposita el material dentro del cilindro de 9,17 cm de diámetro, se tapa y luego se rota horizontalmente sobre una superficie plana. Cuando el cilindro está rotando lentamente se observa que el material toma primero un ángulo de reposo; luego, se presenta una avalancha o falla en el talud y este ángulo decrece.

Es decir, al rotar lentamente el cilindro el talud que se forma al inicio no cambia dentro del cilindro, pero con respecto a la horizontal este ángulo se va incrementando. Luego, si se sigue rotando el cilindro llega un punto en el que el talud formado dentro del cilindro falla y se forma un nuevo talud con un ángulo menor.

4.4.3. Ángulo de reposo para distintos tipos de suelo

Simons y Albertson determinaron por mediciones directas los valores del ángulo de reposo de distintos materiales y elaboraron curvas de diseño mostradas, las cuales permiten obtener el ángulo de reposo de suelos no cohesivos, secos o saturados, con partículas de diámetro medio mayor que 0,1 mm y varios grados de redondez.

Figura 30. Ángulo de reposo para distintos suelos



Fuente: SOTELO, Gilberto. *Hidráulica de canales*. p. 732.

En la siguiente tabla se presentan algunos valores del ángulo de reposo para suelos de tamaño menor de 5 mm.

Tabla II. **Ángulo de reposo en suelos granulares**

Suelo	Seco	Húmedo
Turba	60° a 75°	60° a 75°
Arcilla dura	40° a 50°	20° a 25°
Limo arcilloso	40° a 45°	20° a 28°
Limo arenoso	25° a 30°	15° a 25°
Arena	30° a 35°	15° a 25°

Fuente: SOTELO, Gilberto. *Hidráulica de canales*. p. 733.

4.5. Fallas de un talud

Cuando la superficie del terreno no es horizontal, la componente de la gravedad ocasiona que el suelo se mueva hacia abajo; si dicho componente es lo suficientemente grande ocurre una falla del talud, es decir, una masa de suelo se desliza hacia abajo.

4.5.1. Causas de falla de un talud

Un talud puede fallar por razones naturales o provocadas por el hombre, entre las principales causas que inducen a la falla en un talud se encuentran:

- Por deslizamiento a lo largo de los planos de estratificación, se da como resultado del efecto lubricante del agua que escurre por dichos planos.
- Por disgregación ocasionada por el agrietamiento que se produce al secarse las arcillas suaves.

- Por la acción de empuje que se produce al sufrir expansión los estratos margosos y arcillas que se saturan de agua.
- Por desplazamiento de los suelos que se encuentran debajo del pie de los taludes.
- Por la presencia de corrientes ascendentes de agua que originan la condición de suelo movedizo.
- Por derrumbe de masas fragmentadas, ya sea por efecto de la gravedad, o bien por la fuerza expansiva de las arcillas y margas,

4.5.2. Etapas de falla

Existen cuatro etapas en el movimiento vertical de una masa de suelo de un talud, es decir, cuando ocurre una falla; son las siguientes:

- Etapa de deterioro o antes de la falla, en la cual el suelo se encuentra intacto.
- Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o movimiento de material en una cantidad importante.
- Etapa posfalla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- Etapa de posible reactivación, en la cual pueden ocurrir movimientos que se pueden considerar nuevamente una falla.

4.5.3. Factores internos que influyen en la falla

Los factores internos que influyen en una falla se ven representados muchas veces como procesos antrópicos o bien relacionados a la microestructura de los materiales:

- Excavaciones o cortes que modifican la topografía original del terreno.
- Excavación de túneles, las cuales afectan la estructura y las condiciones de esfuerzos en el suelo.
- Depósitos de materiales sobre el talud, disposición de residuos u otros.
- La irrigación, la cual facilita la infiltración y los cambios de presión de poro y de humedad en el suelo.
- Expansión y contracción de suelos arcillosos, lo cual produce cambios de volumen por cambios de humedad asociados con el potencial de succión del material.
- Fugas de agua de las redes de servicios de poblaciones cercanas al talud.

4.5.4. Factores externos que influyen en la falla

Entre los factores externos que se ven representados como detonantes de falla en un talud se encuentran procesos geomorfológicos y físicos como los siguientes:

- La dinámica tectónica del lugar: produce esfuerzos e induce a deformaciones.
- La erosión del talud genera cambios topográficos a largo plazo.
- La lluvia: es el principal elemento que produce modificaciones en la humedad y presión de poros, afectando así la resistencia del suelo.
- Las inundaciones: producen saturación repentina, mayores presiones de poro y erosión.
- Los sismos: pueden producir fracturación y aumento de presión de poro y por ende disminuir la resistencia del suelo, licuación y generar fuerzas dinámicas sobre las masas de suelo.
- Las erupciones volcánicas: generan cambios de temperatura y disposiciones de material sobre el talud, al mismo tiempo que se da un efecto vibratorio.

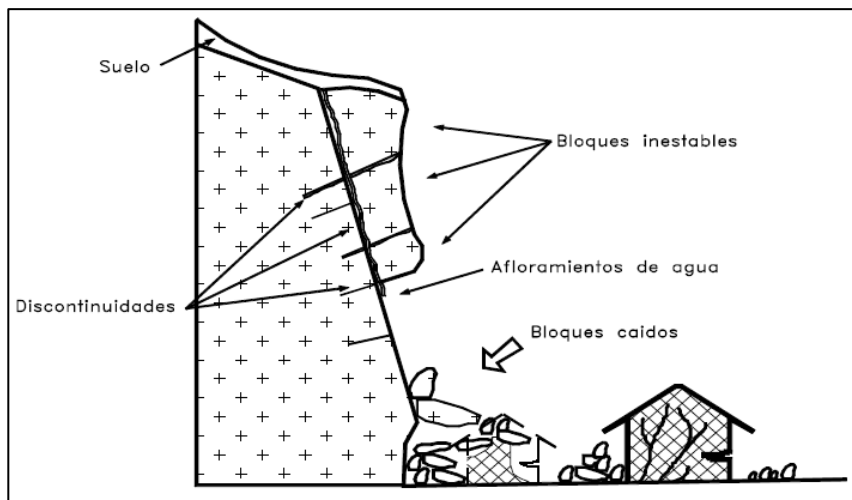
4.5.5. Formas de falla

El sistema propuesto por Varnes trata sobre la clasificación de los movimientos en masa que se dan al momento de una falla en un talud, dicho sistema presenta los siguientes tipos de movimiento:

- Caído: se da cuando una masa de suelo se desprende de un talud de pendiente muy pronunciada, en este tipo de movimiento ocurre poco o ningún desplazamiento de corte y la masa desciende a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

El movimiento tiende a ser muy rápido; diversas observaciones han demostrado que superficies con pendientes mayores a 75 grados son más propensas a que este tipo de movimiento se de en caída libre; cuando las pendientes son menores se da este tipo de movimiento en rebote y en los taludes con pendientes menores a 45 grados el material tiende a rodar a lo largo de la superficie descendente.

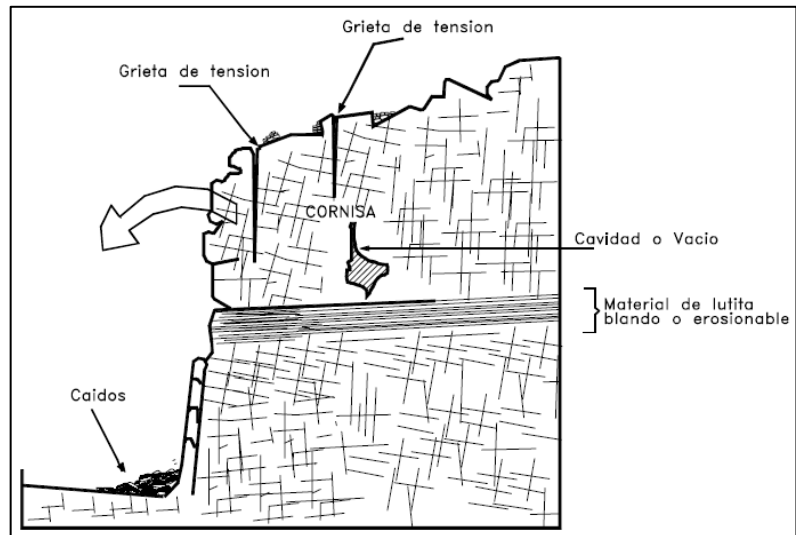
Figura 31. **Caídas de suelo por gravedad**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 12.

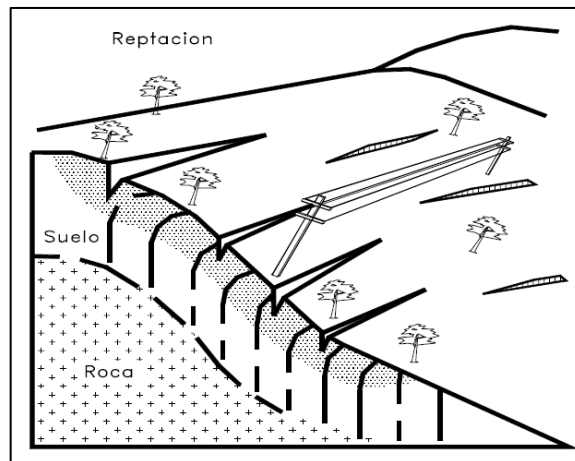
- **Inclinación o volteo:** este tipo de movimiento consiste en que una masa de suelo rota hacia adelante con un centro de giro por debajo del su centro de gravedad, se da principalmente en formaciones rocosas. Las fuerzas que generalmente lo producen son el agua en grietas o juntas, expansiones y movimientos sísmicos.

Figura 32. **Inclinación o volteo de material**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 14.

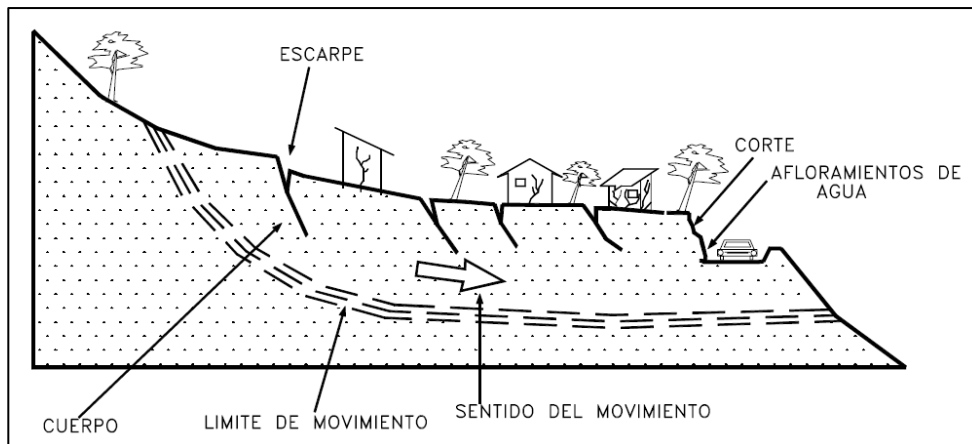
Figura 33. **Inclinación o volteo de material**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 15.

- Reptación: consiste en movimientos muy lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. El movimiento generalmente es de pocos centímetros al año y tiende a afectar áreas grandes del terreno. Su causa principal es la alteración climática que se relaciona con los procesos de humedecimiento y secado de suelos blandos o alterados.
- Deslizamiento: este movimiento consiste en un desplazamiento de corte lo largo de una o varias superficies que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada.

Figura 34. **Deslizamiento de suelos blandos**



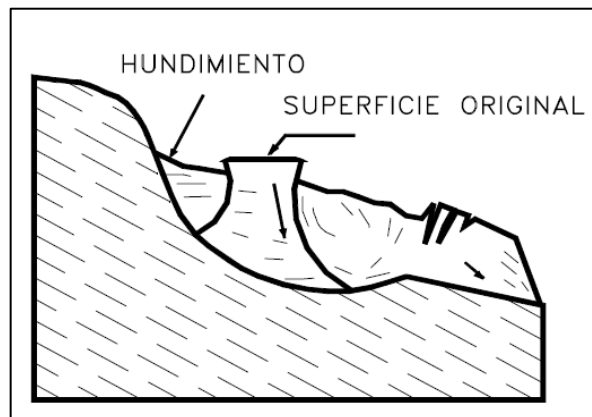
Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 16.

El movimiento puede darse progresivamente en una sola masa de suelo o estar compuesto por varias unidades de masa semindependientes. Este tipo de movimiento se da ya sea por procesos naturales o por desestabilización de masas de tierra por efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. Este tipo de movimiento se divide en dos tipos de deslizamientos, los cuales se diferencian

principalmente por la aplicabilidad de sistemas de estabilización para cada uno; a continuación se describen ambos tipos de deslizamiento:

- Deslizamiento rotacional: en este tipo de movimiento la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. La masa de suelo posee agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.
- El movimiento tiende a producir un área superior de hundimiento y una inferior de deslizamiento, generándose así flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. Este tipo de movimiento ocurre en suelos homogéneos, de origen natural o artificial.

