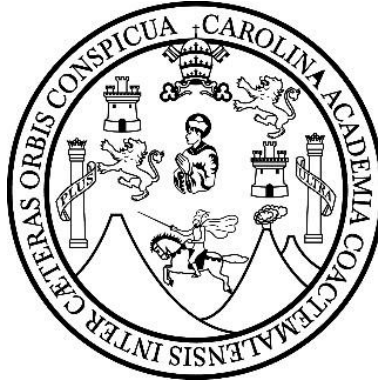


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL
KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03,
MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO**

MARIO ANÍBAL GARCÍA AGUILÓN

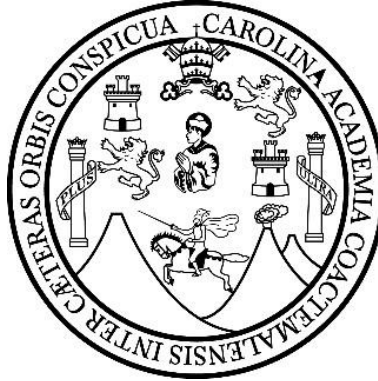
QUETZALTENANGO, FEBRERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL
KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03,
MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO**

**PRESENTADO A LAS AUTORIDADES DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR:

MARIO ANÍBAL GARCIA AGUILÓN

AL CONFERIRSE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

QUETZALTENANGO, FEBRERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



AUTORIDADES DE LA USAC

RECTOR MAGNIFICO: M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS
SECRETARIO GENERAL: LICDO. LUIS FERNANDO CORDÓN LUCERO

CONSEJO DIRECTIVO

DIRECTOR GENERAL: DR. CÉSAR HAROLDO MILIÁN REQUENA
SECRETARIA: LCDO. JOSÉ EDMUNDO MALDONADO MAZARIEGOS

REPRESENTANTES DE DOCENTES

MSc. ING. EDELMAN CÁNDIDO MONZÓN LÓPEZ
MSc. ING. ELMER RAÚL BETHANCOURT MÉRIDA

REPRESENTANTE DE EGRESADOS

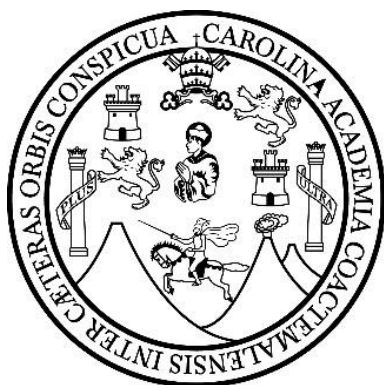
LCDO. VICTOR LAWRENCE DÍAZ HERRERA

REPRESENTANTE ESTUDIANTES

BR. ALEYDA TRINIDAD DE LEÓN PAXTOR DE RODAS
BR. ROMEO DANILO CALDERÓN SANTOS

TERNA QUE REALIZO EL EXAMEN PRIVADO

SECRETARIO: ING. SANTIAGO ALEJANDRO PINEDA BARILLAS
ING. BRYAN ENRIQUE LÓPEZ PÉREZ
ING. LUIS FERNANDO VELÁSQUEZ PÉREZ



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo 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 Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL
KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03,
MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO”**

Tema que me fuera asignado por la coordinación de la carrera de Ingeniería Civil, de la División de Ciencias de la Ingeniería del Centro Universitario de Occidente, según Acta No. 03-2023 de fecha 18 de abril de 2023.

MARIO ANÍBAL GARCIA AGUILÓN

Salt Lake City, Utah, 10 de diciembre, 2023

A:

Ingeniero: Nery Iván Pérez Morales
Coordinador de Ingeniería Civil
División de Ciencias de la Ingeniería
Centro Universitario de occidente

Respetable ingeniero:

Reciba un cordial saludo esperando que todas sus actividades se desempeñen con éxito.

Por este medio hago de su conocimiento que he tenido a la vista el Trabajo de Graduación del estudiante: **Mario Aníbal García Aguilón** quien se identifica con carné No. **2335528040909** y registro académico: **201531077**, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, del Centro Universitario de Occidente, titulado: **ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO.**

Le informo que, para el trabajo de graduación antes mencionado, me es grato dar por concluida la asesoría correspondiente, por lo que doy por aprobado el mismo.

En tal virtud, solicito darle el trámite respectivo. Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente.



M.Sc. Mario Joaquín López Huertas
Candidato a Doctorado en Planificación Urbana | Universidad de Utah
Colegiado No. 5675
ASESOR

Quetzaltenango, 4 de enero de 2024.

Ingeniero:

Nery Iván Pérez.

Coordinador de la Carrera de Ingeniería Civil,
Centro Universitario de Occidente,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Pérez:

Al desearle un buen inicio de año y de actividades, me dirijo para comunicarle que después de revisar y leer el trabajo de graduación: ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, en calidad de REVISOR, encuentro que cumple con los requerimientos para un trabajo de graduación, por lo que doy mi APROBACIÓN.

La referida aprobación al referido trabajo es a favor de Mario Aníbal García Aguilón, carné 2335 52804 0909 y registro académico 201531077.

Por lo que extendiendo, sello y firmo la presente aprobación, para que el interesado continúe sus trámites de reglamentarios.

Sin otro particular me suscribo de usted.


César A. Grijalva.
REVISOR.

César Augusto Grijalva
Ingeniero Civil
Doctor en Ciencias Políticas y Sociales
Doctor en Investigación en Educación
Colegiado 4097



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

División Ciencias de la Ingeniería
Centro Universitario de Occidente
Quetzaltenango
Telefax: 78730000 Ext. 2255

El Infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. 02-2024-IC de fecha trece de febrero del dos mil veinticuatro, del estudiante **MARIO ANIBAL GARCÍA AGUILÓN**, carné No. **2335528040909** y Registro Académico No. **201531077**, emitida por el Coordinador de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: **“ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO”**.

Quetzaltenango, 13 de febrero de 2024.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Ing. Edelman Cándido Monzón López
Director de División
Ciencias de la Ingeniería



ACTO QUE DEDICO

A Dios

Por la vida que me ha concedido y por las innumerables bendiciones que ha llevado a mi vida.

Mis Padres

Emilio Garcia Luis y María Aguilón Mendoza, por los días de desvelo, lucha y sacrificios que han vivido, y que han hecho posible este momento. Gracias por todo el apoyo que me han brindado, los amo con todo el corazón.

Mis Abuelos

Por el ejemplo que llevaron a mi vida, que Dios los tenga en su presencia y que me acompañen como siempre lo han hecho.

Mis hermanos

Porque son el motor que me lleva a superarme y a nunca rendirme, gracias por el apoyo.

Mi padrino de bautizo

Santiago Enrique Elías (D.E.P) gracias por todo el apoyo, por tu amor y cariño. Lo logramos.

Mis amigos y compañeros de estudio

Por tantos momentos de lucha, de alegría, carreras y tantos días vividos en la universidad. Que prevalezcan por siempre. Les agradezco por todo, por su amistad y el apoyo. Que la vida los llene de bendiciones

AGRADECIMIENTOS

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me enseñó y formó, siendo lo que ahora soy. Orgullosamente san carlista.
División de Ciencias de la Ingeniería	Por todas las enseñanzas que me ha brindado, no solo profesionalmente, sino también para mi vida personal.
Arq. Mario Joaquín López	Por su acompañamiento y valioso tiempo brindado de manera incondicional, hacia la asesoría de mi presente trabajo de graduación.
Ing. Cesar Augusto Grijalva	Por su constante apoyo y compartir sus conocimientos y experiencia durante la revisión y correcciones de mi trabajo de graduación.
Ing. Nery Iván Pérez	Por su paciencia, consejos y dedicación para que este trabajo sea desarrollado de la mejor manera.
Dirección General de CAMINOS	Por el apoyo incondicional desde el primer momento, gracias por la asesoría de cada uno de sus integrantes. Un agradecimiento especial al Ing. Edwin López y a los señores Vitelio Miranda y David Tzapin, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.
COMRED	Al delegado de la municipalidad de San Martín Sacatepéquez, Eduardo de León, por su valioso apoyo y acompañamiento.
Municipalidad de San Martín Sacatepéquez	Por el apoyo brindado a lo largo del desarrollo del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I.....	5
ESTUDIO MONOGRÁFICO	5
1.1. Ubicación Geográfica.....	5
1.2. Territorio	7
1.3. Orografía	7
1.4. Hidrografía	7
1.5. Clima	7
1.6. Agricultura	8
1.7. Colindancias.....	8
1.8. Conformación Territorial	9
1.9. Población.....	9
1.10. Educación.....	10
1.11. Salud.....	10
1.12. Justicia y Seguridad.....	10
1.13. Características del área de estudio en la Ruta Departamental RD QUE -3, Municipio de San Martín Sacatepéquez.....	11
CAPÍTULO II.....	13
GENERALIDADES.....	13
1. Talud.....	13
1.1. Factores Internos	14
1.2. Factores Externos	14
1.3. Partes del Talud.....	15

2.	Deslizamientos de Tierra.....	16
2.1.	Etapa previa de la rotura.....	16
2.2.	Etapa de rotura	16
2.3.	Etapa de reactivación	17
3.	Nomenclatura de un Deslizamiento de Tierra	17
3.1.	Zona de aporte o área fuente	17
3.2.	Superficie de falla.....	18
3.3.	Masa deslizante	18
3.4.	Zona de acumulación	18
3.5.	Zona de esparcimiento	18
4.	Clasificación de los Movimientos en Masa.....	19
4.1.	Caída.....	19
4.2.	Deslizamiento.....	20
4.3.	Flujo	21
4.4.	Avalancha.....	21
4.5.	Creep	22
5.	Análisis de estabilidad de taludes	23
5.1.	Muros de Gravedad	24
5.2.	Muros de Concreto Simple.....	25
5.3.	Muros a gravedad de concreto armados.....	26
5.4.	Geosintéticos	28
5.5.	Análisis de Talud Crítico.....	29
5.5.2.	Método de Fellenius	30
5.5.3.	Método de Bishop simplificado	31
5.6.	Método de Janbu Simplificado.....	32

5.7. Método de Spencer.....	33
6. Sistemas de Información Geográfica.....	34
6.1. Componentes de los SIG	35
6.2. SIG para la gestión de riesgo.....	35
6.3. Metodología de SIG para el análisis de deslizamientos	36
8. Gestión del Riesgo.....	37
8.1. Gestión Preventiva	37
8.2. Gestión Correctiva.....	38
8.3. Gestión Reactiva	38
CAPÍTULO III	39
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	39
10.	39
1.1. Método Mora-Vahrson	39
1.2. Bloque Deslizante	46
1.3. Estimación de Riesgo por Deslizamiento detonado por lluvia:	53
1.3.1. Estimación de la Amenaza	54
1.3.2. Estimación de la Vulnerabilidad	55
1.3.3. Riesgo Aceptable.....	57
2. Descripción y Evaluación de Metodologías	64
2.1. Esquema de Evaluación y selección de nueva Metodología MAGAN.....	65
CAPÍTULO IV	71
ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA	71
11. Topografía.....	71
11.1. Recolección de Datos Topográficos.....	71
12. Mecánica de Suelos	75

12.1. Muestra de Suelo.....	75
12.2. Estudio de Laboratorio.....	77
13. Hidrología.....	80
13.1. Cálculo de Intensidad de Lluvia (IDF).....	80
13.2. Análisis Climatológico.....	81
13.3. Análisis Hidrológico.....	84
13.4. Escorrentía Superficial.....	84
CAPÍTULO V.....	93
ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	93
2.1. Indicador de Probabilidad de Falla.....	96
2.2. Indicador de Probabilidad Temporal.....	97
2.3. Indicador de Probabilidad de que haya una fatalidad.....	98
2.4. Volumen de Suelo.....	100
2.5. Velocidad de Movimiento de Masa.....	100
2.6. Magnitud de Evento.....	101
2.7. Matriz de Consecuencias.....	102
2.8. Nivel de Consecuencias.....	102
2.9. Nivel de Vulnerabilidad Estimada.....	104
3. Comentarios finales sobre la Estimación de la Vulnerabilidad.....	106
CAPÍTULO VI.....	109
ESTIMACIÓN DEL RIESGO.....	109
4. Mapas Preliminares.....	110
4.5. Intensidad de lluvias (Tp):.....	112
5. Valuación de la Amenaza.....	112
6. Pendiente (Sr):.....	113