Figura 35. **Deslizamiento rotacional típico**



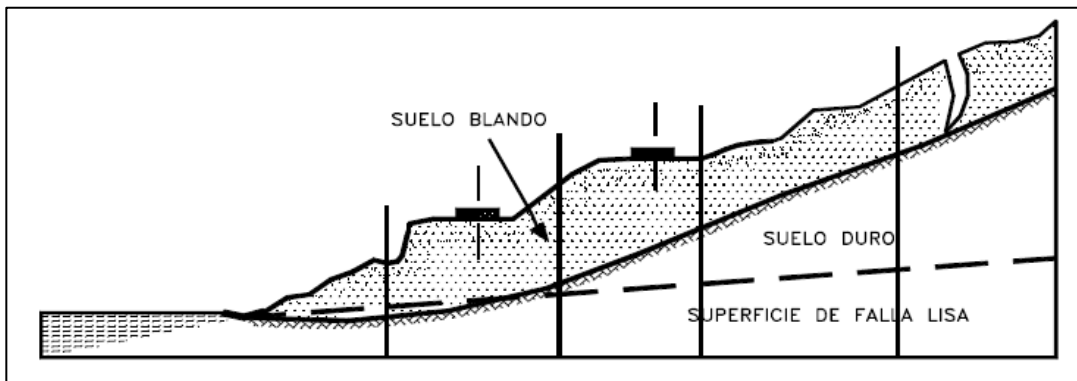
Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 17.

- Deslizamiento de traslación: en este movimiento la masa de suelo se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie

ligeramente ondulada y tiene muy poca rotación. Los movimientos de traslación comúnmente son controlados por superficies de debilidad: fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, etc.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos en bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se les llama deslizamiento en cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se les llama falla en escalera.

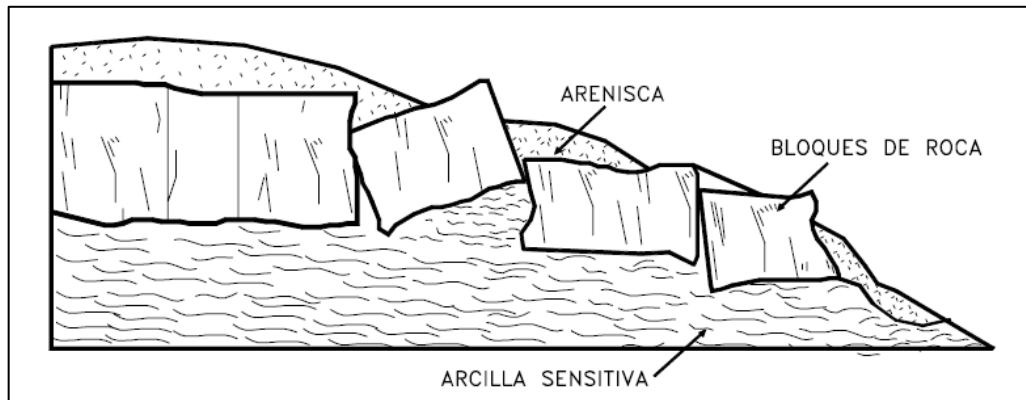
Figura 36. **Deslizamiento de traslación**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 19.

- **Esparcimiento lateral:** este movimiento se caracteriza por ser una extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. Su mecanismo de falla puede incluir elementos en rotación, traslación y flujo. La falla de este tipo es generalmente progresiva, es decir, inicia en un área local y se extiende.

Figura 37. **Esparcimiento lateral típico**

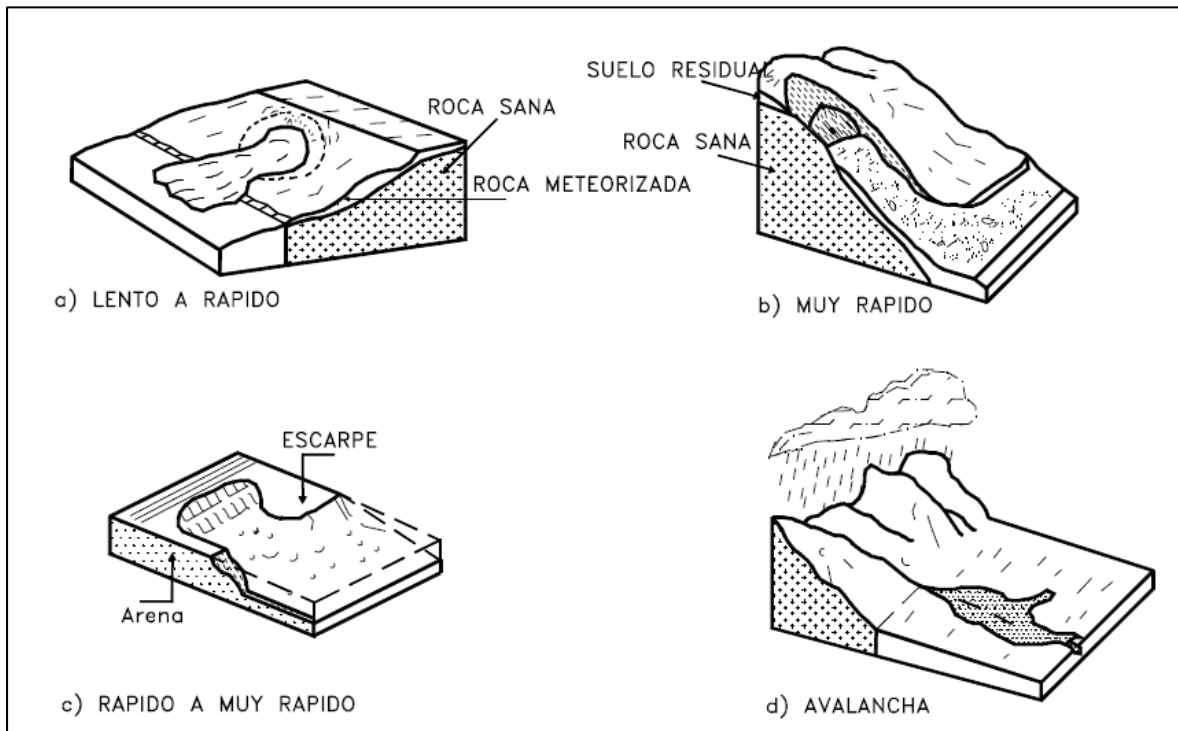


Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 19.

- Flujo: en este tipo existen movimientos relativos de partículas o masas pequeñas dentro de un bloque que se mueve sobre una superficie de falla, estos flujos pueden ser lentos o rápidos y tener distintos niveles de humedad. Existen los siguiente tipos de flujo:
 - Flujo de roca: comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas, ocurre con gran frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación. Las rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas son más propensas a este tipo de flujo que puede ser precedido por fenómenos de inclinación.
 - Flujo de residuos: es la terminación de un flujo de rocas. Los materiales se trituran en el proceso del flujo y se puede ver la diferencia de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.
 - Flujo de suelo: ocurren en zonas de alta montaña y desérticas.

- Flujos de lodo: en estos los materiales de suelo son muy finos y tiene humedades muy altas.

Figura 38. **Flujos a diferentes velocidades**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 22.

- Avalanchas: falla progresiva rápida con flujo descendente que forma ríos de roca y suelo. Este tipo de movimiento se relaciona con lluvias intensas, deshielo o movimientos sísmicos.

Figura 39. **Avalancha y residuos depositados posteriormente**



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 23.

4.6. Estabilidad de taludes

Cuando un ingeniero civil realiza cálculos para verificar la seguridad de taludes naturales, taludes que han sido resultado de excavaciones o terraplenes, se ha efectuado un análisis de estabilidad de dichos taludes. Este análisis implica determinar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla y compararlo con la resistencia cortante del suelo.

4.6.1. Factores de seguridad

Utilizando cualquier sistema de análisis de estabilidad de taludes se asume el criterio de equilibrio límite, por medio del cual el tratamiento de la estabilidad da como resultado un factor de seguridad (FS). Este factor sirve para conocer el grado de amenaza probable para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

Para estimar el factor de seguridad se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Las consecuencias del problema para el cual se está aplicando el factor de seguridad.
- La confiabilidad de los parámetros implicados.
- El aspecto económico del problema.

4.6.2. Análisis para taludes infinitos

Un talud infinito es aquel en donde el material inestable es una capa de espesor constante y muy pequeño respecto a la altura del talud. En ese tipo de taludes la superficie de deslizamiento es paralela al talud.

La inestabilidad de este tipo de taludes se presenta cuando el material es muy poco o nada cohesivo, o bien en materiales cohesivos en los que el suelo descansa sobre una base de material más resistente, a escasa profundidad y paralela al talud.

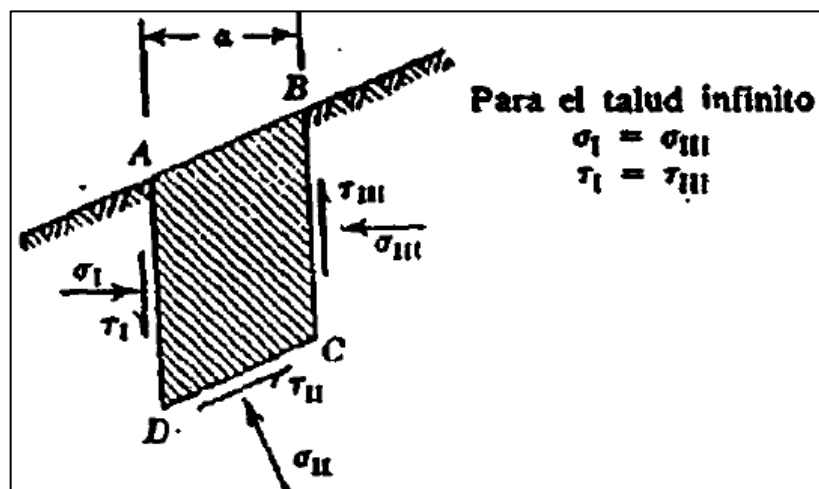
Los métodos de análisis de taludes infinitos son válidos cuando se supone que el terreno es homogéneo, es decir, su cohesión, ángulo de rozamiento y densidad son constantes a lo largo de todo el talud.

Para analizar la estabilidad de un talud infinito se impone la condición de que las tensiones sobre cualquier cara del elemento sean independientes de su posición a lo largo del talud, lo que implica que los esfuerzos sobre las caras laterales sean iguales y contrarios por lo que pueden no considerarse en el equilibrio de fuerzas del elemento.

La estabilidad de un talud infinito se puede analizar para tres casos:

- Talud seco
- Talud sumergido
- Talud con flujo de agua paralelo al mismo

Figura 40. Esfuerzos sobre un elemento de suelo



Fuente: IGME. *Manual de taludes*. p. 200.

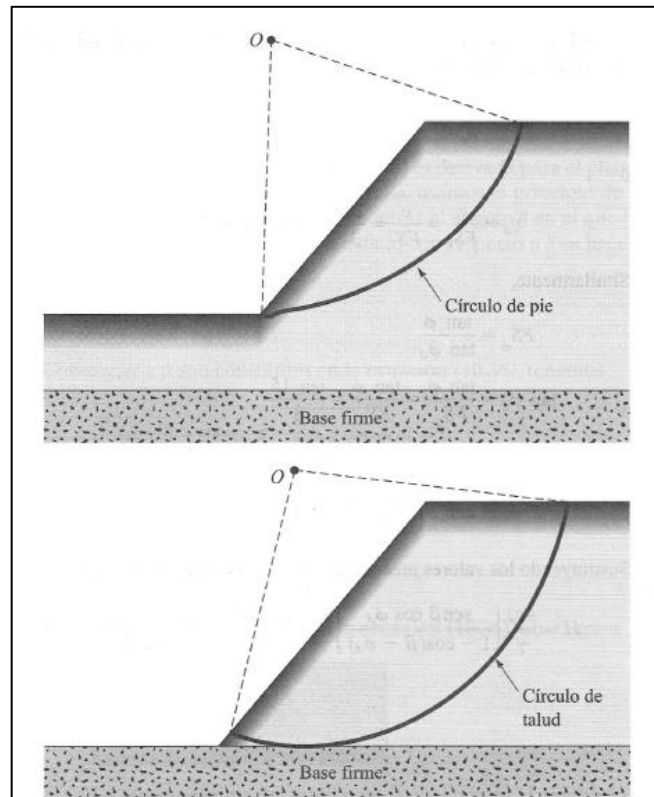
4.6.3. Análisis para taludes finitos

Un talud finito representa el estado más general, en donde debe considerarse la estática de la totalidad de la masa que falla. Estos taludes son los hechos por el hombre, resultado de un corte para carretera o un terraplén.

Para realizar el análisis de estabilidad de un talud finito se consideran dos tipos de superficie de falla circularmente cilíndricas, las cuales ocurren de los siguientes modos:

- Cuando la falla ocurre de manera que la superficie de deslizamiento interseca al talud en, o arriba de, su pie, es llamada una falla de talud. Al círculo de falla se le llama círculo de pie si éste pasa por el pie del talud y círculo de talud si pasa arriba de la punta del talud.

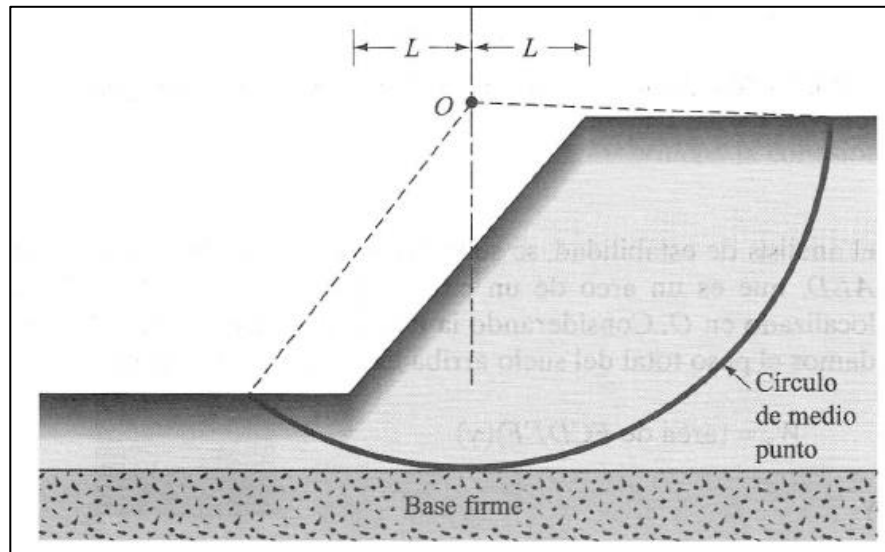
Figura 41. **Modos de falla de un talud finito**



Fuente: BRAJA, Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 352.

- Cuando la falla ocurre de tal manera que la superficie de deslizamiento pasa a alguna distancia debajo del pie del talud, se llama falla de base. El círculo de falla en el caso de una falla de base se llama círculo de medio punto.

Figura 42. **Falla de base en un talud**



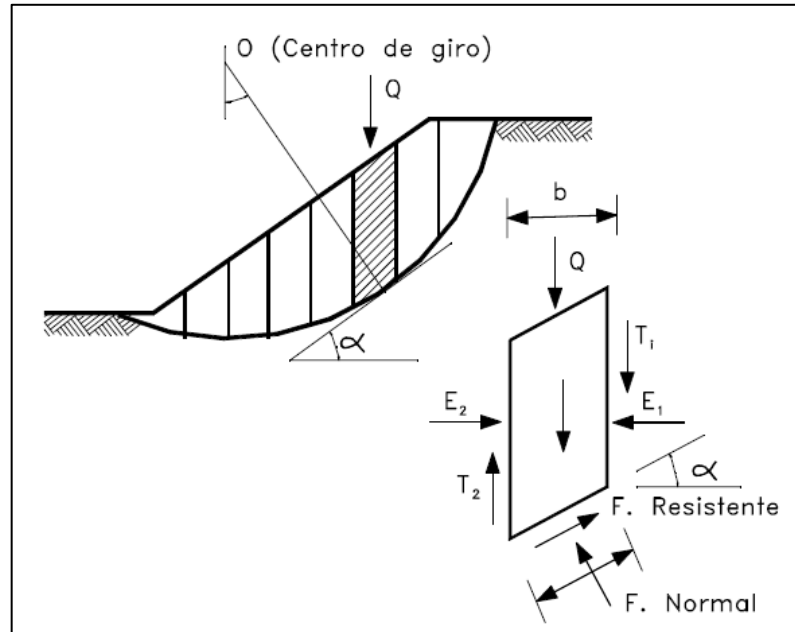
Fuente: BRAJA, Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 353.

4.6.3.1. **Método Fellenius**

Conocido también como método sueco o método de las Dovelas. Este método asume superficies de falla circulares; divide el área de falla en tajadas verticales; obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el factor de seguridad. Las fuerzas que actúan sobre una dovela y son consideradas por el método Fellenius son:

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

Figura 43. Fuerzas que actúan sobre una dovela



Fuente: SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. p. 131.

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

$$FS = \frac{\Sigma(C' b \sec\alpha + (W \cos\alpha - ub \sec\alpha) \tan\phi)}{\Sigma W \sin\alpha}$$

Donde:

- α : ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.
- W : peso total de cada tajada.
- u : presión de poro.
- b : ancho de tajada.

- C', ϕ : parámetros de resistencia del suelo.

4.6.3.2. Método Bishop

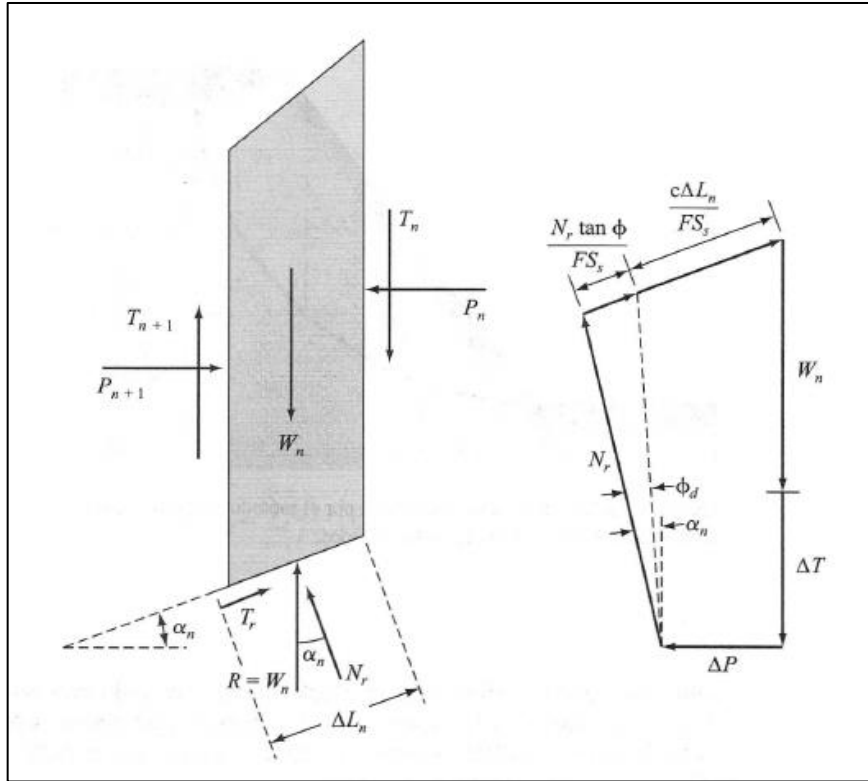
Bishop en 1955 presentó un método utilizando dovelas y agregándole el efecto de las fuerzas de presión de tierras y cortante entre las paredes de las dovelas. Comúnmente, se utiliza la versión simplificada de este método para hallar el factor de seguridad, que corresponde a la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\Sigma(C' + (W - ub) \frac{\tan\phi}{ma})}{\Sigma W \operatorname{sen}\alpha}$$

Donde:

- $ma: \cos\alpha \left(1 + \frac{\tan\alpha \tan\phi}{F.S.}\right)$
- α : ángulo del radio del círculo de falla con la vertical de cada dovela
- W : peso total de cada dovela
- u : presión de poro en la base de cada dovela
- b : ancho de la dovela
- C', ϕ : parámetros de resistencia del suelo

Figura 44. Fuerzas que actúan sobre una dovela por el método simplificado de Bishop



Fuente: BRAJA, Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 372.

4.6.3.3. Método de rebanadas

Este método evalúa un talud homogéneo utilizando superficies de falla circulares. La masa potencial de falla se divide en rebanadas y su factor de seguridad se computa asumiendo que no hay fuerzas entre tajadas, su expresión está dada como una ecuación lineal:

$$FS = \frac{\Sigma(C * L) + \Sigma(N * Tan\phi)}{\Sigma W sen\alpha}$$

Donde:

- α : ángulo de inclinación base de la rebanada
- W : peso total de cada rebanada
- L : longitud en la base de la rebanada
- C, ϕ : parámetros de resistencia del suelo
- $N = W * \cos \alpha$

5. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE ECOLÓGICO LAS ARDILLAS

5.1. Reseña histórica

La Universidad de San Carlos de Guatemala empezó a funcionar en un conjunto de edificios dispersos por los principales subcentros de la ciudad de Guatemala. Luego, se concibió la sede metropolitana concentrada en un solo lugar: la Ciudad Universitaria zona 12, de la actualidad.

Durante los períodos rectorales posteriores a 1944 se da inicio a la planificación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual se resume en la tabla III.

El parque ecológico Las Ardillas forma parte del territorio de esta casa de estudios, dentro pasa un río de aguas servidas, que ha dividido el área en dos principales taludes, uno del lado de la USAC y otro del lado de las distintas colonias aledañas.

En época lluviosa, el cauce del río llega a cubrir en su totalidad el ancho del barranco, lo que ha socavado las partes bajas de los taludes y creando desprendimientos de masas de suelo constituyentes; estos desprendimientos de suelo han generado un peligro latente en las áreas cercanas a las orillas de las laderas, por lo tanto, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) declaró en el informe *evaluación de seguimiento y susceptibilidad* como zona de riesgo a todos los terrenos ubicados en este sector, como de ellos es el edificio de la Escuela Regional de Ingeniería

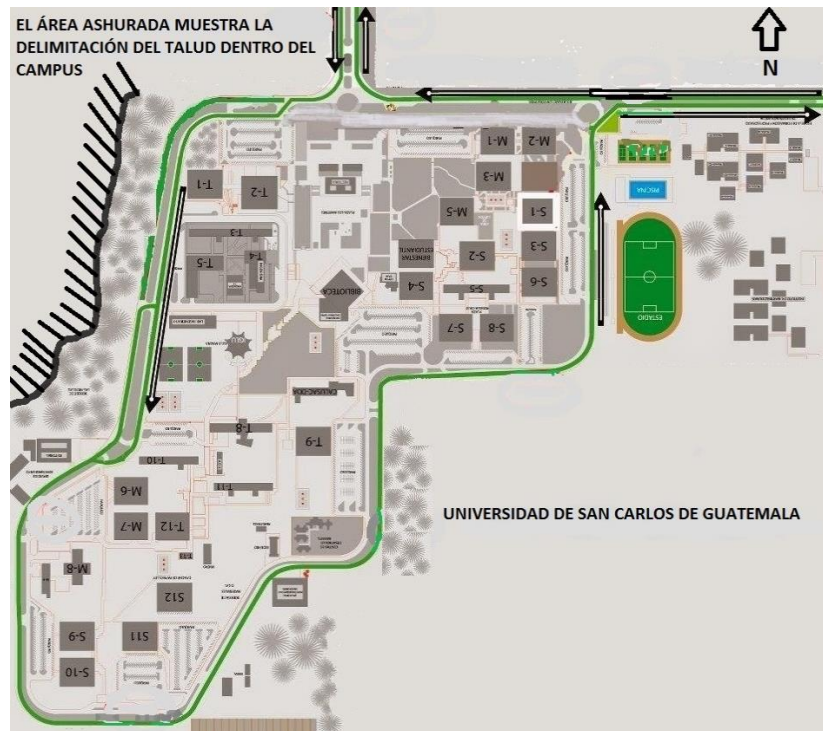
Sanitaria, las áreas de prefabricados y Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería y la Editorial Universitaria.

Tabla III. **Construcción Ciudad Universitaria**

Fecha	Trabajos realizados
1945 - 1950	Trabajos preliminares de urbanización, construcción calle de entrada y paralela a la avenida Petapa, movimientos de tierra, trabajos de nivelación, drenajes, pozos de inspección y salida de colector municipal.
1950 - 1954	Se realiza un relleno que dividía el terreno en dos partes; en el sector cercano a la avenida Petapa se planifica el área deportiva y se construyen las canchas; se
1954 - 1958	construye un único edificio de agronomía; se planifica y ejecuta la Facultad de Ingeniería, inicio de construcción de IGLU; planificación de la Facultad de Odontología.
1958 - 1962	Inicio de las instalaciones para la Facultad de Veterinaria y el edificio de administración de Rectoría.
1966 - 1970	Construcción de dos edificios para estudios generales y otro de la Facultad de Arquitectura.
1987	Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2001	Se traslada la Facultad de Ciencias Médicas a las instalaciones del CUM.

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Delimitación del talud dentro del campus**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Delimitación del área

El parque ecológico Las Ardillas se localiza dentro de las instalaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente, en la zona 12 de la ciudad capital.

La zona 12 capitalina está comprendida desde la intersección de la calzada Raúl Aguilar Batres, y el lindero sur de la lotificación El Carmen que constituye el límite del municipio; por el riachuelo que pasa entre la ciudad Universitaria y los colegios Monte María y Liceo Javier y aguas abajo por medio de la quebrada El Frutal y luego por la vía férrea al norte de la lotificación

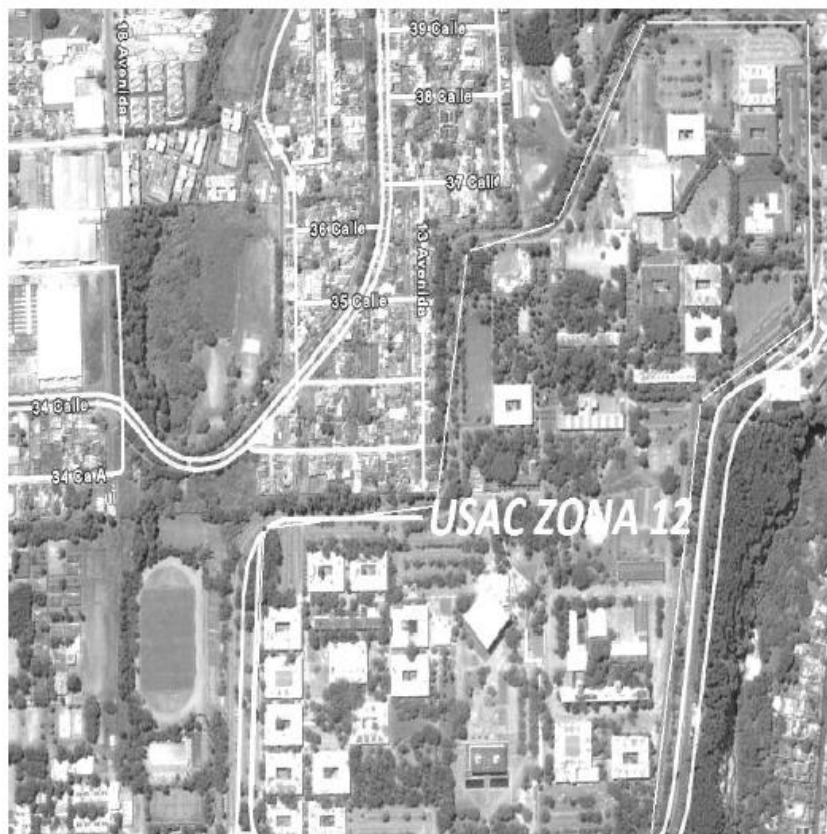
Ciudad Real I siguiendo hacia el norte de dicha vía férrea hasta su encuentro con el camino que conduce a la aldea Guajitos, camino que sigue hacia esa población procurando circunvalar este por medio de sus límites poniente y norte, hasta hallar el río Guadron, el cual recorre aguas arriba, para tomar más adelante la avenida que pasa al poniente de la lotificación Lomas de Pamplona hasta su intersección con la antigua calle del Asilo de Ancianos, que se conoce actualmente como 8ª calle de la zona 12; dicha calle sigue hasta el poniente hasta encontrara la avenida inmediata y anterior a la vía férrea.