7. Litología (SI):	114
8. Humedad del suelo (Sh):	116
9. Intensidad sísmica (Ts):.....	117
10. Intensidad de lluvias (Tp):	119
11. Evaluación de los Parámetros Obtenidos.....	119
12. Análisis y Comentarios sobre la estimación del riesgo	123
13. Aplicación de la Amenaza a sistema SIG	124
14. Evaluación de Área de Estudio	124
15. Evaluación de la Amenaza Polígono #1	125
16. Calificación del Peligro a Deslizamiento, polígono 1	127
18. Resumen y Comentarios Finales.....	133
CAPÍTULO VII.....	135
GESTIÓN DE RIESGO	135
16. Gestión Preventiva.....	135
17. Gestión Correctiva	136
18. Gestión Reactiva	136
19. Mitigación y Prevención	137
20. Análisis de Taludes Críticos	138
20.1. Cálculo del Bloque deslizante metodología MAGAN.....	138
21. Señalización en zonas de Riesgo	145
22. Modificación de la Geometría del Talud	150
23. Estabilización de taludes y Control de Erosión con Vegetación	152
9.1. Estabilización de taludes y control de erosión por métodos físicos.....	154
24. Estructuras de Retención	155
10.1. Diseño de Muro de retención en voladizo.....	155

10.2. Diseño de Muro de Retención por gravedad.....	160
10.3. Comentarios y comparación muros de contención:	163
11. Acciones Recomendadas para la población.....	164
RECOMENDACIONES	171
BIBLIOGRAFÍA	173
ANEXOS.....	179
Anexo No. 1.....	179
Anexo No. 2.....	185
Anexo No. 3.....	186
Anexo No. 4.....	187
Anexo No. 5.....	188
Anexo No. 6.....	189
Anexo No. 7.....	190
Anexo No. 8.....	191
Anexo No. 9.....	192
Anexo No. 10.....	193
Anexo No. 11.....	194
Anexo No. 12.....	201
Anexo No. 13.....	205
Anexo No. 14.....	206

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano.....	11
Figura 2. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano.....	12
Figura 3. Partes de Talud Artificial	15
Figura 4. Partes de Talud Natural.....	16

Figura 5. Efectos directos e indirectos derivados de la ocurrencia de los deslizamientos de tierra.....	17
Figura 6. Efectos directos e indirectos derivados de la ocurrencia de los deslizamientos de tierra.....	19
Figura 7. Caídas de bloques por gravedad en roca fracturada.....	20
Figura 8. Caída de bloques rodando.....	20
Figura 9. Deslizamiento en suelos blandos.....	21
Figura 10. Flujos en diferentes velocidades.....	21
Figura 11. Esquema de una avalancha.....	22
Figura 12. Esquema de un proceso de reptación o Creep.....	23
Figura 19. Modelo Ordinario o de Fellenius.....	31
Figura 20. Análisis del ángulo de inclinación Método de Spencer.....	34
Figura 27. Rótulo de identificación, con adhesivo reflectivo aplicado.....	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cobertura Educativa, Municipio de San Martín Sacatepéquez de Quetzaltenango	10
Tabla 2. Clasificación del factor pendiente (Sr) según los rangos obtenidos.....	40
Tabla 3. Clasificación del factor litológico (SI) valorando la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas.....	41
Tabla 4. Clasificación de los valores medios mensuales de las precipitaciones.....	43
Tabla 5. Factor de humedad resultante (Sh) de la clasificación de los valores acumulados de los índices promedios de precipitación.....	43
Tabla 6. Determinación del factor de intensidad sísmica (Ts) como desencadenante en la generación de deslizamientos de tierra, utilizando valores de cien años (Escala Mercalli Modificada).....	43
Tabla 7. Factor de intensidad de precipitación (Tp) resultante de la clasificación de las precipitaciones máximas diarias durante un período de retorno de 100 años.....	44
Tabla 8. Clasificación de los valores de los parámetros del peligro de deslizamiento (HI), derivado de la ecuación inicial.....	45
Tabla 9. Estratos y fitomasa árboles en Manaus, Brasil.....	52

Tabla 10. Valores típicos del incremento en la cohesión del suelo debido a la acción de las raíces.....	53
Tabla 11. Indicador de probabilidad de falla.....	55
Tabla 12. Calificación de la probabilidad temporal	56
Tabla 13. Calificación de la probabilidad de que haya una fatalidad.....	57
Tabla 14. Escala de la falla.....	59
Tabla 15. Ponderación de la velocidad de falla	59
Tabla 16. Calificación de la magnitud del evento	60
Tabla 17. Calificación de la amenaza.....	60
Tabla 18. Matriz de consecuencias.....	61
Tabla 19. Calificación del nivel de consecuencias	62
Tabla 20. Niveles de riesgo evaluado.....	63
Tabla 21. Matriz de niveles de riesgo estimado	64
Tabla 33. Precipitación total anual y mensual histórica de la Estación Climatológica Colomba período	83
Tabla 35. Uso de suelo	86
Tabla 38. Aforo Vehicular en RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194.....	94
Tabla 43. Velocidad de Movimiento de Masa.....	101
Tabla 44. Calificación de magnitud del evento	101
Tabla 49. Geología del municipio de San Martin Sacatepéquez, Quetzaltenango.....	111
Tabla 50. Clasificación muestra el valor asignado para el parámetro Sr	113
Tabla 51. Litología	114
Tabla 52. Precipitación media mensual.....	116
Tabla 53. Valor acumulado de los índices de precipitación.....	117
Tabla 55. Precipitación máxima n>10 años, Tr = 100 años	119
Tabla 56. Parámetro Evaluado.....	120
Tabla 58. Calificación y características de la susceptibilidad al deslizamiento	122
Tabla 61. Calificación del Peligro a Deslizamiento, Polígono No.1	127
Tabla 62. Valor de la ecuación (HI), polígono No. 1	128
Tabla 63. Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento Polígono 1	128
Tabla 65. Cobertura vegetal y Uso de tierra por departamento.....	140

Tabla 66. Valores de parámetros para cálculos	142
---	-----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2. Perfil longitudinal de área de estudio	73
Gráfica 3. Gráfica de precipitación mensual desde al año 2001 al año 2022, estación Labor Ovalle, Quetzaltenango	83
Gráfica 5. Zonificación del riesgo a deslizamiento entre los kilómetros 236+000 al 238+194 RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez	132
Gráfica 6. Factor de seguridad vs Porcentaje de saturación	143
Gráfica 7. Factor de Seguridad vs Porcentaje de Saturación.....	144

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Fotografías de taludes en el área de estudio.....	74
Fotografía 2. Conformación de Calicata para posterior extracción de muestra	76
Fotografía 3. Calicata para extracción de muestra inalterada.....	76
Fotografía 4. Extracción de Muestra Inalterada	77
Fotografía 5. Muestra de suelo Inalterada	77
Fotografía 6. Sitio donde se realizó el aforo sobre la ruta RD QUE-03 kilómetro 237+10095	
Fotografía 7. Cobertura vegetal en área de Estudio.....	142
Fotografía 8. Instalación de Rótulo de Identificación en kilómetro 237+000.....	147
Fotografía 9. Señalización instalada en el kilómetro 237+000	147
Fotografía 10. Instalación de Rótulo de Identificación en kilómetro 236+000, en acompañamiento de director de COMRED.....	148
Fotografía 11. Rótulo de Identificación “ZONA DE DERRUMBES”, instalada en kilómetro 236+000	148
Fotografía 12. Instalación de Rótulo de identificación, km 236+500 ruta RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez.....	149
Fotografía 13. Instalación de Rótulo de identificación, km 236+500 ruta RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez.....	149

GLOSARIO

Ángulo de Fricción Interna	Es el ángulo máximo al cual un material puede ser inclinado antes de que comience a deslizarse internamente y pierda su cohesión. Representa la resistencia al deslizamiento entre las partículas del material y es una propiedad importante para comprender el comportamiento de suelos
Amenaza	Es un evento o fenómeno que es causado por fuerzas de la naturaleza y que tiene el potencial de causar daño, destrucción o perturbación a las personas, la infraestructura y el medio ambiente.
Cohesión	La cohesión del suelo es la fuerza interna que mantiene unidos los granos de un suelo y le proporciona cierta resistencia al corte y la deformación.
Desastre	Es una combinación de eventos o fenómenos de procesos naturales que generar pérdidas. Sin embargo, la interacción entre la actividad humana y el entorno natural puede aumentar la vulnerabilidad y el impacto de estos eventos.
Deslizamiento	El deslizamiento de tierra es el movimiento de un bloque o masa de suelo, roca y otros materiales en una pendiente debido a la gravedad, a menudo desencadenado por lluvias intensas, terremotos u otras fuerzas, que puede causar daños en la zona afectada.
Erosión	La erosión es el proceso natural o provocado por la acción del agua, viento, hielo u otros agentes, que desgasta y transporta gradualmente la superficie de la Tierra, removiendo suelo, rocas y sedimentos.

Riesgo	Probabilidad de que ocurra un evento natural adverso y cause daño o pérdida, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las personas, la infraestructura y el medio ambiente expuesto a esa amenaza.
Saturación	Grado en que los poros del suelo están llenos de agua en comparación con su capacidad total de retención de agua.
Sismo	Movimiento del suelo causado por el desplazamiento de una falla geológica.
Subducción	Es el proceso mediante el cual la corteza oceánica se desplaza y se introduce por debajo de la corteza continental. En el contexto de Guatemala, esto implica que la placa de Cocos se hunde bajo la placa del Caribe.
Talud	Una superficie inclinada con respecto a la horizontal es aquella que las estructuras en la tierra deben adoptar de manera permanente, ya sea debido a condiciones naturales o como resultado de la intervención humana en proyectos de ingeniería.
Vulnerabilidad	Susceptibilidad o fragilidad de una comunidad, infraestructura o medio ambiente para sufrir daños o impactos negativos debido a eventos naturales adversos. Estos eventos pueden incluir terremotos, inundaciones, tormentas, sequías, deslizamientos de tierra, entre otros.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de tierra o movimientos masivos de rocas y materiales no consolidados como suelos, lodo y derrubio volcánicos suponen un riesgo importante para la población y son mucho más comunes de lo que son percibidos. Según datos de la Organización de los Estados Americanos (OEA), los movimientos de masa fueron causantes del 17% de los desastres en Centroamérica durante el período de 1960-1995, solo por detrás de las inundaciones que representaron el 68% del total de los desastres (Lavado, 2008).

En Guatemala, las amenazas naturales en combinación con la alta vulnerabilidad a la ocurrencia de desastres naturales han generado pérdidas considerables, tanto humanas como materiales. Según Conde (2013), la evaluación del riesgo y la implementación de medidas de mitigación tiene como objetivo el reducir el número de pérdidas, esto justifica los esfuerzos por realizar un análisis de riesgo, muchos de estos puntos son generados a partir de cortes de taludes en las carreteras, debido a que las operaciones de la maquinaria favorecen la incidencia de movimientos de masa en laderas y porque modifican el ángulo natural de los taludes.