Luego esta avenida que se conoce como 18 avenida de la zona 12 hacia el norte, hasta alcanzar dicha vía férrea, que también, se recorre hasta llegar al boulevard Tecun Umán, el que se sigue hacia el poniente hasta la calzada Raúl Aguilar Batres y por medio de esta última hasta alcanzar el punto de origen de esta delimitación.

El área que ocupa el parque ecológico Las Ardillas ha sido dividida por el paso de un río de aguas negras que separa los terrenos de la USAC con las colonias El Carmen, La Reformita y El Bosque.

El barranco que colinda con la colonia El Carmen, en la parte baja del parque ecológico Las Ardillas y de la zona de viveros, presenta una geomorfología muy angosta y profunda, con deslizamientos verticales que se desprende desde la superficie hasta más o menos 20 metros más abajo con el 80 % de ellos una dirección de disparo entre 50 y 54 grados noroeste, lo cual podrían ser evidencia de una falla tectónica.

Figura 46. **Fotografía del área del talud**



Fuente: Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastre (CEDESUD). *Boletín informativo especial*. p. 1.

5.3. Climatología

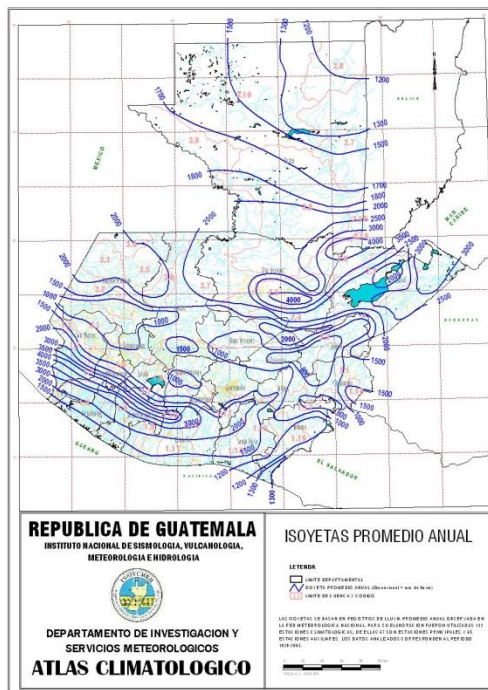
El área analizada se encuentra dentro de la zona 12 de la ciudad de Guatemala, por lo tanto, los factores que definen su climatología son los característicos de esta ciudad. La climatología del área se obtiene de los datos medidos en la estación meteorológica ubicada en las instalaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

5.3.1. Precipitación

La precipitación media de un lugar se ve representada gráficamente por las llamadas isoyetas, isolíneas que unen los puntos en un plano que presentan la misma precipitación en una unidad de tiempo. Para el área analizada se toma el valor de precipitación media anual registrada en la estación ubicada en las instalaciones del INSIVUMEH.

El siguiente mapa muestra las isoyetas de toda la República de Guatemala, y muestra que la precipitación media anual para el área analizada se encuentra entre 1 000 y 1 500 mm de lluvia.

Figura 47. Mapa de Isoyetas de Guatemala

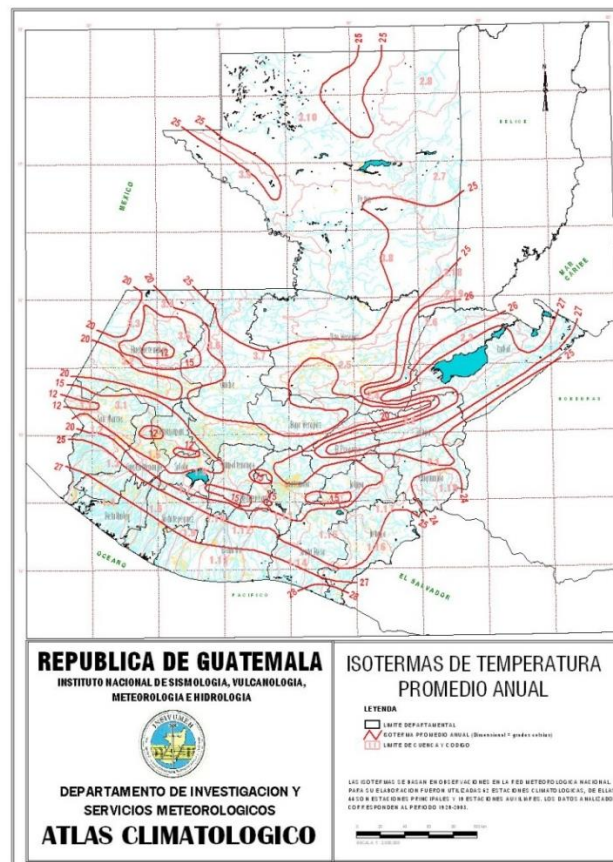


Fuente: INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gov.gt/imagenesdesatelite.html>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

5.3.2. Temperatura

La temperatura de un área se ve representada gráficamente por una curva en un plano cartográfico, que une los vértices que presentan las mismas temperaturas en una unidad de tiempo considerada, a esta curva se le llama Isoterma. El siguiente mapa muestra las isotermas de la República de Guatemala y muestra que la temperatura media anual para el área analizada es de 15 a 25 °C.

Figura 48. Mapa de Isotermas de Guatemala

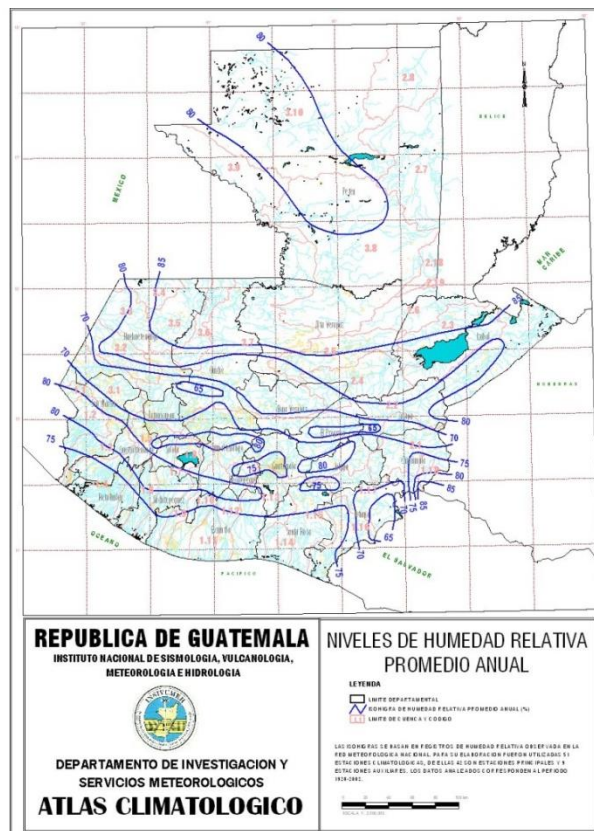


Fuente: INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt/imagenesatellite.html>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

5.3.3. Humedad del aire

La humedad del aire se debe al vapor procedente de la evaporación de los cuerpos de agua cercanos y depende de la temperatura del lugar. La forma en que se representa gráficamente la humedad atmosférica es mediante las isohigras. El siguiente mapa muestra los niveles de humedad relativa medios anuales de la República de Guatemala, los cuales para el área analizada se encuentran entre 75 % y 80 %.

Figura 49. Mapa de isohigras de Guatemala, 1



Fuente: INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt/imagenesdesatelite.html>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

5.3.4. Vientos

La velocidad de los vientos en un área se ve reflejada en mapas con isotacas, líneas que unen los puntos donde el viento sopla con la misma intensidad. El siguiente mapa muestra las isotacas de la República de Guatemala y muestra que la velocidad del viento media anual para el área analizada se encuentra entre 2 y 11 km/h.

Figura 50. Mapa de isohigras de Guatemala, 2



Fuente: INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt/imagendesatelite.html>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

5.4. Características topográficas

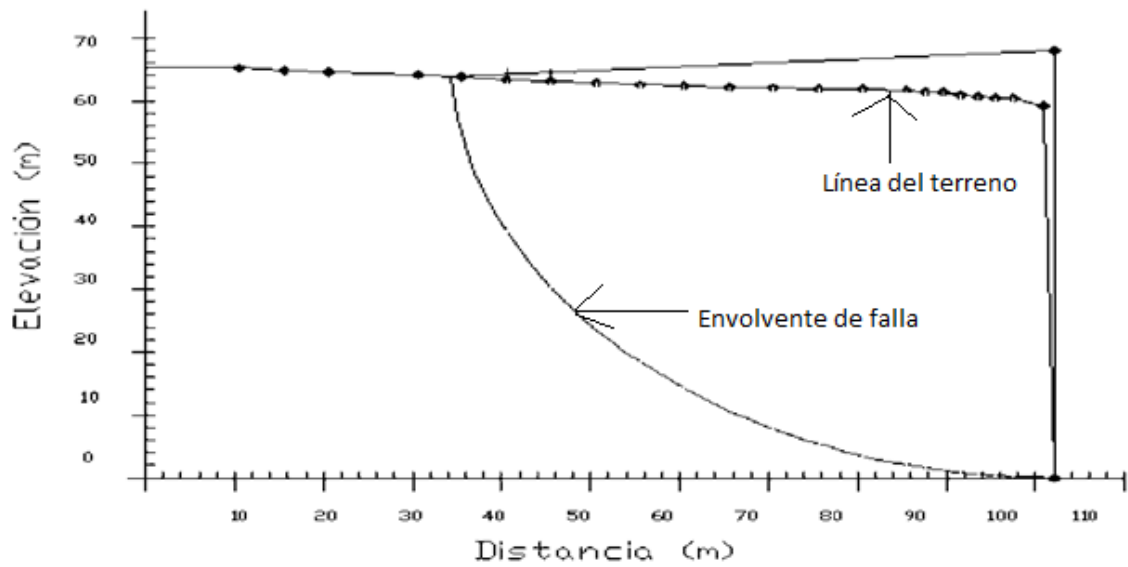
La topografía es la ciencia que estudia los procedimientos para representar gráficamente la superficie terrestre, esta representación se hace sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, cuando son áreas mayores se utiliza la geodesia.

La topografía de un terreno se refiere a la forma tridimensional que este tenga y, utilizándola se puede definir las características topográficas de un área en particular como pendientes y elevaciones de tierra. El área del talud analizado tiene las siguientes características topográficas:

- Pendientes: según los resultados expuestos por el ingeniero civil Jacob Ramírez en su tesis de grado, la pendiente en el área se considera de fuerte a crítica ya que se estableció con base en los instrumentos de medición que varía entre 65 y 90 grados, con diferentes niveles de deforestación y líneas de erosión vertical y percolación de los paleosuelos en las tobas. Además, El barranco El Carmen, en la parte baja del parque ecológico Las Ardillas y de la zona de viveros, presenta una geomorfología muy angosta y profunda (entre 60 y 70 metros), con deslizamientos verticales que se desprende desde la superficie hasta más o menos 20 metros más abajo teniendo el 80 % de ellos una dirección de disparo entre 50 y 54 grados noroeste.
- Perfil topográfico: un perfil topográfico o corte topográfico es una representación del relieve del terreno que permite establecer las diferencias latitudinales que se presentan a lo largo de un recorrido. La siguiente figura corresponde al perfil topográfico del talud estudiado, en

él se ve cómo va variando la elevación conforme se avanza a lo largo de la distancia.

Figura 51. Perfil topográfico del talud analizado



Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 27.

Figura 52. **Fotografía de perfil del talud analizado**



Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 27.