En la zona entre los kilómetros 236+000 al km 238+194 de la ruta departamental RD QUE-03, municipio de San Martín Sacatepéquez, del Departamento de Quetzaltenango, existe una prevalencia de eventos de remoción de masa o deslizamientos de tierra, que se manifiesta con constantes apariciones de volúmenes de tierra sobre la carretera y genera impactos sociales, económicos y ambientales. Este problema es abordado por el presente trabajo de investigación

En el presente trabajo se realiza una evaluación que permita determinar la susceptibilidad a deslizamientos, con la aplicación de una combinación de métodos que puedan adaptar los resultados esperados al área establecida de estudio. El sitio determinado para esta investigación se ubica entre los kilómetros 236+000 al km 238+194 de la ruta departamental RD QUE-03, municipio de San Martín Sacatepéquez, del Departamento de Quetzaltenango con características de un ancho de carretera de 8 metros, con asfalto como capa de rodadura. Como una contribución de esta investigación, se incluye un plan de mitigación para reducir la probabilidad de pérdidas

La presente investigación está dividida de la siguiente manera: capítulo 1, la descripción del problema y del caso de estudio, capítulo 2, presenta los componentes del problema y el impacto generado debido a los deslizamientos de tierra, capítulo 3, desarrollo de la metodología, capítulos, 4, 5 y 6 estimación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, respectivamente, por último, el capítulo 7 presenta propuestas de mitigación hacia la problemática del caso de estudio.

OBJETIVOS

General

- Analizar el riesgo de deslizamientos de tierra, del km 236+000 al km 238+194 de la ruta departamental RD QUE-03, municipio de San Martín Sacatepéquez, Departamento de Quetzaltenango, permitiendo informar a la Municipalidad de San Martín Sacatepéquez sobre sus procesos de ordenamiento territorial, medidas de mitigación y planes de prevención de riesgo.

Específicos

- Identificar la amenaza de ocurrencia de eventos de deslizamientos.
- Identificar las variables que operan como elementos desencadenantes o que exacerban los deslizamientos y sus impactos.
- Estimar las pérdidas humanas, económicas, materiales y sociales que se derivan de los deslizamientos.
- Realizar una clasificación de las zonas de riesgo a deslizamiento de tierra mediante una clasificación numérica y generar mapas de zonificación que indique los puntos de mayor y menor riesgo.
- Realizar la caracterización del suelo en el área de estudio mediante un estudio de mecánica de suelos, con el fin de comprender sus propiedades físicas, químicas y su capacidad de carga.
- Diseñar una propuesta de mitigación que ayuden a disminuir el riesgo de probabilidad a accidentes a largo plazo en este sector.

CAPÍTULO I

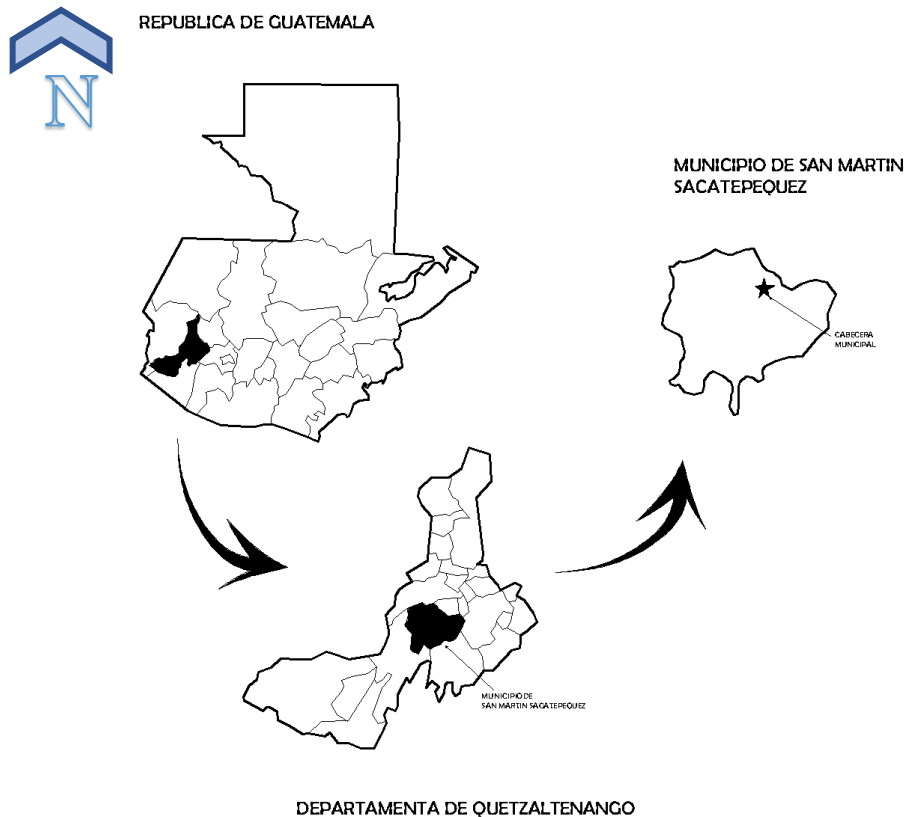
ESTUDIO MONOGRÁFICO

En este primer capítulo se permitirá conocer la información esencial sobre el lugar de estudio y las características que lo hacen relevante como sujeto de estudio en los deslizamientos de suelo.

1.1. Ubicación Geográfica

El municipio de San Martín Sacatepéquez posee una extensión terrestre de 143.85 Km² ubicándose en la parte central del Departamento de Quetzaltenango. La cabecera se encuentra localizada en las coordenadas 14°49'22" N latitud y 91°38'33" O longitud a una altura de 2,490 m.s.n.m. Se representa de manera gráfica la ubicación tanto del departamento como de la cabecera del mismo.

Mapa 1. Ubicación Municipio de San Martín Sacatepéquez, del Departamento de Quetzaltenango



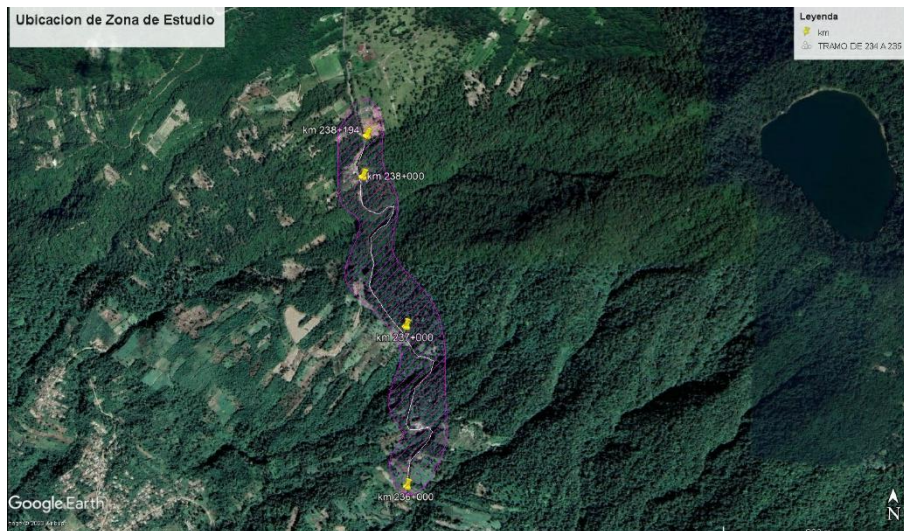
Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

Mapa 2. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano



Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

Mapa 3. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano



Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

El Municipio de San Martín Sacatepéquez se encuentra a 19 km de la cabecera departamental de Quetzaltenango y a 218 km de la Ciudad Capital de Guatemala por la Ruta Departamental RD QUE-3. Esta ruta comunica a los municipios de San Juan Ostuncalco, San Mateo y Concepción Chiquirichapa.

1.2.Territorio

El municipio de San Martín Sacatepéquez cuenta con una extensión territorial de 100 km².

1.3.Orografía

En San Martín Sacatepéquez los cerros existentes son los Tuitzcanel y Tuitzjabaj, así como el volcán Chicabal y el Volcán Siete Orejas. Por su parte el Cerro Tuitzcanel es uno de los cerros presentes en San Martín Sacatepéquez, el Cerro Tuitzcanel es parte del paisaje natural de esta área. Similar al Cerro Tuitzcanel, el Cerro Tuitzjabaj es otra elevación de terreno en la región de San Martín Sacatepéquez. Ambos cerros pueden tener importancia tanto geográfica como cultural para la comunidad local. El Volcán Chicabal es un volcán ubicado en esta área. Puede haber sido una fuente importante de actividad geológica en el pasado y puede tener un cráter en su cima. Y, el Volcán Siete Orejas es otro volcán presente en la región, su nombre puede referirse a características particulares de su forma o a alguna característica histórica o cultural asociada con él.

1.4.Hidrografía

En el municipio se encuentra ubicada la Laguna de Chicabal, así como los ríos: Colon, Mujulia, Ocosito, Nil, Dolores, etc. Riachuelos como los: Lenchijol, Tojcom, Talxucuche, etc.

1.5.Clima

En el municipio de San Martín Sacatepéquez se encuentran ubicadas dos zonas de vida (regiones biogeográficas que se encurtan delimitadas por parámetros climáticos tales como precipitaciones y temperatura), debido a que al norte del municipio el clima es frío, al sur del municipio o boca costa el clima es predominantemente templado/cálido. La presencia de este factor se hace presente en la diversidad de fauna y flora en este punto (Plan de Desarrollo Municipal de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango, 2012).

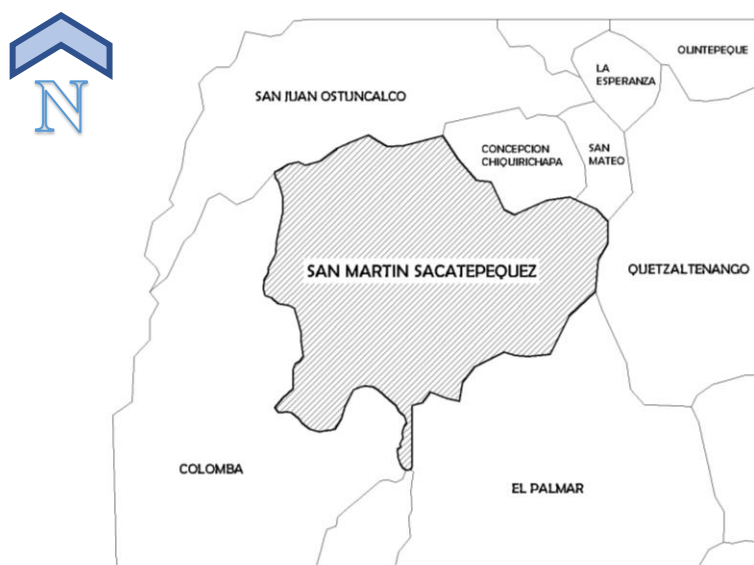
1.6.Agricultura

La alta fertilidad del suelo debido a la gran existencia de agua en el territorio, permite que la agricultura en este sector sea abundante. Como actividades principales de agricultura se mencionan la siembra de café, hortalizas, papa y maíz.

1.7.Colindancias

Entre los municipios que se encuentran colindantes al municipio de San Martín Sacatepéquez, está el municipio de Concepción Chiquirichapa y San Juan Ostuncalco al este, al sur colinda con los municipios de Colomba Costa Cuca y el municipio del Palmar, al lado oeste colinda con el municipio de Colomba Costa Cuca.

Mapa 4. Colindancias del Municipio de San Martín Sacatepéquez del Departamento de Quetzaltenango

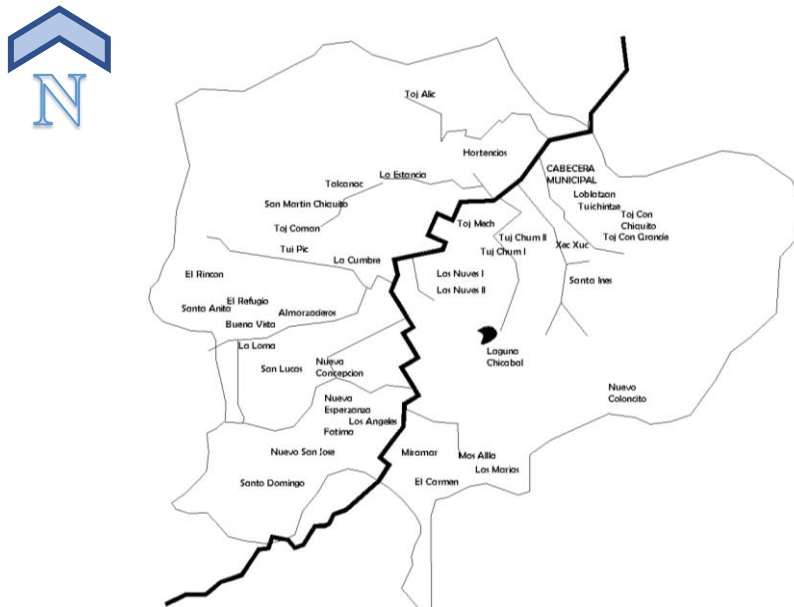


Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

1.8.Conformación Territorial

El municipio de San Martín Sacatepéquez cuenta con 3 barrios, 5 sectores, 23 caseríos y 13 aldeas. Distribuidos de manera espacial como se muestra a continuación.

Mapa 5. Distribución Espacial del Municipio de San Martín Sacatepéquez del Departamento de Quetzaltenango.



Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

1.9.Población

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en su censo realizado en el año 2002, para el municipio de San Martín Sacatepéquez, se esperaba para el año 2018 un total de 29,497 habitantes para los que la representación de mujeres sería el 55% con un total de 16,343 y el 45% representan a los hombres con un total de 13,154. Del total representado se estableció el 64% como juventud, adolescencia y niñez, los adultos mayores y adultos representan el 36%.

Con estos datos se estimó una densidad poblacional de 205 hab/km² (habitantes por kilómetros cuadrado) en los porcentajes y tipo de personas mencionadas anteriormente.

1.10. Educación

En el municipio de San Martín Sacatepéquez, el porcentaje de escolaridad representa el 50.70% según lo indica el Anuario Estadístico del Ministerio de Educación en el año 2018, de este porcentaje el nivel primario tiene una tasa de cobertura del 91.20% y mientras el nivel primario posee una tasa de cobertura del 5.32%.

En el año 2016 el promedio de deserción de estudiantes represento el 3.65% de los estudiantes totales ingresados, sumado a la baja cobertura educativa nos muestra una cobertura neta de 47.05%.

Tabla 1. Cobertura Educativa, Municipio de San Martín Sacatepéquez de Quetzaltenango

Nivel Educativo	Total, brutal de Cobertura			Tasa de Deserción Intra Anual			Total, Establecimientos Educativos
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	
Preprimaria	68.81 %	73.78%	66.25%	2.48%	2.73%	2.22%	45
Primaria	91.20%	94.95%	87.84%	3.93%	4.04%	3.83%	42
Básicos	36.39%	42.26%	31.20%	4.54%	4.61%	4.46%	20
Diversificado	5.32%	5.98%	4.75%	-1.20%	-2.62%	0.00%	8

Fuente: Elaboración propia, con base en datos Departamento de Análisis de Investigación Socio-Delictual, UPCV 2019.

1.11. Salud

En el municipio de San Martín Sacatepéquez se encuentran contemplados los siguientes centros de atención de salud pública, según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social:

- Centro de Atención Permanente CAP
- Puesto de Salud Santa Anita
- Puesto de Salud Las Nubes

1.12. Justicia y Seguridad

Según la Política Municipal para la Prevención de la Violencia y el Delito del 2021 en el municipio de San Martín Sacatepéquez se encuentran contemplados los siguientes centros de justicia:

- Subestación 41-34 Policía Nacional Civil
- Fiscalía Distrital del Ministerio Público²², Quetzaltenango

- Juzgado de Paz, Organismo Judicial
- Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala -INACIF-
- Procuraduría General de la Nación, PGN
- Instituto de la Defensa Pública
- Penal, IDPP

1.13. Características del área de estudio en la Ruta Departamental RD QUE - 3, Municipio de San Martín Sacatepéquez

El área de estudio se ubica en la zona occidente de Guatemala, entre los kilómetros 236+00 al 238+194 de la Ruta Departamental RD QUE-3, en la red vial de Guatemala en el registro de la Dirección General de Caminos anotada como RD-QUE-03-02 Colomba – San Juan Ostuncalco. Ubicado en el municipio de San Martín Sacatepéquez, con un ancho constante de calzada de 6 metros, con carpeta asfáltica como área de rodadura.

La topografía se presenta irregular con fuertes pronunciamientos de pendientes en algunos sectores y suaves pendientes por otros tramos carreteros.

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano



Fuente: Red Vial Dirección General de CAMINOS, Programa de Mantenimiento de Carreteras.

Figura 2. Ubicación del Área de Estudio y Poblados cercano



Fuente: Elaboración propia, con base en Google Earth Pro.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

En este capítulo se conocerán conceptos y definiciones que se aplicaron a los métodos de análisis necesario para llevar a cabo esta investigación. Basado en la bibliografía documentada sobre el tema de deslizamientos, esta sección incluye aspectos descriptivos cualitativos y cuantitativos que definen los rangos y parámetros de cálculo, estimaciones y diseño para el abordaje de este trabajo.

Como parte de las generalidades se hace la siguiente salvedad, sobre el título de este trabajo de investigación, el cual es: ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, y es el uso de la terminología Tierra, ya que el concepto (técnico) en realidad es suelo, sin embargo con base a la experiencia en campo, tierra es un concepto que las municipalidades y las comunidades utilizan con mayor frecuencia y la razón de uso de este término se debe a que se desea hacer este trabajo de una manera más accesible.

1. Talud

Un talud es una pendiente inclinada que se encuentra en la superficie del suelo o en estructuras construidas, ya sea de forma natural o creada por la intervención humana. Al momento de tener una intervención humana en algunos casos se recurre a la seguridad y a la prevención por medio de la estabilización de taludes, involucrando cálculos y análisis que involucren la resistencia a cortante del suelo explorado. Al momento de realizar un análisis de estabilidad de suelos, es necesario tomar en cuentas distintos factores y procesos como lo son la estratigrafía, resistencia del suelo a cortante, extracción de muestra in situ, selección y riesgos de áreas potenciales a deslizamiento (Reyes, 2020).

Según Brajas (2015), la estabilidad de los taludes se ve determinado por la combinación de dos tipos de factores, estos son los factores externos y los factores internos, esto se refiere a los factores propios de los suelos y a los efectos aportados por esfuerzos que ponen a prueba la resistencia del material del talud.

Las propiedades pueden definirse como (Sánchez y Urrego, 2011):

1.1. Factores Internos

- **Geomorfológicos:** Toma en cuenta dos factores la morfodinámica, llamado así al proceso de erosión y estabilidad del talud y la morfometría, que se refiere a la forma del talud o ladera.
- **Geotécnicos:** Representa propiedades físicas como la humedad, la densidad y el grado de saturación y propiedades mecánicas como deformación del suelo y estados de esfuerzo, igualmente propiedades hidráulicas como la difusividad y permeabilidad.
- **Geológicos:** Factores como la litología, el grado de meteorización y la estructura del talud. Tomando en cuenta el origen de los bancos de materiales en algunos casos se pueden encontrar de manera muy suelta y aumenta la probabilidad de deslizamientos.
- **Hidrogeológicos:** Se refiere al tipo y capacidad de drenaje de la cuenca pudiendo ser de tipo superficial, subsuperficial y subterránea.

1.2. Factores Externos

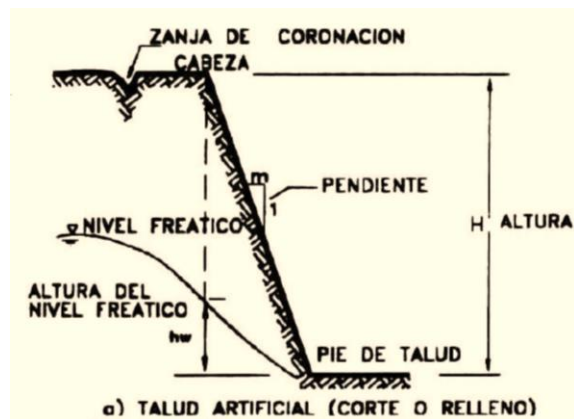
- **Clima:** Factor clave en la inestabilidad de taludes o laderas, la lluvia satura la superficie y facilita el aumento de peso volumétrico del suelo y al mismo tiempo reduce la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante. El movimiento de líquidos ocasiona socavamientos, deslaves y cambio en la geometría del talud.
- **Sismos:** Las consecuencias de las ondas sísmicas en los taludes son sumamente alto, causando inestabilidad y caída de volúmenes de suelo, aumentando el riesgo con base en el tipo de suelo y topografía de la región.
- **Antrópicos:** Productos de la actividad humana que se ha desarrollado como parte de trabajos agrícolas y de deforestación.

1.3. Partes del Talud

Un talud o ladera está compuesta por una serie de partes importantes que delimitan sus áreas de influencia como se indica a continuación (Mendoza C., s.f.).

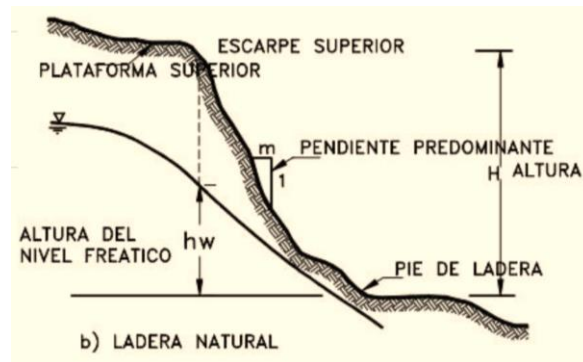
- **Altura:** La altura corresponde a la distancia que existe entre la cabeza y el pie del talud, en estructuras intervenidas por el hombre esta distancia es bastante clara, mientras en estructuras naturales como laderas es complicado cuantificar este parámetro.
- **Pie:** Corresponde al punto de cambio súbito en la parte inferior del talud con respecto a la vertical.
- **Cabeza o Escarpate:** Corresponde al punto de cambio súbito en la parte superior del talud con respecto a la vertical.
- **Altura al Nivel Freático:** Se define como la distancia que existe entre el pie del talud y el inicio del nivel de agua. El nivel freático se suele medir por debajo de la cabeza del talud.
- **Pendiente:** Corresponde a la medida de inclinación con respecto a la horizontal por parte del talud, es posible representar esta medida en grados ($^{\circ}$), en porcentaje (%) o en relación m/1.

Figura 3. Partes de Talud Artificial



Fuente: Cristhian C. Mendoza B. Geotecnia-Universidad Nacional- Sede Manizales.

Figura 4. Partes de Talud Natural



Fuente: Cristhian C. Mendoza B. Geotecnia-Universidad Nacional- Sede Manizales.

2. Deslizamientos de Tierra

Los deslizamientos de tierra se presentan como movimientos súbitos o leves en forma descendente que se producen en laderas con poca o mucha pendiente, laderas montañas y cerros (Monzon, 2013).

Como lo indica Major (2001), en un deslizamiento existen distintos elementos desencadenantes como lo pueden ser los problemas erosivos, movimientos de agua, gravedad, características del material y pendiente de terreno. Un deslizamiento ocurre al momento en el que la resistencia al cortante del suelo es superada, a lo largo de una o varias partes de la superficie. Los deslizamientos están conformados por varias etapas:

2.1. Etapa previa de la rotura

Se presentan deformaciones mínimas en el talud en muchas ocasiones no son visibles y en este punto no se ha realizado el desprendimiento de la masa en movimiento con el terreno natural.