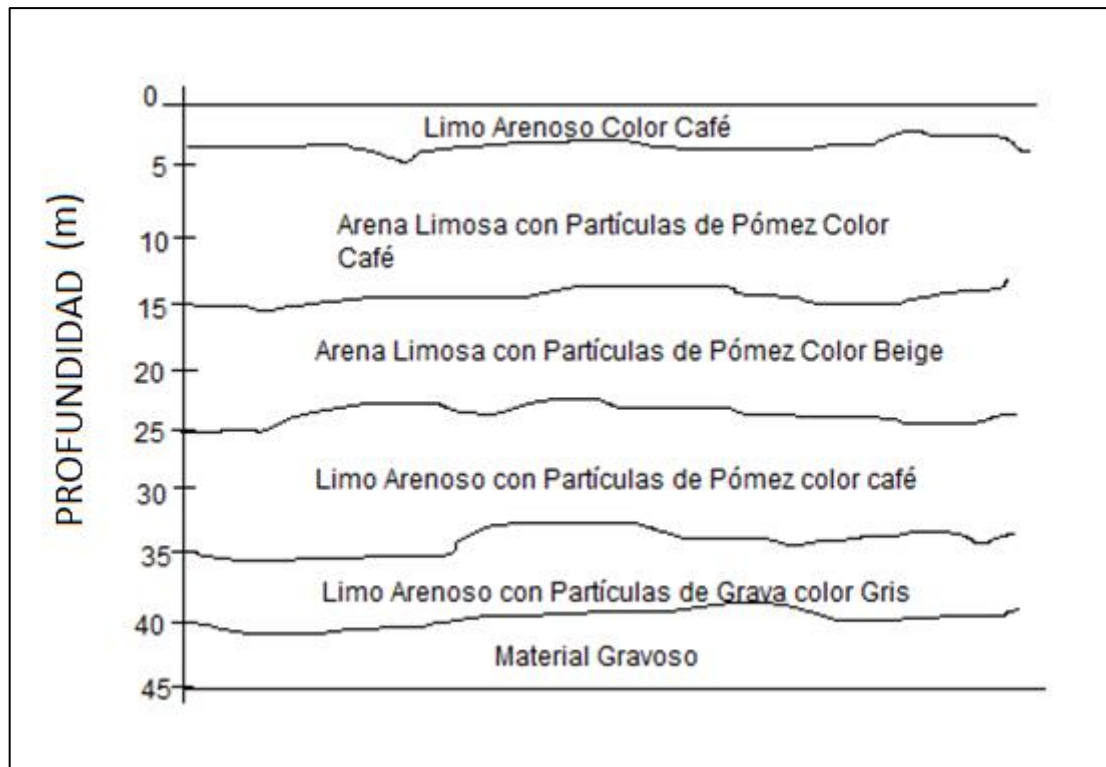
5.5. Características del suelo

El conocimiento de las características de los suelos es de vital importancia en el estudio de la mecánica de los suelos, pues mediante su correcta interpretación se puede estimar el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad.

Para determinar las características de un suelo en laboratorio es necesaria la obtención de muestras inalteradas, las características del suelo descritas en el presente trabajo de investigación corresponden a los resultados expuestos en el trabajo de graduación del ingeniero Jacob Ramírez que utilizó muestras inalteradas de suelo extraídas en el mes de septiembre de 2011.

- Perfil del suelo: cualquiera que sea el tipo de perforación que se ejecute, a medida que se va profundizando en ella se deben anotar los espesores de los distintos estratos atravesados, indicando cuáles son gravas, arenas, limos, arcillas, o sin mezcla. Con estos datos y los de las pruebas que se les ejecuten a los materiales se crea un perfil de suelo.

Figura 53. **Perfil de suelos del talud estudiado**



Fuente: elaboración propia.

- Granulometría: la composición granulométrica de un suelo sirve para conocer la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se realiza para determinar la

cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

La siguiente tabla resume las características granulométricas del suelo del talud en estudio:

Tabla IV. **Resultados del ensayo de granulometría**

Muestra	% Grava	% Arena	% Finos	Descripción del suelo
M1	1,36	54,61	44,03	Limo arenoso color café
M2	24,76	70,54	4,70	Arena limosa con partículas de pómez color café
M3	4,19	70,04	25,77	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	9,39	72,11	18,50	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	20,56	66,24	13,20	Limo arenoso con partículas de graba color gris
M6	68,7	29,55	1,75	Material gravoso

Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 35.

- Límites de Atterberg: sirven para conocer la plasticidad de un suelo: límite líquido, límite plástico y límite de contracción. A continuación, se describen los límites plástico y líquido, los cuales se pueden determinar por ensayos de laboratorio.

- Límite líquido: este se define como el contenido de humedad con el cual el suelo cambia del estado líquido al estado plástico. En el caso del talud estudiado ninguna muestra de suelo presentó límite líquido.
- Límite plástico: este se define como el contenido de humedad, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. En ninguna muestra de suelo del talud estudiado se determinó límite plástico.

Tabla V. Resultados del ensayo contenido de humedad

Muestra	% Humedad	Descripción del suelo
M1	8,22	Limo arenoso color café
M2	9,76	Arena limosa con partículas de pómez color café
M3	0,98	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	1,26	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	4,15	Limo arenoso con partículas de graba color gris
M6	3,11	Material gravoso

Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 37.

- Contenido de humedad: un suelo tiene naturalmente un porcentaje de humedad, este depende de la composición del suelo, del clima, de las actividades humanas aledañas y de la cercanía de fuentes de agua. La tabla IV presenta los porcentajes de humedad por estrato del talud en estudio.

- Ángulo de fricción interna y cohesión: la cohesión se define como la atracción entre partículas originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua; el ángulo de fricción interna es el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento a lo largo de un plano y la fuerza normal aplicada a dicho plano. Estas características de los suelos se determinan por medio de ensayos triaxiales. La siguiente tabla muestra el ángulo de fricción interna y cohesión de 4 de las 6 muestras de los estratos del talud en estudio, las muestras faltantes no se pudieron ensayar por las características del suelo.

Tabla VI. **Resultados del ensayo triaxial drenado**

Muestra	Ángulo de fricción interna: $\phi =$	Cohesión Cu =	Descripción del suelo
M1	23,32	3,87	Limo arenoso color café
M3	217	3,85	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	200,21	7,75	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	218,26	3,91	Limo arenoso con partículas de graba color gris

Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 40.

La siguiente tabla contiene valores de los pesos unitarios de los suelos más comunes según el sistema de clasificación unificado.

Tabla VII. **Pesos unitarios de suelos comunes**

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS	PESO UNITARIO EN KG/M3	
	Arriba del nivel freático	Abajo del nivel freático
GP Grava mal graduada	1784 - 2090	1988 - 2243
GW Grava bien graduada	1784 - 2243	1988 - 2396
GM Grava limosa	1632 - 2090	1988 - 2243
GC Grava arcillosa	1632 - 2090	1988 - 2243
SP Arena mal graduada	1530 - 1988	1937 - 2141
SW Arena bien graduada	1530 - 2141	1937 - 2345
SM Arena limosa	1275 - 2141	1784 - 2243
SC Arena arcillosa	1377 - 2090	1784 - 2141
ML Limo de baja plasticidad	1173 - 1784	1784 - 2141
MH Limo de alta plasticidad	1173 - 1784	1275 - 2090
CL Arcilla de baja plasticidad	1275 - 1784	1173 - 2090
CH Arcilla de alta plasticidad	1275 - 1784	1122 - 1988

Fuente: elaboración propia.

5.6. Factores de amenaza

Amenaza es un peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico, que puede producir efectos de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, dentro del área estudiada se pueden mencionar los siguientes tipos de amenaza y sus factores:

- Factores socionaturales: gran parte del terreno de la universidad se encuentra pavimentado, esto influye en la cantidad de infiltración de agua al momento de que exista una precipitación de intensidad media o alta. Esto crea una escorrentía más fuerte, la cual arrastra a su paso vegetación, matorrales y árboles pequeños, lo que vuelve al talud un área más vulnerable al desprendimiento de las partículas de suelo.
- Factores naturales: la composición del suelo en casi todo el talud es de origen volcánico con intercalaciones de aluviones, lo que redonda en un

suelo que se puede desprender con facilidad y, que puede llegar a representar una amenaza de desprendimientos masivos de masas de suelo. Geológicamente se cree que podría haber una falla tectónica cercana al área de estudio, lo que puede representar una amenaza natural.

- Factores antropogénicos: el río de aguas servidas que pasa dentro del área socaba las bases de los taludes, lo que hace que se aumente la probabilidad de desprendimientos y derrumbes del suelo. Esta situación se vuelve más crítica en la época lluviosa, puesto que el vertimiento del sistema de aguas pluviales de un sector de la zona 11 y 12 cubre en su totalidad el ancho del barranco.

Figura 54. **Flujo del río al fondo del talud**



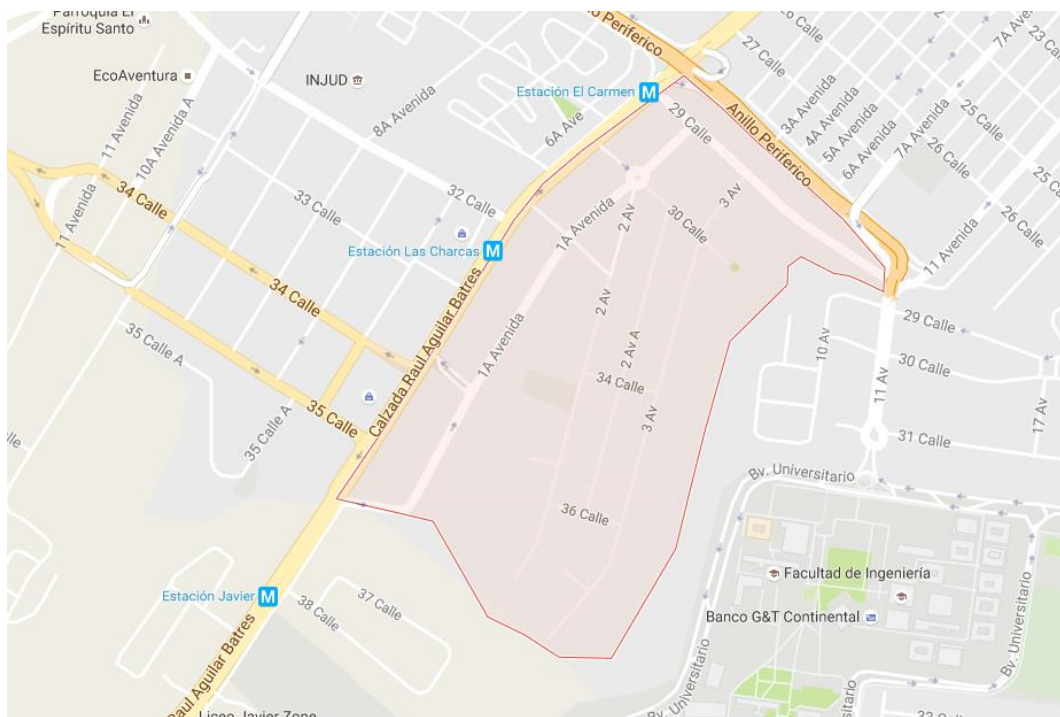
Fuente: RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas*. p. 16.

5.7. Perfil urbano

El ingreso al parque ecológico Las Ardillas, se encuentra sobre el boulevard de la USAC. Este parque cuenta con áreas verdes para recreación y un área de viveros.

El área del talud estudiado ha sido dividida por el paso del río de aguas servidas que separa los terrenos de la USAC con las colonias El Carmen, La Reformita y El Bosque. En el siguiente mapa muestra localización de estas colonias que están frente al talud en estudio.

Figura 55. **Ubicación de colonias aledañas**

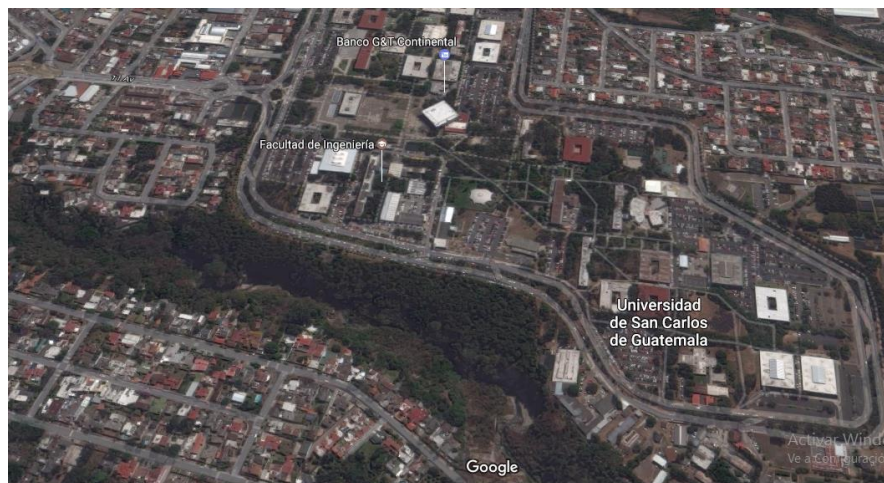


Fuente: Google maps. <https://www.google.es/maps>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

5.8. Situación actual del área

El parque ecológico Las Ardillas forma parte del territorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala, lo atraviesa un río de aguas servidas que ha dividido el área en dos taludes: uno del lado de la USAC y otro del lado de las distintas colonias. La siguiente fotografía aérea muestra lo anterior.

Figura 56. División del área vista en perspectiva



Fuente: Google maps. <https://www.google.es/maps>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Figura 57. **División del área vista en planta**



Fuente: Google maps. <https://www.google.es/maps>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Las colonias que colindan con el área analizada son El Carmen, La Reformita y El Bosque. En la siguiente fotografía se observa la entrada principal a la colonia El Bosque. Debido a que estas colonias están pavimentadas contribuyen, también a la escorrentía que tiende a erosionar los taludes durante la época lluviosa.

Figura 58. **Entrada a la colonia El Bosque**



Fuente: elaboración propia.

En el Acta 20-2010 emitida por la Asociación de Estudiantes Universitarios (AEU) el 14 de julio del 2010, se solicita la creación de un colector ramal en conjunto con la municipalidad capitalina, para ayudar a evitar los derrumbes y erosión del suelo, dicha propuesta no fue tomada en cuenta.

El 23 de mayo del 2014 se desalojaron las instalaciones de la Editorial Universitaria obedeciendo al Acuerdo de Rectoría 0783-2014, realizado por la Dirección General de Extensión Universitaria junto con la CONRED, en el cual se ordenaba desocupar las instalaciones por el riesgo latente a derrumbes. En la siguiente fotografía se puede ver el edificio de la Editorial Universitaria.