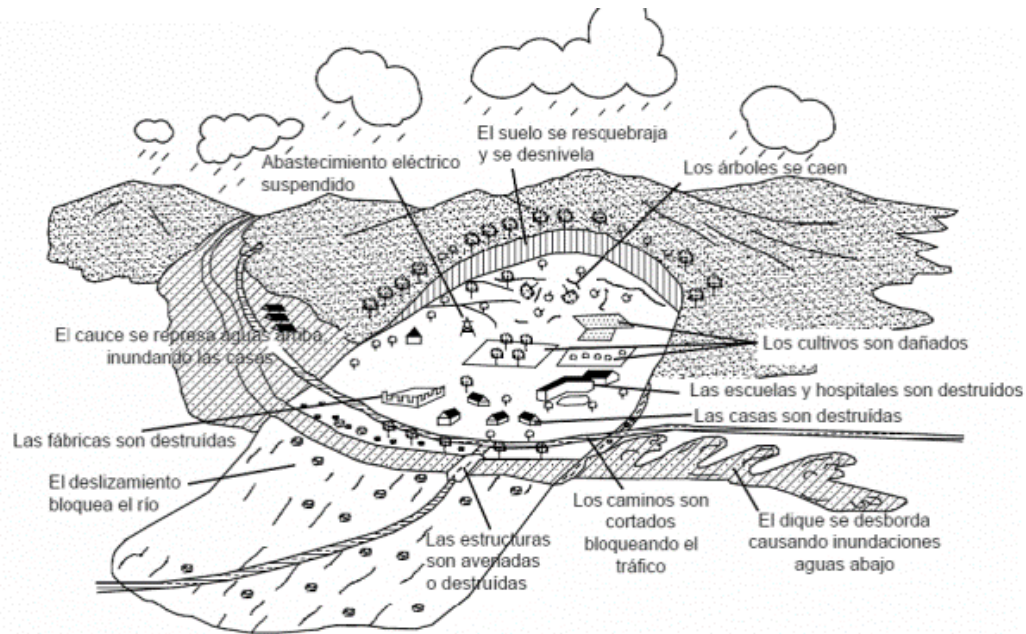
2.2. Etapa de rotura

Momento en el que se genera una fragmentación de manera continua en el terreno, desde el momento inicial con movimientos súbitos hasta el estancamiento con el acomodo de las piezas separadas.

2.3. Etapa de reactivación

Se presentan como acontecimientos de reactivación de movimientos de masas, debido a roturas generadas con anterioridad, pueden ser movimientos rápidos o lentos. Cada etapa se presenta de manera distinta.

Figura 5. Efectos directos e indirectos derivados de la ocurrencia de los deslizamientos de tierra



Fuente: Foro Estabilidad de Taludes: Análisis Retrospectivo del Deslizamiento Barrio La Sultana, 2013.

3. Nomenclatura de un Deslizamiento de Tierra

Un deslizamiento de tierra está compuesto por varias partes o elementos que contribuyen a su formación y comportamiento. A continuación, se describen las principales partes de un deslizamiento de tierra (Cristhian C. Mendoza B. Geotecnia-Universidad Nacional-Sede Manizales):

3.1. Zona de aporte o área fuente

Es la región donde se origina el deslizamiento. Puede ser una ladera o pendiente inestable donde se acumula el material suelto o rocas. Factores como la inclinación del terreno, la

erosión, la infiltración de agua o eventos sísmicos pueden desencadenar la movilización del material.

3.2.Superficie de falla

Es la zona a lo largo de la cual se produce la separación o ruptura del material, generando el deslizamiento. Es la parte crítica del deslizamiento y puede ser una superficie plana, inclinada o curva, dependiendo de las características del terreno y el tipo de deslizamiento.

3.3.Masa deslizante

Es la porción del terreno que se desprende y se desplaza a lo largo de la superficie de falla. Puede estar compuesta por suelo, rocas, vegetación u otros materiales presentes en la ladera. La masa deslizante puede tener diferentes formas y volúmenes, desde pequeños deslizamientos de tierra hasta grandes avalanchas de rocas.

3.4.Zona de acumulación

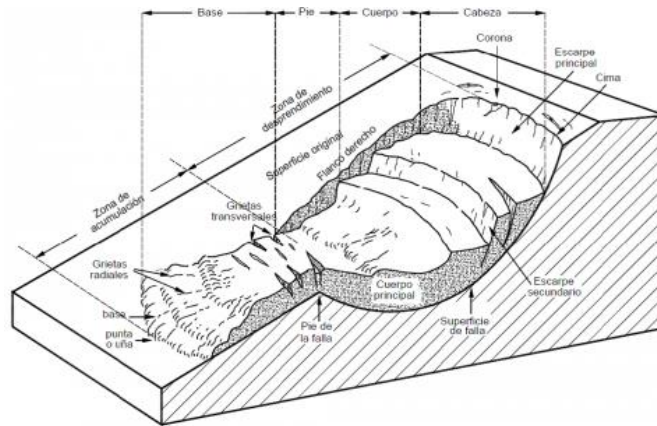
Es la región donde se deposita el material deslizado. Puede ser en la base de la ladera, en un terreno inferior o en un cuerpo de agua cercano. La zona de acumulación suele presentar una acumulación de material suelto o escombros, que puede bloquear cursos de agua o generar represamientos.

3.5.Zona de esparcimiento

Es el área donde se extiende el material deslizado más allá de la zona de acumulación. El material puede dispersarse en forma de abanicos o conos de escombros, cubriendo áreas más amplias y causando daños adicionales.

Estas son las partes principales de un deslizamiento de tierra. Es importante comprender cada una de ellas para evaluar los riesgos asociados, diseñar medidas de mitigación y realizar una gestión adecuada de los deslizamientos de tierra.

Figura 6. Efectos directos e indirectos derivados de la ocurrencia de los deslizamientos de tierra



Fuente: Foro Estabilidad de Taludes: Análisis Retrospectivo del Deslizamiento Barrio La Sultana, 2013.

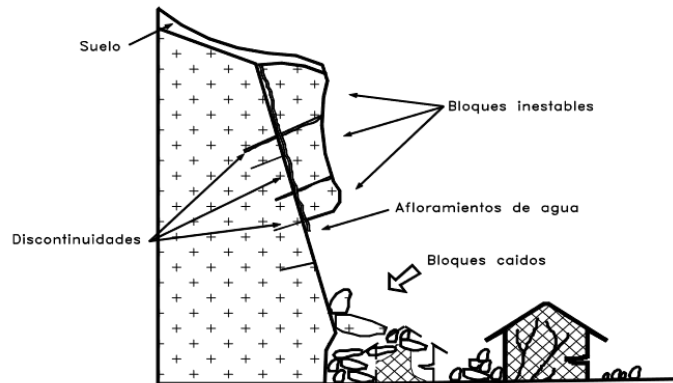
4. Clasificación de los Movimientos en Masa

El sistema de clasificación propuesto por Varnes (1978) para los movimientos en masa se utiliza ampliamente en la Ingeniería Geotécnica e Ingeniería Civil. Este sistema categoriza los principales tipos de movimientos en función de sus características y mecanismos. A continuación, se presentan las categorías principales de movimientos en masa según la clasificación de Varnes:

4.1. Caída

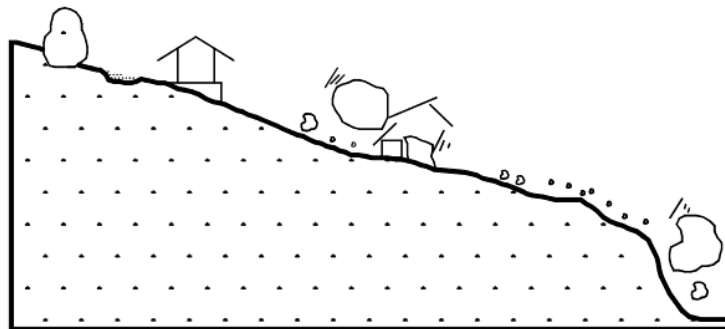
Movimiento en masa caracterizado por el desplazamiento vertical del material desde una posición elevada a una posición inferior.

Figura 7. Caídas de bloques por gravedad en roca fracturada



Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.12.

Figura 8. Caída de bloques rodando

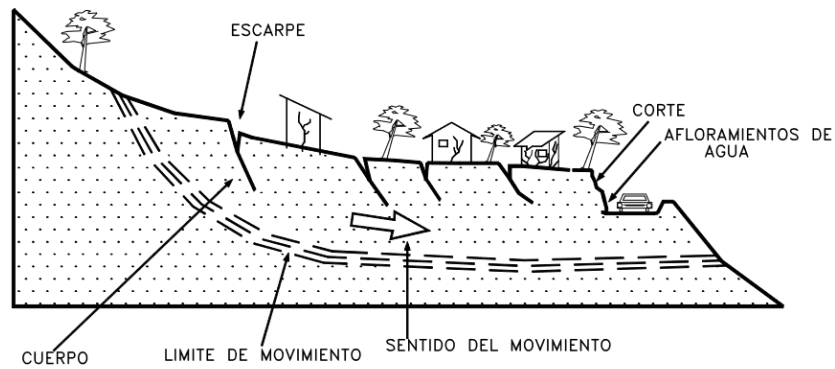


Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.12.

4.2.Deslizamiento

Movimiento en masa en el que el material se desliza a lo largo de una superficie de falla definida. Puede ser rotacional o traslacional, dependiendo del tipo de movimiento del material.

Figura 9. Deslizamiento en suelos blandos

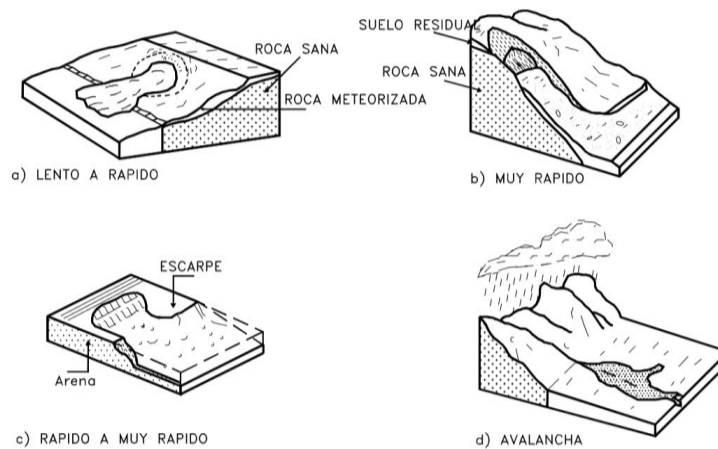


Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.16.

4.3. Flujo

Movimiento en masa caracterizado por la deformación plástica y el flujo del material. Puede ser flujo de escombros, flujo de lodo, flujo de tierra o flujo de rocas, dependiendo de las propiedades y la composición del material.

Figura 10. Flujos en diferentes velocidades

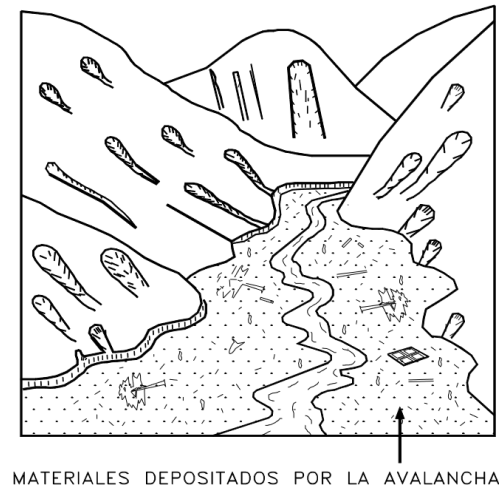


Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.22.

4.4. Avalancha

Movimiento en masa rápido y violento, generalmente asociado con pendientes pronunciadas y altas velocidades de desplazamiento. Puede ser una avalancha de nieve, una avalancha de escombros o una avalancha de rocas.

Figura 11. Esquema de una avalancha

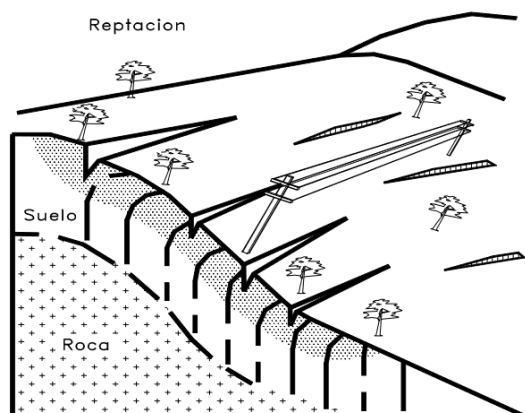


Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.23.

4.5.Creep

También llamado reptación se muestra como un movimiento lento y gradual del suelo o roca a lo largo de una superficie de falla. Suele ser imperceptible a simple vista, pero puede causar deformaciones y daños a largo plazo.

Figura 12. Esquema de un proceso de reptación o Creep



Fuente: Diaz Suarez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. p.15.

Es importante tener en cuenta que algunos movimientos en masa pueden incluir diferentes componentes y mecanismos, y que la clasificación de Varnes proporciona una guía general para identificar y describir estos movimientos. Además, es crucial evaluar las condiciones específicas del sitio y considerar factores como la geología, la topografía, las condiciones climáticas y la actividad humana para comprender plenamente los movimientos en masa y tomar medidas adecuadas de prevención y mitigación (Suarez Diaz, J. 1998).

5. Análisis de estabilidad de taludes

Los métodos de estabilidad de taludes se refieren a un conjunto de técnicas y análisis utilizados en Ingeniería Geotécnica para evaluar y predecir la estabilidad de pendientes naturales o excavadas en terrenos, como laderas de montañas, cortes en carreteras, presas y otros tipos de estructuras. Estos métodos buscan determinar si una pendiente o talud se mantendrá estable bajo las condiciones de carga, presión del agua, erosión y otros factores que puedan afectar su integridad (Ramírez, 2015).

En esencia, los métodos de estabilidad de taludes permiten a los ingenieros determinar si un talud está en riesgo de colapsar o deslizarse debido a factores como la geología del terreno, la saturación del suelo, la presión del agua, la acción de las fuerzas naturales (como

terremotos o lluvias intensas) y las cargas aplicadas por estructuras cercanas. Estos métodos involucran cálculos matemáticos, análisis geotécnicos y modelado computacional para evaluar la seguridad y, cuando es necesario, proponer medidas de mitigación o estabilización para evitar desastres geotécnicos (Estrada, 2014).

5.1.Muros de Gravedad

Los muros de gravedad son estructuras convencionales de contención, los cuales obtienen su soporte por la acción de su peso solamente. Son elementos principalmente pasivos, los cuales soportan cargas laterales por la tendencia del suelo a moverse. La altura que puede usarse en los muros de gravedad es muy limitada, especialmente cuando se encuentra cimentada sobre suelos arcillosos; sin embargo, a pesar de sus limitaciones, los muros de gravedad y en voladizo se utilizan con mucha frecuencia para la prevención y remedio de amenazas a deslizamientos de tierra.

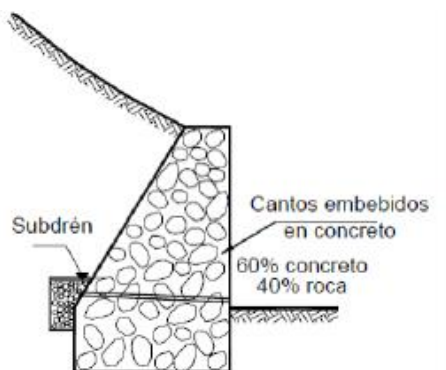
Ventajas

Una de las ventajas de utilizar este tipo de muro se encuentra en que son muy similares a los de concreto simple; utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, lo que disminuye los volúmenes de concreto y que, por lo tanto, son generalmente más económicos que los de concreto simple o reforzado.

Desventajas

La contraparte de utilizar este tipo de muro es que se requiere una muy buena cimentación; no soportan esfuerzos de flexión grandes (aunque eso se ajusta utilizando vigas y/o columnas de acero) y, por último, que se requiere la disponibilidad de bloques de roca.

Figura 13. Sección típica de muro de gravedad de concreto ciclópeo



Fuente. Suarez (2012)

5.2.Muros de Concreto Simple

Los muros de concreto simple o sin refuerzo son masas relativamente grandes de concreto, las cuales trabajan como estructuras rígidas, actúan como estructuras de peso o gravedad y se recomienda no emplear alturas superiores a cuatro metros, debido no sólo al aumento de costos, sino a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por el concreto y se pueden presentar roturas a flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento.

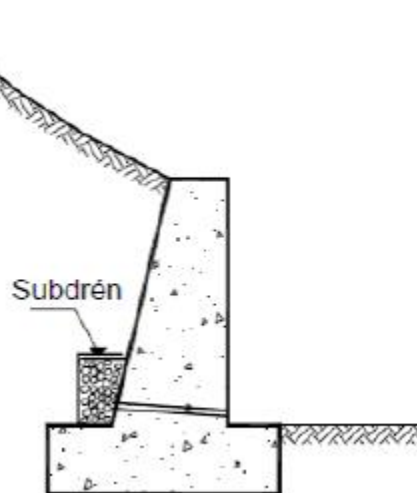
Ventajas

Son relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para mejorar su apariencia.

Desventajas

Se requiere una muy buena fundición y no permiten deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado antes de que puedan trabajar efectivamente. En general, resultan poco económicos para alturas mayores de tres metros.

Figura 14. Sección típica de muro de concreto simple



Fuente. Suarez (2012)

5.3. Muros a gravedad de concreto armados

Los muros de concreto reforzado son relativamente esbeltos y comúnmente en forma de L, con relleno en tierra por encima de la cimentación. Una estructura de concreto reforzado resiste las fuerzas de un movimiento, debido principalmente, a la presión de la tierra sobre el muro. El muro, a su vez, debe apoyarse en una cimentación por fuera de la masa inestable.

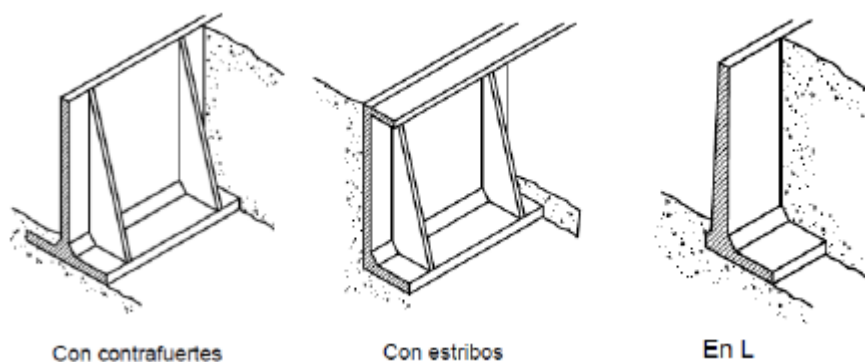
Ventajas

Los muros de concreto reforzado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a ocho metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia. En la mayoría de los casos es necesario colocar un dentellón o “tacón de cortante” para mejorar la resistencia al deslizamiento. Este dentellón debe tener refuerzo suficiente para resistir los esfuerzos de cortante.

Desventajas

Requieren de buen piso de cimentación. Son poco económicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su escaso peso los hace menos efectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.

Figura 15. Tipos de muros de gravedad armados



Fuente. Suarez (2012)

Anclajes

Un anclaje es un elemento estructural instalado en suelo o roca, utilizado para transmitir una carga de tensión superficial a un manto de soporte profundo para de esta forma proveer un esfuerzo que resiste los producidos por la inestabilidad de las estructuras.

Actualmente, los anclajes son una de las principales herramientas que tiene la ingeniería para resolver problemas de estabilidad, como ejemplos de aplicación de las estructuras

ancladas pueden mencionarse:

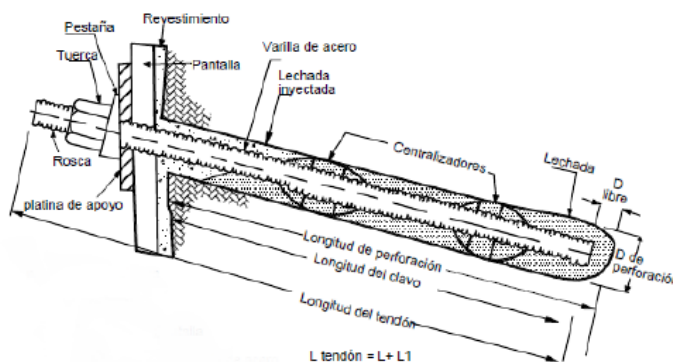
- Estabilización de taludes.
- Estabilización de excavaciones profundas.
- Control de levantamiento de cimentaciones.
- Construcción de presas.
- Estabilización de túneles.

Los anclajes se pueden clasificar según su forma de trabajo en: anclajes pasivos y anclajes activos.

Los pernos, clavos y micropilotes son inclusiones pasivas de refuerzo de acero con lechada de cemento, colocadas dentro de una masa de suelo o roca, con el objeto de mejorar su estabilidad. Los pernos se utilizan principalmente en macizos de roca para evitar movimientos relativos de los bloques. Los clavos se colocan en suelos residuales o materiales relativamente duros para dar rigidez los taludes, y los micropilotes son estructuras pasivas de soporte o estabilización.

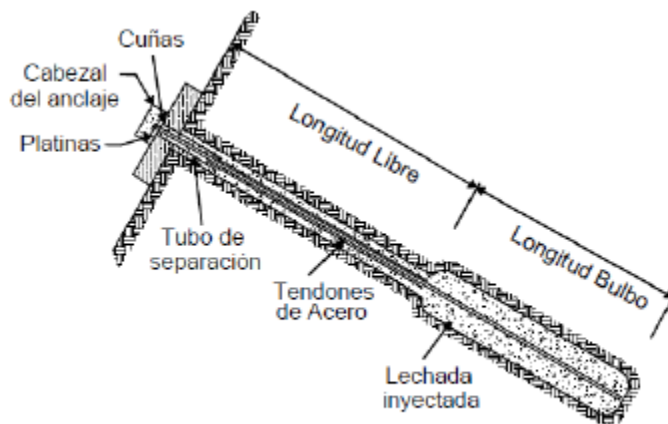
Los tres sistemas son similares en su estructura, pero su mecanismo de trabajo es diferente. Las inclusiones pasivas son utilizadas con mucha frecuencia como herramienta de estabilización, especialmente en taludes de carreteras.

Figura 16. Detalle de sección de elementos de Anclajes Pasivos.



Fuente. Suarez (2012)

Figura 17. Sección de anclaje activo típico.



Fuente. Suarez (2012)

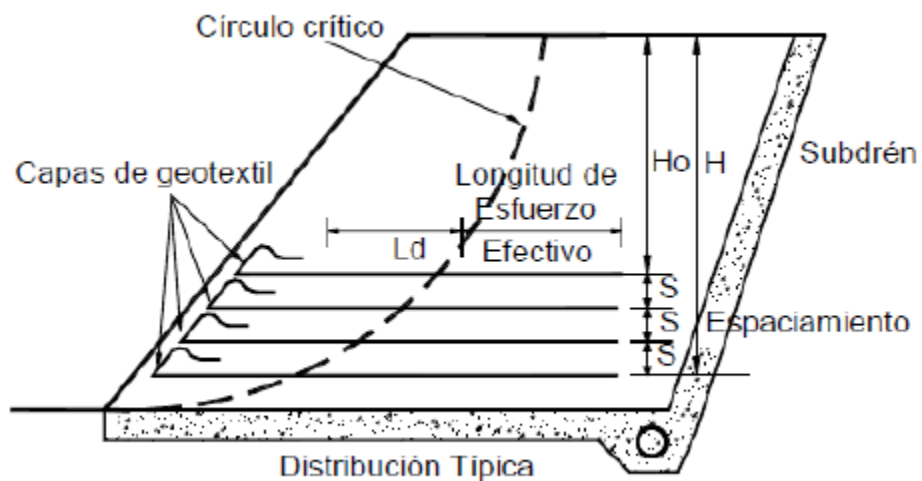
5.4. Geosintéticos

Las estructuras de suelo reforzado consisten en la colocación de tiras o capas de refuerzo en el proceso de compactación de terraplenes con taludes de alta pendiente. Internamente, deben su resistencia principalmente al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir. Utilizan el suelo como su principal componente y pueden adaptarse fácilmente a la topografía (Schaefer, 1997).

Permite construirse sobre fundaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y puede demolerse o repararse fácilmente; pero, se requiere espacio disponible superior al de cualquier otra estructura de contención.