Figura 59. **Fotografía de la Editorial Universitaria**



Fuente: elaboración propia.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1. Descripción del ensayo a tensión

El ensayo de tensión en un material consiste en someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce su rotura. Este ensayo sirve para encontrar el esfuerzo de tensión que puede llegar a resistir un material instantes antes de que falle.

En esta investigación se realizó el ensayo de tensión en 11 probetas hechas de raíces del pasto vetiver, las cuales provienen de plantas de dos años de edad, extraídas de la plantación del Ingenio Magdalena, localizado en el municipio La Democracia, Escuintla. Esta plantación provee de la materia necesaria para la extracción del aceite de las raíces del pasto, el cual es utilizado para la elaboración de esencias y perfumes.

Este ensayo se realizó con el objeto de encontrar el valor medio del esfuerzo de tensión que resisten estas raíces, las probetas se realizaron uniendo varias raíces de manera que quedara una muestra trenzada y variando al mismo tiempo la cantidad de filamentos por probeta.

Figura 60. **Plantación del pasto en Ingenio Magdalena**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Descripción de número de plantas por muestra**

Núm. de muestra	Diámetro (cm)	Núm. de plantas
1	2,3	3
2	1,7	2
3	2	2
4	2	2
5	1,7	4
6	2,5	4
7	1,6	3
8	1,7	2
9	1,8	2
10	1,7	2
11	2	5

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior describe la cantidad de plantas utilizadas para elaborar cada probeta ensayada.

La siguiente fotografía muestra la el trenzado de las raíces de varias plantas del pasto vetiver para lograr una probeta que se pudiera adaptar a las máquinas de ensayos de tensión del área de metales y productos manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, también, para que todas las probetas usadas tuvieran una longitud similar.

Figura 61. **Trenzado de raíces para la formación de una probeta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Probeta utilizada para el ensayo**



Fuente: elaboración propia.

Para obtener un promedio de los esfuerzos de tensión que resisten las raíces del pasto vetiver en las condiciones ya descritas, se realizaron 11 ensayos de laboratorio para los cuales se usaron probetas como las de la fotografía de la figura 62.

6.1.1. Equipo utilizado

Para la realización de los ensayos de tensión se utilizaron dos máquinas y algunos accesorios para las mordazas, los cuales se describen a continuación:

- Una máquina electrónica marca JBA, Instruments J. Bot S.A., modelo 858, Núm. 21320. Esta máquina se caracteriza porque no proporciona

lecturas menores de 15 kg y la incerteza es de ± 5 kg. Para efectos de esta investigación, la velocidad de la aplicación de la carga fue de 25 mm/min.

Figura 63. **Máquina electrónica utilizada en el ensayo**



Fuente: *Máquinas de ensayo*. <http://www.jba.es/es/category/maquinas-ensayo/>. Consulta: 9 de noviembre de 2016.

- Una máquina universal mecánica marca Baldwin Lima-Hamilton, modelo MA18, Núm. 811. Esta máquina tiene tres escalas de aplicación de carga: la primera que tiene límite de 600 kg, la segunda de 3 000 kg y la tercera de 60 000 kg. Tiene capacidad de aplicar una carga mínima de 0,5 kg y la incerteza es de $\pm 0,5$ kg. Para efectos de esta investigación, la velocidad de la aplicación de la carga fue de 25 mm/min.

Figura 64. **Máquina universal utilizada en el ensayo**



Fuente: elaboración propia.

- Los accesorios utilizados fueron: planchas de *foamy* de 3x5 cm para evitar que las mordazas corten las raíces al momento de aplicar la carga, vernier, regla de 30 cm, flexómetro, cinta adhesiva y tijeras.

Figura 65. **Accesorios utilizados en el ensayo**



Fuente: elaboración propia.

6.1.2. Datos obtenidos

En la máquina electrónica se ensayaron 4 probetas, de las cuales 3 soportaron cargas mayores a 15 kg. De la otra probeta no se pudo obtener ningún dato debido a que la máquina no registra cargas menores a 15 kg. Las probetas restantes, 7 en total, fueron ensayadas en la máquina universal.

En la tabla IX, a continuación, se presentan los datos obtenidos con la máquina electrónica.

Tabla IX. **Datos obtenidos con la máquina electrónica**

Núm. de Ensayo	Núm. de Muestra	Diámetro (cm)	Longitud efectiva (cm)	Carga (kg)
1	3	2	13	20
2	4	2	12	20
3	6	2,5	14	25
4	1	2,3	14	<15

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X se presentan los datos obtenidos en el uso de la máquina universal.

Tabla X. **Datos obtenidos con la máquina universal**

Núm. de Ensayo	Núm. de Muestra	Diámetro (cm)	Longitud efectiva (cm)	Carga (kg)
5	7	1,6	12,5	17
6	10	1,7	12	34
7	11	2	12	18
8	9	1,8	13,7	17
9	8	1,7	12	21
10	5	1,7	11	30
11	2	1,7	9	32

Fuente: elaboración propia.

6.1.3. Cálculos efectuados

La fuerza sobre unidad de área que soporta un material se denomina esfuerzo en un material y se expresa matemáticamente en la forma:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

En donde σ es el esfuerzo, P es la carga aplicada y A es el área de la sección transversal.

A continuación, se muestran los cálculos para determinar el esfuerzo de tensión en tres probetas, las siete restantes se analizaron de la misma forma:

Cálculos efectuados con los datos del ensayo No. 1, con 20 kg de carga aplicada y área transversal en la parte más gruesa de la trenza de $3,14 \text{ cm}^2$, que se acerca mucho al área de un círculo con un diámetro de 2 cm.

$$\sigma = \frac{20 \text{ kg}}{\frac{\pi}{4} (2 \text{ cm})^2} = 6,37 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculos efectuados con los datos del ensayo No. 6, teniendo 34 kg de carga aplicada y área transversal en la parte más gruesa de la trenza de $2,27 \text{ cm}^2$, que se acerca mucho al área de un círculo con un diámetro de 1,7 cm.

$$\sigma = \frac{34 \text{ kg}}{\frac{\pi}{4} (1,7 \text{ cm})^2} = 14,98 \text{ kg/cm}^2$$

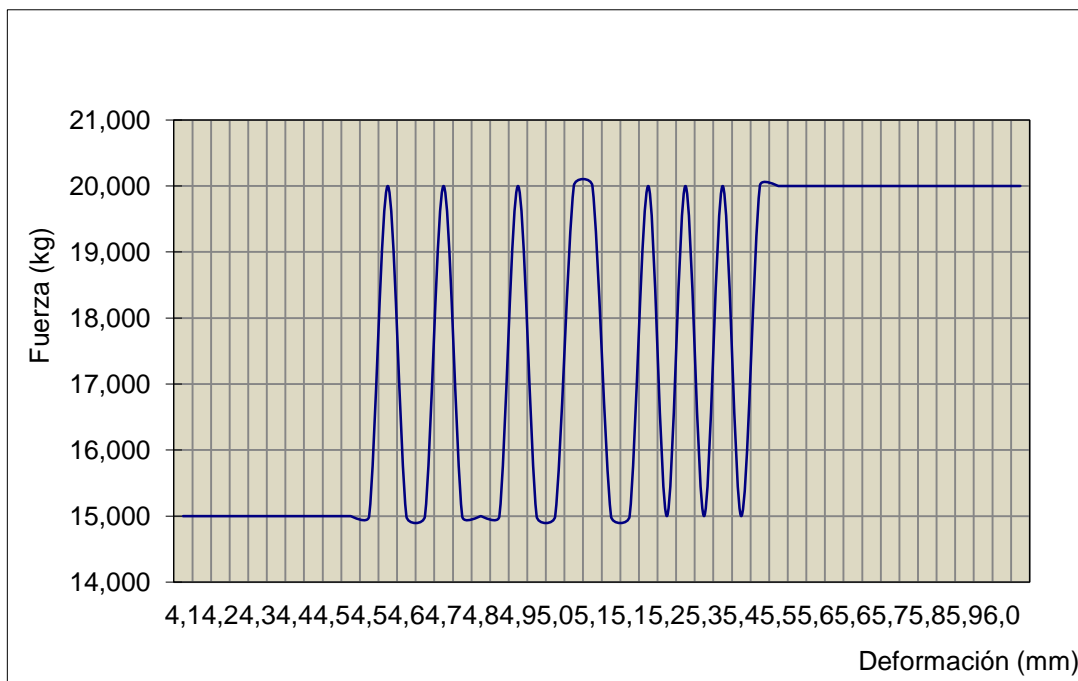
Cálculos efectuados con los datos del ensayo Núm. 10, teniendo 30 kg de carga aplicada y área transversal en la parte más gruesa de la trenza de $2,27 \text{ cm}^2$, que se acerca mucho al área de un círculo con un diámetro de 1,7 cm.

$$\sigma = \frac{30 \text{ kg}}{\frac{\pi}{4} (1,7 \text{ cm})^2} = 13,22 \text{ kg/cm}^2$$

6.1.4. Tablas y gráficos de resultados

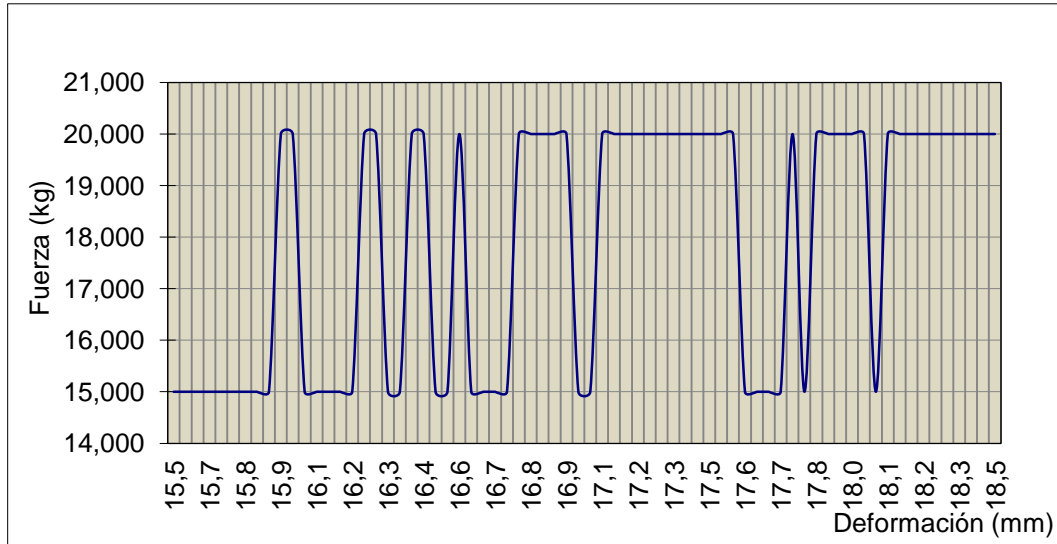
La máquina electrónica utiliza un *software* que genera las gráficas siguientes:

Figura 66. **Gráfica, fuerza – deformación, ensayo 1**



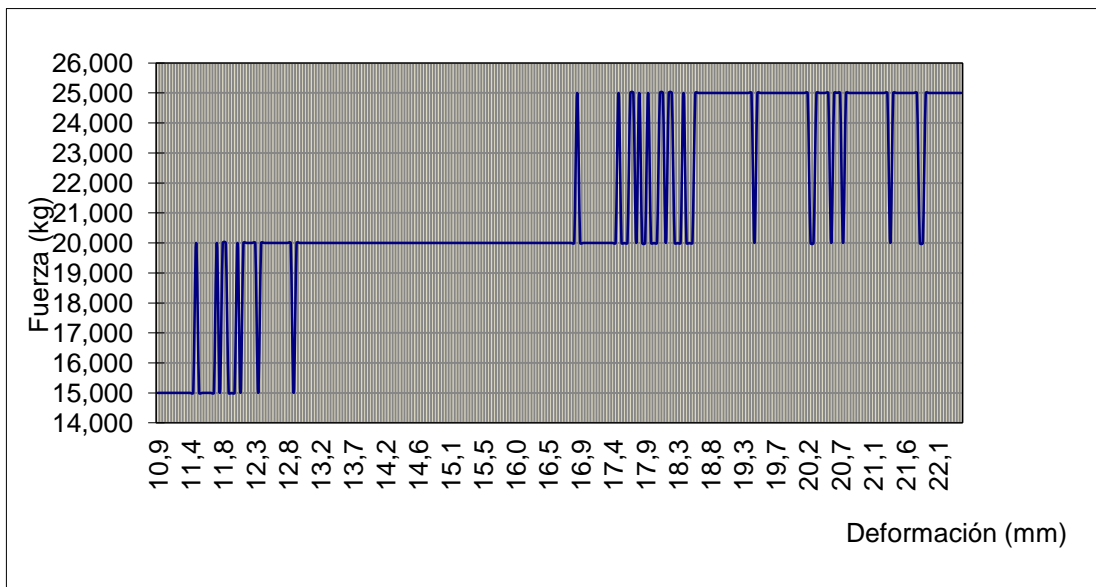
Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Gráfica, fuerza – deformación, ensayo 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Gráfica, fuerza – deformación, ensayo 3**



Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra el esfuerzo máximo de tensión que resistieron las 11 probetas ensayadas, con su respectiva carga máxima, área y esfuerzos.