La tierra reforzada moderna fue inventada y patentada por el arquitecto francés Henri Vidal en los años sesenta, y llegó a América en 1972. Originalmente se utilizaron láminas de acero. Posteriormente, se han utilizado mallas metálicas y geosintéticos. Estos muros se le conocen como muros de “tierra mecánicamente estabilizada” MSE, debido a que los términos “Tierra reforzada” y “Tierra armada” son objeto de patentes. Existen básicamente dos tipos de estructura de suelo reforzado: muros de tierra mecánicamente estabilizada y taludes reforzados.

Figura 18. Suelo reforzado con geotextil



Fuente. Suarez (2012)

5.5. Análisis de Talud Crítico

5.5.1. Método de equilibrio límite

El método del equilibrio límite es un enfoque de análisis utilizado en Ingeniería Geotécnica y Estructural para evaluar la estabilidad de estructuras y elementos de construcción, como muros de contención, presas, taludes, entre otros. Se basa en el principio fundamental de que una estructura está en equilibrio si la resistencia interna de los materiales es igual o mayor que las cargas y fuerzas externas que actúan sobre ella. En esencia, el método del equilibrio límite busca determinar la carga máxima que una estructura o elemento puede soportar antes

de que se produzca un colapso o una pérdida de estabilidad. Para lograrlo, se consideran varios factores, como la resistencia del material, la geometría de la estructura y las condiciones de carga. Este análisis se lleva a cabo utilizando ecuaciones y cálculos matemáticos para identificar el "punto de ruptura" o la carga crítica en la que la estructura está al borde de la inestabilidad (Catanzariti, 2016).

$$F = \tau_f / \tau \quad (1)$$

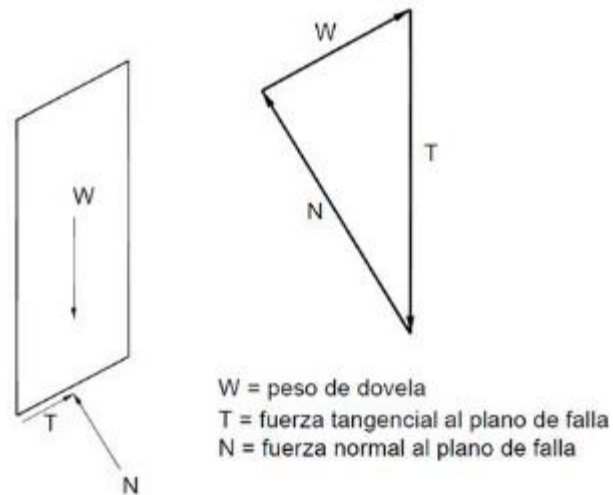
En ingeniería civil, el término de factor de seguridad es utilizado para determinar el grado de amenaza que tiene un talud, el factor de seguridad es la relación que existe entre la resistencia disponible y el esfuerzo que actúa sobre un talud (Fellenius, 1927).

$$F.S = \frac{\text{Momento Resistente Disponible}}{\text{Momento Actuante}} \quad (2)$$

5.5.2. Método de Fellenius

El método de Fellenius es una técnica de análisis utilizada en Ingeniería Geotécnica para evaluar la capacidad de carga de cimientos superficiales, como zapatas y pilotes, que se apoyan en suelos cohesivos, es decir, suelos que contienen arcilla o limo y que tienen propiedades de cohesión. Este método se utiliza para determinar la capacidad de carga admisible de un cimiento, es decir, la carga máxima que puede soportar sin que se produzca una falla geotécnica. La técnica de Fellenius se basa en una serie de ecuaciones y cálculos que consideran las propiedades del suelo, como la resistencia a la compresión no drenada, la cohesión y el ángulo de fricción interna. También tiene en cuenta la geometría del cimiento y las condiciones de carga (Fellenius, 1927).

Figura 13. Modelo Ordinario o de Fellenius



Fuente. Fellenius, 1927.

El factor de seguridad es calculado mediante la relación de la sumatoria de momentos resistentes y la sumatoria de momentos actuantes.

$$F.S = \frac{\Sigma (c\beta + N\tan\phi)}{\Sigma S\text{en}\alpha} \quad (3)$$

C = Cohesión del ángulo

Φ = Ángulo de fricción del suelo

β = Ángulo de inclinación del talud

N = Fuerza normal ()

W = Peso de la dovela

α = Ángulo de inclinación de la superficie de falla

5.5.3. Método de Bishop simplificado

El método de Bishop es una técnica de análisis ampliamente utilizada en Ingeniería Geotécnica para evaluar la estabilidad de taludes y laderas de terrenos. Este método se emplea para determinar si un talud o pendiente de suelo es estable o si está en riesgo de colapsar

debido a las cargas, las condiciones geotécnicas y los factores ambientales que actúan sobre él. Se basa en el principio del equilibrio límite, que establece que un talud estará en equilibrio si la suma de las fuerzas que lo estabilizan (como la resistencia del suelo) es igual a la suma de las fuerzas que lo hacen inestable (como el peso propio del suelo y las cargas externas). El análisis implica la evaluación de parámetros geotécnicos, como la cohesión del suelo y el ángulo de fricción interna, así como la geometría del talud y las condiciones de carga (Bishop ,1955).

$$FS = \frac{1}{\sum (W \text{Sen}\alpha)} * \left(c\beta + W \text{Tan}\phi * (\text{Cos}\alpha + \frac{\text{Sen}\alpha \text{Tan}\alpha}{FS}) \right) \quad (4)$$

C = Cohesión del suelo

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

β = Longitud de la superficie de falla

W = Peso de la dovela

Mediante el uso del factor de seguridad, el método puede llevarse a una solución por tanteo.

5.6. Método de Janbu Simplificado

El Método de Janbu Simplificado es una técnica de análisis utilizada en Ingeniería Geotécnica para evaluar la estabilidad de taludes y laderas de terrenos. Este método es una simplificación del método original desarrollado por el ingeniero noruego Einar Janbu y se utiliza para determinar si un talud o pendiente de suelo es estable o si existe riesgo de colapso debido a las cargas, las condiciones geotécnicas y otros factores ambientales que afectan su estabilidad. A diferencia del método completo de Janbu, que involucra cálculos más complejos y detallados, el Método de Janbu Simplificado se enfoca en simplificar el proceso de análisis (Janbú 1973).

El método Bishop simplificado, toma en cuenta las fuerzas que interaccionan en un estado equilibrio, El método utiliza el factor de corrección para establecer posibles errores, se toman factores de seguridad bajos (Fredlund & Krahn, 1977).

$$FS = \frac{(\sum ci(Cos\alpha) + (P - u)Tan\phi Cos\alpha)}{\sum P(Sen\alpha) + \sum kW \pm A - LCos\alpha} \quad (4)$$

FS = Factor de seguridad

C = Cohesión del suelo

Φ = Ángulo de fricción del suelo

I = Longitud de superficie de falla

W = Peso de la Dovela

α = Inclinación de la superficie de falla

P = Fuerza normal total en base de las dovelas

U = Presión de poro

A = Carga uniforme en la superficie del talud

K = Coeficiente sísmico

L = Carga uniformemente repartida

5.7. Método de Spencer

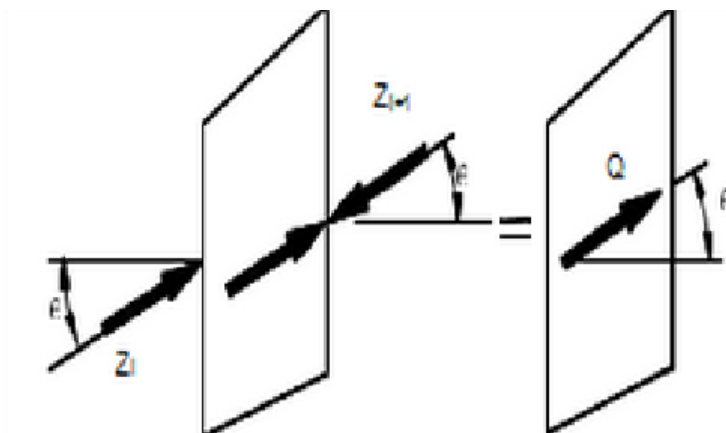
Este método se basa en el concepto de superficies de rotura o superficies de falla potenciales que pueden desarrollarse en el talud. Se utiliza una aproximación gráfica para encontrar la superficie de falla crítica que podría llevar al colapso del talud. El análisis considera la geometría del talud, las propiedades del suelo (como la cohesión y el ángulo de fricción interna), y las cargas aplicadas (como el peso propio del suelo y las cargas externas).

El objetivo principal del Método de Spencer es calcular el factor de seguridad del talud, que es la relación entre las fuerzas que estabilizan el talud y las fuerzas que lo hacen inestable.

Un factor de seguridad menor a 1 indica inestabilidad, mientras que un factor de seguridad igual o mayor a 1 indica estabilidad bajo las condiciones analizadas Spencer (1967).

En el análisis del método de Spencer, la ecuación puede ser resuelta mediante el uso de los elementos de factor de seguridad y ángulo de inclinación y donde existen ensayos de prueba y error asumiendo valores, con la intención de reducir el error (Prado, 2020).

Figura 14. Análisis del ángulo de inclinación Método de Spencer



Fuente. Suárez,2002.

6. Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) permite la captura, almacenamiento, gestión, análisis y visualización de datos geográficos. Los datos geográficos se refieren a la información relacionada con la ubicación y características de objetos o fenómenos en el mundo real, como carretera, ríto, edificios, parcelas de tierra, variables ambientales, etc (Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos, 2006).

Los software y hardware se presenta como elementos que conforman un Sistema de Información Geográfica, sin embargo, no son los únicos elementos de este mismo. Un Sistema de Información Geográfica se puede denominar como un mapa de orden superior pues con este sistema de mapeo se pueden realizar trabajos que se llevan a cabo con mapas y cartografía los SIG representan un escalón superior a los mapas (Olaya, V. 2014).

Los sistemas de Información Geográfica son de vital de importancia pues indican zonas de ocurrencia de fenómenos naturales y puede brindar las herramientas para localizar el sitio de

manera más eficiente. Los SIG pueden tener distintas finalidades como la planeación y programación de cultivos, análisis de campos, aplicación de fertilizantes y químicos, esquematización de zonas de riesgo, etc. La zonificación permite una planificación eficiente, toma de decisiones que permiten un aumento en el rendimiento y productividad en cultivos, obras civiles y urbanización (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2015).

6.1. Componentes de los SIG

Los elementos básicos que componen un SIG son:

- **Datos:** Corresponden la parte esencial del sistema SIG, esta información se conforma por información geográfica, matrices, ráster, vectores, información sobre el sistema de coordenadas, etc.
- **Procesos:** Generación de metodologías y procedimientos que permitan obtener información nueva que posteriormente se podrá analizar.
- **Visualización:** Métodos que permite hacer la presentación de los datos.
- **Software:** Herramientas informáticas que permitan aplicar los métodos propuestos y trabajar con los datos recolectados.
- **Hardware:** Herramientas y equipo físico necesario para hace uso del software.
- **Personas:** Elemento se suma importancia ahora obtener datos, generar métodos e implementarlos para genera resultados.

6.2. SIG para la gestión de riesgo

La información geográfica y geotécnica en unión con los Sistemas de Información Geografía (SIG), conforman elementos fundamentales de la gestión de riesgos:

- Prevención, planificación y preparación
- Mitigación
- Recuperación temprana

Los Sistemas de Información Geográfica permiten representar con mayor precisión, detalle e información los sitios que se encuentran identificados como zonas de riesgo, debido a que esta información contempla la disposición espacial y ubicación geográfica de los sitios.

La prevención se presenta como el fin al que aspira la aplicación de estos métodos, realizando un análisis y una modelización general en la zona de estudio, buscando minimizar los elementos desencadenantes de riesgo. Mediante los SIG es posible evaluar los riesgos naturales, siempre y cuando se tenga la información necesaria para realizar un análisis. Según Badillo (2016) los principales riesgos estudiados por medio de los SIG son:

- Climáticos: Se estudian sequías, huracanes y precipitaciones, también se contemplan patrones climáticos que pudieran ayudar al análisis de otros riesgos.
- Hidrológicos: Es el tipo de análisis más utilizado en la delimitación de zonas con alta probabilidad de inundaciones, así también zonas con riesgos de aludes y desplazamientos de contaminantes.
- Incendios: Este análisis permite realizar zonificaciones en áreas de propagación de fuego, generando datos numéricos y patrones espaciales de incendios. Los Sistemas de Información Gráfica simplifican la manera de obtener estos datos.
- Deslizamientos: Los SIG permiten recolectar datos y realizar un análisis, por medio de características como tipo de suelo y contenido de humedad, aspectos que generan mayor cantidad de deslizamientos de tierra, los datos obtenidos se utilizan para generar capas de datos.