Tabla XI. **Resultados obtenidos con el ensayo de tensión**

Núm. de ensayo	Equipo utilizado	Núm. de muestra	Carga (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (mpa)
1	Máquina electrónica	3	20	3,14	6,37	0,62
2	Máquina electrónica	4	20	3,14	6,37	0,62
3	Máquina electrónica	6	25	4,91	5,09	0,50
4	Máquina electrónica	1	<15	4,15	Sin lectura de carga	Sin lectura de carga
5	Máquina universal	7	17	2,01	8,46	0,83
6	Máquina universal	10	34	2,27	14,98	1,47
7	Máquina universal	11	18	3,14	5,73	0,56
8	Máquina universal	9	17	2,54	6,69	0,66
9	Máquina universal	8	21	2,27	9,25	0,91
10	Máquina universal	5	30	2,27	13,22	1,30
11	Máquina universal	2	32	2,27	14,1	1,38

Fuente: elaboración propia.

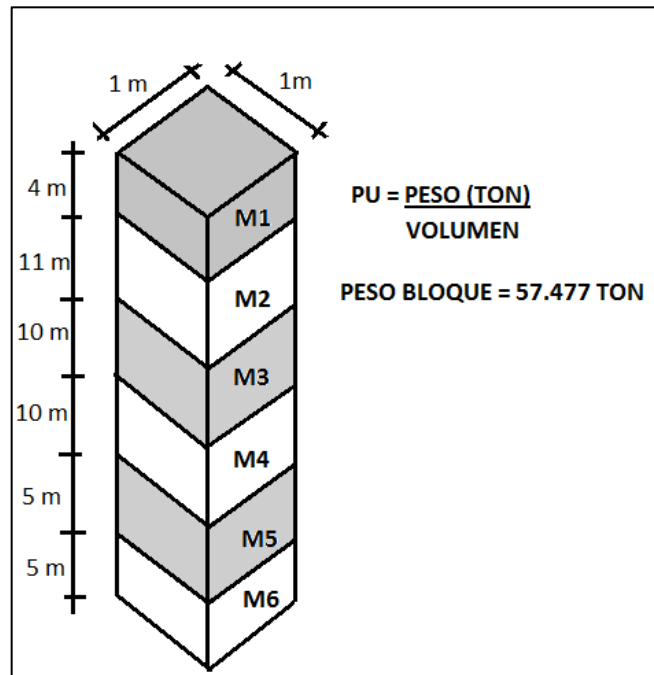
La siguiente tabla resume los pesos de un bloque de 1 m² de suelo que se extiende en toda la profundidad del talud estudiado, según el tipo de suelo y su peso unitario.

Tabla XII. **Peso del bloque de suelo**

ESTRATO	PU (TON/M3)	VOLUMEN (M3)	PESO (TON)
M1	1,13	4,00	4,51
M2	1,54	11,00	16,94
M3	0,88	10,00	8,80
M4	1,27	10,00	12,65
M5	1,12	5,00	5,58
M6	1,76	5,00	8,80
PESO TOTAL BLOQUE			54,477

Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Masa del bloque de suelo**



Fuente: elaboración propia.

6.1.5. Análisis de resultados

Según los resultados expuestos en la tabla XI, los mayores esfuerzos de tensión generados se obtuvieron con la máquina universal, como se ve reflejado en los ensayos números 6 y 11.

Carlos Perea y Jorge Lizcano en su trabajo de graduación *Uso del pasto vetiver como una propuesta de bioingeniería en la estabilización de taludes*, realizado en la Universidad Industrial de Santander, en Colombia, exponen que el valor de esfuerzo de tensión de raíces del pasto vetiver varía entre 40-120 MPa (ver tabla I).

Si bien es cierto que esto proporciona una visión general del comportamiento mecánico de las raíces del pasto sometidas a tensión, no se especifican en el documento mencionado las condiciones que deben existir para que se produzcan tales esfuerzos; entiéndase por condiciones: los cuidados específicos que se le hayan dado, las condiciones climáticas del lugar, el estado del suelo y la densidad radicular alcanzada.

Además, no se conocen las características de las probetas ni el equipo utilizado, por lo que no se pueden hacer comparaciones con los resultados obtenidos en esta investigación.

De acuerdo a los resultados de esfuerzo de tensión máximo soportado por las raíces del pasto durante el ensayo, no existe una relación directamente proporcional entre el esfuerzo y el área de la probeta, como comúnmente podría llegar a pensarse, sino que el esfuerzo está más ligado a la uniformidad y densidad que tenía el sistema radicular trenzado en las probetas.

Si en una probeta trenzada las raíces eran del mismo tamaño a lo largo de toda su longitud, es decir, tenía el mismo número de raíces en la parte superior y en la inferior, esta soportaría una mayor carga que una que aunque fuese más ancha, sus raíces iban disminuyendo gradualmente conforme acababa la trenza.

El esfuerzo de tensión máximo obtenido fue de $14,98 \text{ kg/cm}^2$, el cual corresponde a la muestra número 10, la cual tenía un área transversal de $2,27 \text{ cm}^2$ en su parte más gruesa y estaba conformada por la unión de los sistemas radiculares de 2 plantas.

El esfuerzo de tensión mínimo obtenido fue de $5,09 \text{ kg/cm}^2$ el cual corresponde a la muestra número 6, la cual tenía un área transversal de $4,91 \text{ cm}^2$ en su parte más gruesa y estaba conformada por la unión de los sistemas radiculares de 4 plantas.

Por lo tanto se deduce que el esfuerzo de tensión que pueden soportar las raíces del pasto vetiver, utilizando una metodología similar a la empleada en este ensayo, depende de la densidad de cada uno de los sistemas radiculares de las plantas empleadas para la realización de la probeta y de su uniformidad a lo largo de toda su longitud efectiva, y no así del número de plantas utilizadas para formar la muestra.

Al mismo tiempo los resultados están influenciados por el tipo de máquina utilizada y la carga mínima que registra, ya que la máquina electrónica empleada en este trabajo no registraba lecturas menores a 15 kg, a diferencia de la máquina universal.

Tabla XIII. **Comparación usando máquina electrónica**

Núm. de Ensayo	Equipo utilizado	Núm. de muestra	Carga (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
1	Máquina electrónica	3	20	3,14	6,37	0,62
2	Máquina electrónica	4	20	3,14	6,37	0,62
3	Máquina electrónica	6	25	4,91	5,09	0,50
4	Máquina electrónica	1	<15	4,15	Sin lectura de carga	Sin lectura de carga
Promedio de carga (kg)					21,67	
Promedio de área (cm ²)					3,84	
Promedio de esfuerzo					5,94	0,58
Desviación típica					0,74	0,07
Coefficiente de variación (%)					12,43	12,43

Fuente: elaboración propia.

En el anterior cuadro se ve que utilizando la máquina electrónica se obtiene un coeficiente de variación entre resultados igual a 12 43 %.

Utilizando la máquina universal se obtiene un coeficiente de variación de 36 % entre los resultados, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla XIV. **Comparación usando máquina universal**

Núm. de ensayo	Equipo utilizado	Núm. de muestra	Carga (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
5	Máquina universal	7	17	2.01	8.46	0.83
6	Máquina universal	10	34	2,27	14,98	1,47
7	Máquina universal	11	18	3,14	5,73	0,56
8	Máquina universal	9	17	2,54	6,69	0,66
9	Máquina universal	8	21	2,27	9,25	0,91

Continuación de la tabla XIV.

10	Máquina universal	5	30	2,27	13,22	1,30
11	Máquina universal	2	32	2,27	14,1	1,38
Promedio de carga (kg)					24,14	
Promedio de área (cm ²)					2,40	
Promedio de esfuerzo					10,35	1,01
Desviación típica					3,73	0,37
Coefficiente de variación (%)					36,00	36,00

Fuente: elaboración propia.

La máquina universal al dar lecturas análogas, que se ven influenciadas por la aplicación de la carga con velocidades variables y al mismo tiempo al ser lecturas tomadas visualmente, tiende a proporcionar un mayor coeficiente de variación en los resultados; en comparación con la máquina electrónica, que proporciona la lectura de las cargas utilizando un *software* especializado.

6.2. Diseño de la siembra en el talud utilizando el pasto vetiver

6.2.1. Calidad del material para la plantación

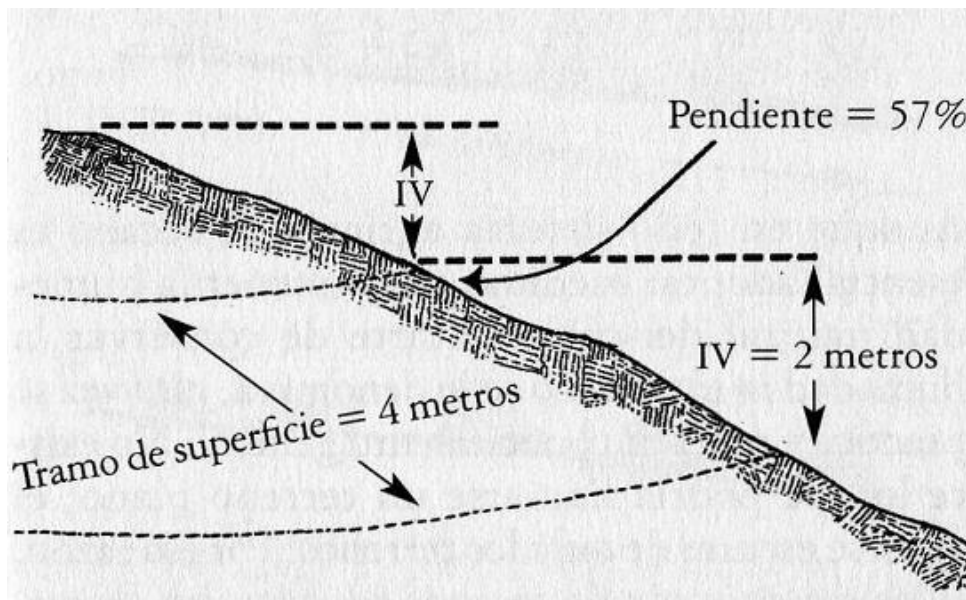
El pasto vetiver crece tanto en suelos áridos como húmedos, ya que es una especie xerófila e hidrófila.

6.2.2. Distancias de siembra

Para que un sistema ofrezca la máxima protección, los cercos de vetiver deben estar espaciados un intervalo vertical adecuado. La distancia proyectada sobre el terreno o tramo de superficie es medida entre los cercos y depende de

la inclinación de la pendiente; en la siguiente figura el intervalo vertical se representa como IV.

Figura 70. **Distanciamientos de cercos de vetiver**



Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 25.

Se sabe que el diseñador de la siembra debe tener en cuenta algunas variables: cohesión del suelo, ángulo de fricción, cargas propias del talud, cargas externas y niveles freáticos; también, conceptos de biología y agrología para determinar las distancias de espaciamiento vertical y horizontal para garantizar la estabilidad del talud.

En la siguiente tabla se pueden ver las relaciones entre la pendiente, el tramo de superficie y el intervalo vertical, comúnmente utilizadas al momento de diseñar los cercos de protección de taludes; estas proporcionan una idea general para el diseño, en casos especiales se recomienda que se haga un

diseño específico coadyuvándose con personas que tengan conocimientos de agronomía.

Tabla XV. **Distancias de siembra**

Pendiente		Gradiente	Tramo de superficie (m)
Grado	%		
1	1,7	1 en 57,3	57,3
2	3,5	1 en 28,6	28,7
3	5,3	1 en 19,5	19,1
4	7,0	1 en 14,3	14,3
5	8,8	1 en 11,4	11,5
10	17,6	1 en 57	5,8
15	27,0	1 en 37	4,0
20	36,4	1 en 2,8	3,0
25	46,1	1 en 2,1	2,4
30	57,7	1 en 1,7	2,0
35	70,0	1 en 4,1	1,0
40	84,0	1 en 1,2	1,6
45	100,0	1 en 1,0	1,4

Fuente: ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. p. 26.

6.2.3. Preparación del terreno

La cantidad y calidad de materia orgánica incide sobre los diversos procesos bioquímicos y químicos en el sistema edáfico y representa la base de la fertilidad de los suelos. Regularmente, los taludes presentan condiciones inadecuadas para el desarrollo de vegetación; estas son producto de la pobreza edáfica y la compactación de sus materiales.

Para establecer la vegetación es necesario corregir las deficiencias mencionadas, creando buenas condiciones topográficas, de drenaje y calidad del sustrato.

Existen 2 tipos de medidas para la preparación del terreno en taludes:

- Remodelado y control de drenaje: comúnmente la cabecera, pie y bordes laterales del talud presentan perfiles de alta pendiente, lo que ofrece condiciones adversas a la revegetación y mayor exposición de la estructura a los efectos de la erosión provocada por la escorrentía superficial. Por esta razón, los perfiles deben ser redondeados, facilitando de esta forma el enraizamiento de la vegetación y disminuir o eliminar los efectos de la erosión.
- Mejoras edáficas: comúnmente los taludes no presentan buenas condiciones físicas, químicas ni biológicas para el establecimiento de vegetación. Los problemas frecuentes están relacionados con la ausencia de materias orgánicas y nutrientes.

Existen diversas técnicas destinadas a mejorar las características del sustrato, como las enmiendas orgánicas, que son realizadas para incrementar los niveles de fertilidad del sustrato y mejorar las propiedades físicas. El uso de las enmiendas orgánicas se hace aplicando estiércol u otros abonos orgánicos resultantes del compostaje de residuos sólidos urbanos o lodos de plantas de tratamiento de aguas, que proporcionan mejores rendimientos y que resultan más baratos.

6.2.4. Preparación mecánica del sustrato

Esta fase forma parte de la preparación del terreno para la siembra; la preparación mecánica del suelo implica el uso de maquinaria con el propósito fundamental de descompactar los suelos, lo que proporciona los efectos de reducción del volumen de escorrentía por efecto de la creación de caminos de drenaje, incremento de la velocidad de infiltración y el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua, por ende, de la profundidad potencial de enraizamiento debido a la reducción de la densidad del suelo.

Para el caso del vetiver, los taludes pueden manejar ciertas irregularidades ya que la siembra se realiza siguiendo curvas de nivel y con intervalos verticales.

A menudo es difícil cortar la ladera hasta dejar una superficie pareja y recta. Muchos taludes a ser considerados para la bioingeniería serán los que han presentado fallas después del corte original; sin embargo, es importante asegurarse de que se ha retirado todo el material suelto y que la base del talud debe estar protegido de socavaciones.

6.2.5. Plantación de esquejes

La siembra de esquejes, en bolsa o raíz desnuda, es la más utilizada para la estabilización de taludes. Para la siembra de esquejes de vetiver se debe preparar el material días previos y se utiliza la técnica de siembra en hoyo.

6.2.5.1. Preparación de esquejes

Tres días antes de llevarlo al campo, se reduce la aplicación de agua y se cortan las hojas a los 30 cm para reducir la transpiración y estimular la rápida emergencia de raíces y hojas.

Antes de llevar al campo, se recomienda poner en remojo los esquejes, en el caso de esquejes a raíz desnuda, con el propósito de inducir nuevas raicillas, luego se empaican en manojos apretados. Es importante no dejar los retoños expuestos a la luz del sol pues pueden secarse.

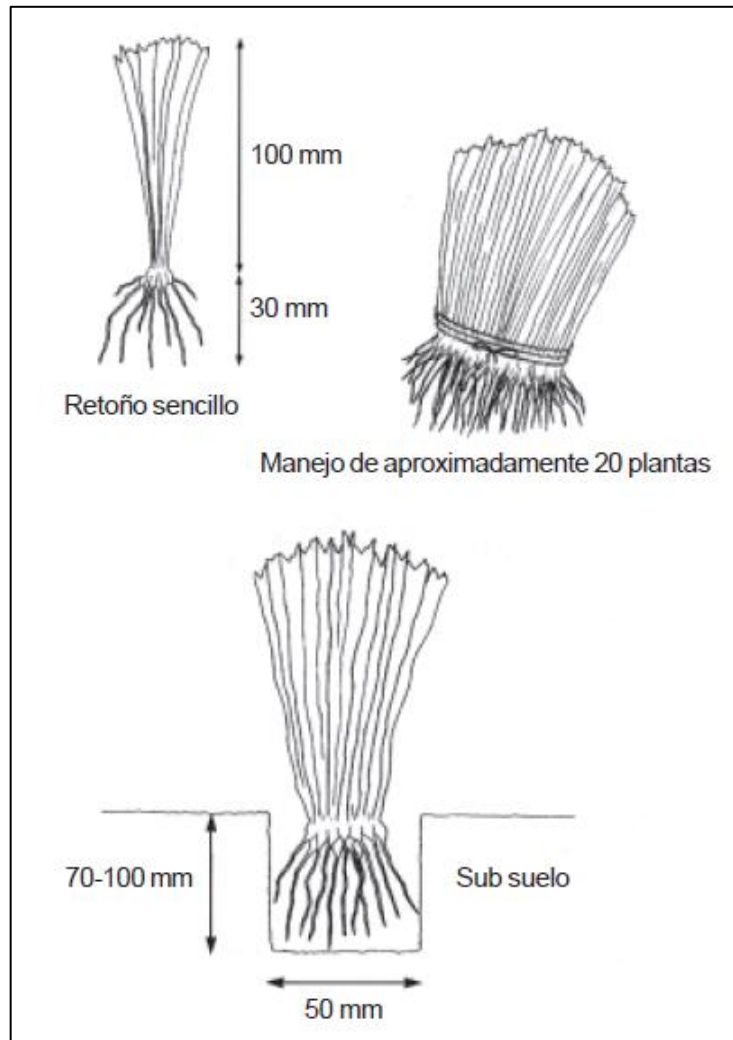
Es recomendable efectuar análisis químicos del suelo cuando se planteel vetiver en lugares nuevos, para determinar los requerimientos de fertilización o enmienda del suelo antes de sembrarlo.

6.2.5.2. Siembra

La siembra en hoyo es una técnica de siembra manual en que las plántulas son introducidas en un hoyo previamente dispuesto para este efecto. Los hoyos se construyen de 5-10 cm de diámetro y 7-10 cm de profundidad; en ese agujero se colocan los esquejes a unos 5 cm de profundidad, tratando de que las raíces estén rectas y sin doblarse y se le tapa y afirma con la tierra mediante presión con los dedos.

El hoyado y siembra se realiza desde la parte superior del talud, siguiendo pendiente abajo.

Figura 71. **Especificaciones para la siembra**



Fuente: PEREZ, Carlos; LIZCANO, Jorge. *Uso del pasto vetiver como una propuesta de bioingeniería en la estabilización de taludes*. p. 57.

6.2.6. **Cuidados posteriores a la plantación**

Se deben realizar una serie de cuidados posteriores a la plantación del pasto vetiver para que pueda automantenerse.

- Riego: las especies vegetales deben ser plantadas durante la época de lluvia. En todos los casos se requiere riego por lo menos durante el primer mes, con el objeto de garantizar el enraizamiento de las especies vegetales.
- Fertilización: en el caso del pasto vetiver no es imprescindible, teniendo en cuenta que se adapta a diferentes condiciones de suelo, pero es aconsejable. Se puede emplear cualquier tipo de abono o fertilizante, natural o químico. El empleo de abonos incrementa el desarrollo y velocidad de crecimiento en barreras recién establecidas.
- Resiembra: en caso de que se presente mortalidad o el prendimiento no sea homogéneo, se debe proceder a la resiembra de las superficies con nuevos esquejes.
- Aclareo y eliminación de malezas: una vez logrado el arraigo de las barreras de vegetación y la densidad de las plántulas sea mayor que la deseada para cubrir los objetivos de estabilización y/o protección, será apropiado efectuar labores de aclareo con el objeto de obtener la densidad adecuada. Una o dos veces durante la estación de crecimiento en el primer año es necesario eliminar manualmente la vegetación que crece en forma silvestre en las proximidades del sistema radicular del pasto vetiver, para eliminar la competencia por los nutrientes y humedad.
- Siegas o podas de hojas: la principal característica del Vetiver es su sistema radicular profundo y abundante. Se recomienda realizar siegas o podas de las hojas, con el propósito de inducir mayor enraizamiento. Estas podas se pueden hacer cada 6 meses.

- Limitaciones: la principal limitación del vetiver es la sombra, la tolera muy poco. En condiciones de sombra crece más despacio, se establece con dificultad y es más sensible a factores adversos.

CONCLUSIONES

1. La siembra del pasto vetiver puede mejorar las condiciones mecánicas y de seguridad en el talud ubicado en el parque ecológico Las Ardillas, el cual sufre de erosión laminar, por viento y escorrentía; también, ayudará a regular la inestabilidad por deslizamientos de las masas de suelo. Se propone la siembra de este pasto como una medida de control de riesgo, la cual debe ser implementada junto con otros métodos para lograr una estabilización efectiva; entre estos métodos están: la realización de bermas para reducir la pendiente paulatinamente y un control del río que avanza al pie del talud.
2. Los factores críticos que constituyen una amenaza en el talud estudiado se originan por la creciente intervención humana en el ecosistema natural, lo que ha dado como resultado un aumento de la escorrentía que corre a lo largo del talud, y generan una erosión laminar cada vez mayor y un desprendimiento de las masas de suelo por la fuerza de arrastre del flujo.
3. Con base en los resultados del ensayo para determinar la resistencia a la tensión de las raíces del pasto, se determinó que el tipo de máquina utilizada influye en gran medida en la variabilidad de los resultados; en este trabajo de investigación se tuvo un coeficiente de variación de 12,43 % con la máquina electrónica y un 36 % con la máquina universal, por lo que la confiabilidad tiende a ser mayor cuando se utiliza una máquina electrónica como la descrita anteriormente.

4. De acuerdo a los resultados del esfuerzo de tensión máximo soportado por las raíces del pasto durante el ensayo, no existe una relación directamente proporcional entre el esfuerzo y el área de la probeta, sino que el esfuerzo depende de la densidad de cada uno de los sistemas radiculares de las plantas empleadas y de la uniformidad a lo largo de toda su longitud efectiva, y no así del número de plantas que se utilicen para formar la muestra.

5. Las barreras vegetales de pasto vetiver tienen la capacidad de detener la pérdida del suelo en el talud del parque ecológico Las Ardillas y crear un sistema natural de protección del suelo que a su vez conserve la humedad y evite las pérdidas por erosión. El sistema masivo de raíces del pasto vetiver hace que el agua escurrida pierda fuerza y deposite los sedimentos de arrastre, generalmente muy fértiles, en las barreras vivas, lo que hace que las hierbas retoñen en los sedimentos y se creen terrazas naturales.

RECOMENDACIONES

1. Para estabilizar el talud estudiado de forma integral se recomienda realizar estudios hidrogeológicos de la minicuenca, para considerar los factores más críticos del área: el socavamiento de las bases del talud por la acción del río de aguas negras y la falla geológica que atraviesa el área.
2. Al momento de llevar a cabo una investigación que requiera ensayos del mismo tipo de los realizados en este trabajo de graduación, se recomienda utilizar una máquina electrónica como la descrita previamente, debido a que genera resultados más confiables y con menos variación entre sí, que los originarios por la utilización de una máquina universal mecánica con las mismas características que las descritas en esta investigación.
3. Debido a que no existe una relación directamente proporcional entre el esfuerzo y el área de las probetas de pasto ensayadas a tensión, se debe tener especial atención en la densidad de cada uno de los sistemas radiculares de las plantas empleadas y de su uniformidad a lo largo de toda su longitud efectiva.
4. Si el talud que se desea estabilizar presenta situaciones muy críticas, tanto en el tipo y estado de suelo como en el ángulo de inclinación respectivo, se recomienda realizar el diseño de la siembra en conjunto con profesionales del área de biología y/o agronomía y no fiarse de los

diseños y distancias comúnmente utilizados en taludes de pendientes medias y pequeñas.

5. Es importante continuar con la investigación de los usos enfocados a la bioingeniería que se le pueden dar a este pasto, ya que tiene propiedades físicas y mecánicas que pueden resultar beneficiosas para su aplicación en proyectos y obras de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALEGRE, Julio. *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver*. Perú: Organización Panamericana de la Salud, 2007. 37 p.
2. Cooperación Suiza en América Central. *Guía para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento*. Nicaragua: COSUDE, 2013. 104 p.
3. COSUDE. *Manual de Bioingeniería Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático*. Nicaragua: Cooperación Suiza en América Central, 2010. 89 p.
4. FLORES, Juan. *Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L)Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San Patricio en el municipio de La Democracia, Escuintla, Guatemala, CA*. Trabajo de graduación de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de agronomía, 2012. 141 p.
5. GALINDO, Daniel. *Evaluación de la vulnerabilidad físico estructural de edificios de uso público en el municipio de Acatenango, Chimaltenango*. Trabajo de graduación de Arquitectura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2008. 168 p.

6. GOMIS, Carlos. *Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver (Vetiveria zizanoidel, (L) Nash) en diferentes localidades de Venezuela*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela, 2006. 39 p.
7. *Gestión local de riesgos. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Guatemala: CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central), 2010. 101 p.
8. PEREA, Carlos; LIZCANO, Jorge. *Uso del pasto vetiver como una propuesta de bioingeniería en la estabilización de taludes*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2012. 65 p.
9. PÉREZ, María. *Estabilización y prevención de la erosión mediante la siembra de la planta Vetiver en las riberas del río Los Amarillos, en los sectores de la cabecera cantonal, La Parroquia Lorenzo de Garaycoa y El Recinto Santo Domingo, en el canton Simon Bolivar, Provincia del Guayas*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006. 61 p.
10. RAMÍREZ, Jacob. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2013. 182 p.

11. ROMEO, Diego. *Viabilidad de la implementación de Fajinas para la estabilización de taludes en Colombia período I, año 2015*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2015. 74 p.
12. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 1998. 132 p.

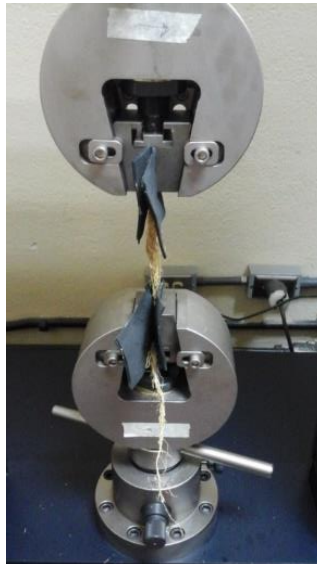
APÉNDICES

Apéndice 1. **Probetas falladas en la máquina universal**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Sujeción de probeta en máquina electrónica**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Método para sujetar las probetas durante el ensayo**



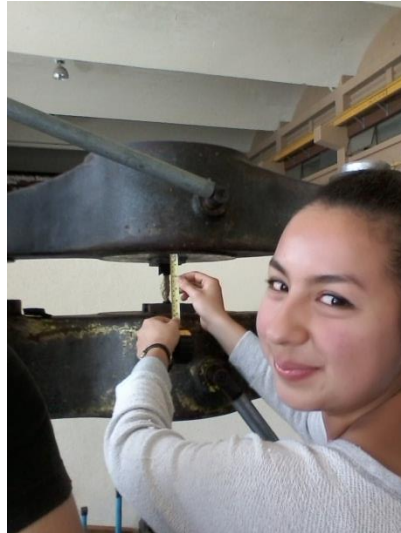
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Manipulación del sistema de carga en máquina universal**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Medición de longitud efectiva**



Fuente: elaboración propia.