6.3. Metodología de SIG para el análisis de deslizamientos

Los procesos para realizar una zonificación de deslizamientos de tierra, pueden ser distintos como el método estadístico y heurístico.

6.3.1. Método Heurístico

El método heurístico es una estrategia de resolución de problemas que se basa en la experiencia, el juicio y el conocimiento previo a encontrar soluciones aproximadas o súbitas. A diferencia de otros métodos que buscan resultados exactos, los métodos heurísticos ofrecen soluciones aceptables en tiempos razonables.

6.3.2. Análisis geomorfológico

Se refiere al estudio de las características y formas que adoptan los deslizamientos de tierra. Este tipo de análisis buscan comprender la morfología de los deslizamientos y su relación con el entorno geológico y topográfico.

6.3.3. Combinación cualitativa

En este método, el experto, según su criterio, asigna pesos a una serie de mapas de parámetros que están relacionados con la ocurrencia de deslizamientos. Las condiciones del terreno se suman según estos pesos y se obtienen los resultados de riesgo que pueden ser agrupados en rangos.

6.3.4. Enfoque estadístico

Este método utiliza la estadística como enfoque, debido a que se realiza una relación entre los antecedentes históricos registrados de deslizamientos y cada factor tomado en cuenta. La calidad del análisis de resultados dependerá de la cantidad y tipo de información que se tenga.

8. Gestión del Riesgo

La gestión integral de Riesgo a Desastres se refiere a un proceso social complejo, con el fin de reducir, prevenir y controlar el riesgo a desastres en una comunidad, que toma en cuenta el logro de un desarrollo ambiental, humano y económico. Para alcanzar este fin es necesaria la participación, de estructuras locales organizacionales e institucionales, que tengan una representación de todos los sectores de interés, bajo modelos de organización y coordinación establecidos que identifique distintos roles previamente acordados (Narváez, et. al, 2009).

La gestión de riesgo puede ser llevada a cabo mediante 4 aspectos que son: la gestión preventiva, correctiva, reactiva y correctiva (Lavell, 2006).

8.1. Gestión Preventiva

La prevención contempla las acciones y decisiones destinadas a prevenir o evitar los riesgos a un desastre, es un proceso por el que se planifica y se impulsa un desarrollo sostenible, que evita la generación de nuevas condiciones de riesgo, como producto de la construcción, producción, circulación y comercialización en el sector.

8.2.Gestión Correctiva

Se le denomina gestión correctiva a los pasos dirigidos a reconocer y controlar los riesgos existentes en un sitio, que pueden ser de todo tipo tanto naturales como antropogénicos y los cuales podrían llevar a generar efectos dañinos, sobre una población. Se pueden denominar como todas las acciones dirigidas a erradicar o corregir situaciones de riesgo existente. Se pueden enumerar algunas acciones para limitar el riesgo, las cuales pueden ser: Construcción de obras de retención, estabilización de taludes, cambio de locación de comunidades ubicadas en zonas riesgosas, distribución adecuada de uso de suelo, reforestación, etc. (Ferrer,2013).

8.3.Gestión Reactiva

Son todas las acciones institucionales públicas y privadas, todas las actividades sociales, personales y culturales, encaminadas a la preservación y cuidado de la vida, patrimonio, infraestructura y entorno, antes durante y posterior a un desastre de origen natural o de origen humano, que permita tener un entorno seguro. Es toda acción que pueda generar un punto de alerta y de respuesta rápida ante un desastre, como puede ser: la evacuación, traslado de insumos y auxilio de comunidades afectadas.

9. Análisis y Comentario Final

En resumen, esta sección contiene los conceptos básicos que define la literatura en torno al análisis de deslizamiento de suelos. Describir aspectos básicos como talud, sus componentes y sus interrelaciones con otros elementos de análisis como las tecnologías SIG, permiten entender la multidimensionalidad del problema en donde cada uno de los aspectos contribuyen a un análisis más comprensivo de posibles soluciones.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

1. Esquema de Metodología

Como parte de la contribución de esta investigación, se realizó la combinación de metodologías de distintos autores, aplicados a las condiciones específicas del contexto de San Martín Sacatepéquez, permitiendo estimar la amenaza, vulnerabilidad y posteriormente la estimación del riesgo. El uso de distintas metodologías se llevó a cabo con el objetivo de adaptar las necesidades técnicas, sociales, económicas y ambientales del área de estudio, particularmente las condiciones específicas de la ruta RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194. La elección de las metodologías a utilizar se infiere a través de una búsqueda, lectura y análisis de distintas bibliografías. Tomando en cuenta parámetros como información requerida, antecedentes del problema, método de evaluación del riesgo, condiciones culturales y socioeconómicas.

La combinación de metodologías se plantea para el contexto de San Martín Sacatepéquez, basado en el análisis previo a la investigación de este trabajo de graduación, realizado por el autor. A continuación, se describen las metodologías: Mora Vahrson, bloque deslizante y estimación del riesgo detonado por lluvias. Con cada una de las metodologías, realizo un análisis comparativo para entender y definir los componentes que aplicaban a las condiciones del sitio de estudio. Mas adelante, se describen los elementos seleccionados de cada metodología a través de una síntesis y la definición del procedimiento final.

1.1. Método Mora-Vahrson

Mora y Vahrson (1994) este modelo se describe como un sistema diseñado para clasificar los riesgos de deslizamientos en zonas tropicales con actividad sísmica. Se utilizan cinco factores como entrada, divididos en dos grupos: susceptibilidad por elementos pasivos (pendiente, litología, humedad del suelo) y susceptibilidad por elementos activos (intensidad sísmica e intensidad de lluvias). Se define un índice de influencia para cada factor en un sitio específico y, al combinarlos con pesos ponderados, se obtiene un nivel relativo de amenaza (H) mediante la multiplicación y suma de los índices utilizando ecuaciones específicas.

$$H = (Sr * Sl * Sh) * (Ts + Tp) \quad (6)$$

1.1.1. Pendiente (Sr): representa la topografía del área en estudio.

El método de Mora y Vahrson (1994), Inicialmente, se emplearon datos de relieve relativo en este estudio. Sin embargo, en una variación posterior realizada por Salazar (2007), se reemplazó esta variable por pendientes utilizando los rangos propuestos por Van Zuidam (1986). En la actualidad, la obtención de estos datos se ha vuelto más sencilla gracias a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La tabla 2 muestra la clasificación general de las pendientes.

Tabla 2. Clasificación del factor pendiente (Sr) según los rangos obtenidos

Rangos de pendientes (grados)	Peso asignado (Sr)	Procesos y condiciones características del terreno	Colores sugeridos
0 – 2	1	Plano o casi completamente	Medio verde oscuro
2 – 4	2	Inclinación suave	Verde ligero
4 – 8	3	Pendientes inclinadas	Amarillo ligero
8 – 16	4	Modelo escarpado	Amarillo anaranjado
16 – 35	5	Escarpado	Rojo claro
35 – 55	6	Muy escarpado	Rojo oscuro a medio
> 55	7	Extremadament e escarpado	Púrpura oscura

Fuente: Van Zuidam (1986)

1.1.2. Litología (SI): este factor representa la influencia de los tipos de materiales, sedimentos y rocas en la activación de los deslizamientos, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación del factor litológico (SI) valorando la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas

Litología	Clasificación	Factor (SI)
Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	Bajo	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a	Alto	4

favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.		
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

1.1.3. Humedad del suelo (Sh): Se refiere a la cuantificación de la influencia de la humedad acumulada a lo largo del año, la cual puede considerarse como un punto de partida, debido a que las intensas precipitaciones pueden actuar como un factor desestabilizador. Para ello, se aplica una metodología simple basada en un balance hídrico del suelo que solo requiere los valores promedios mensuales. En el primer paso de esta metodología se utiliza un valor umbral de 125 mm, el cual representa la evapotranspiración potencial media mensual en Centroamérica. Además, se ha demostrado que una infiltración significativa requiere al menos 40 mm de lluvia acumulada en un período de diez días, lo que equivale aproximadamente a 125 mm por mes (Mora y Vahrson, 1994).

El factor de humedad resultante Sh tiene valores totales, que oscilan entre 0-24 (tabla 5) y se clasifican en un total de 5 grupos, lo que permite la interpolación, mediante el uso de sumatoria de los mensual obtenidos, una vez evaluado cada mes (tabla 4) y en base a la información pluviométrica disponible.

Tabla 4. Clasificación de los valores medios mensuales de las precipitaciones

Precipitación media mensual (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

Tabla 5. Factor de humedad resultante (Sh) de la clasificación de los valores acumulados de los índices promedios de precipitación

Valor acumulado de los índices de precipitación	Calificación	Factor Sh
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

1.1.4. Intensidad sísmica (Ts): Este factor se determina mediante el análisis de deslizamientos de tierra causados por terremotos, con el fin de establecer la influencia de las intensidades sísmicas. Se presentan los datos de las categorías de influencia utilizando los valores de períodos de retorno de 100 años en relación con los registros históricos.

Tabla 6. Determinación del factor de intensidad sísmica (Ts) como desencadenante en la generación de deslizamientos de tierra, utilizando valores de cien años (Escala Mercalli Modificada)

Intensidades (MM) Tr = 100 años	Calificación	Factor Ts
LII	Leve	1
IV	Muy bajo	2

V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VIII	Considerable	6
IX	Importante	7
X	Fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

1.1.5. Intensidad de lluvias (Tp): Este factor se determina mediante el análisis de deslizamientos de tierra causados por terremotos, con el fin de establecer la influencia de las intensidades sísmicas. Se presentan los datos de las categorías de influencia utilizando los valores de períodos de retorno de 100 años en relación con los registros históricos.

Tabla 7. Factor de intensidad de precipitación (Tp) resultante de la clasificación de las precipitaciones máximas diarias durante un período de retorno de 100 años

Precipitación máxima n>10 años, Tr = 100 años	Precipitación media n<10 años	Clasificación	Factor Tp
< 100 mm	< 50 mm	Muy bajo	1
101 – 200 mm	51 – 90 mm	Bajo	2
201 – 300 mm	91 – 130 mm	Medio	3
301 – 400 mm	131 – 175 mm	Alto	4
> 400 mm	> 175 mm	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

En la tabla 7, la segunda columna muestra una clasificación auxiliar basada en los valores máximos medios anuales (aplicable solo en casos de pluviómetros con registros cortos). Según los resultados obtenidos al combinar todos los parámetros mencionados anteriormente

mediante la ecuación 1, el valor del indicador de amenaza de deslizamiento (HI) puede ser clasificado y evaluado para cada sitio específico, como se muestra en el Cuadro.

Tabla 8. Clasificación de los valores de los parámetros del peligro de deslizamiento (HI), derivado de la ecuación inicial

Valor de la ecuación (HI)	Clase	Clasificación del peligro de deslizamiento
< 6	I	Muy bajo
7 – 32	II	Bajo
33 – 162	III	Moderado
163 – 512	IV	Medio
513 – 1250	V	Alto
> 1250	VI	Muy alto

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

Para determinar el índice de susceptibilidad se parte de la ecuación:

$$H = (Sr * SI * Sh) * (Ts + Tp) \quad (7)$$

Se utilizó la propiedad distributiva de la multiplicación para obtener dos mapas de susceptibilidad: uno relacionado con el factor desencadenante de los terremotos (Ts) y otro relacionado con el factor desencadenante de las precipitaciones máximas (Tp).

$$H = (Sr x SI x Sh x Ts) + (Sr x SI x Sh x Tp) \quad (8)$$

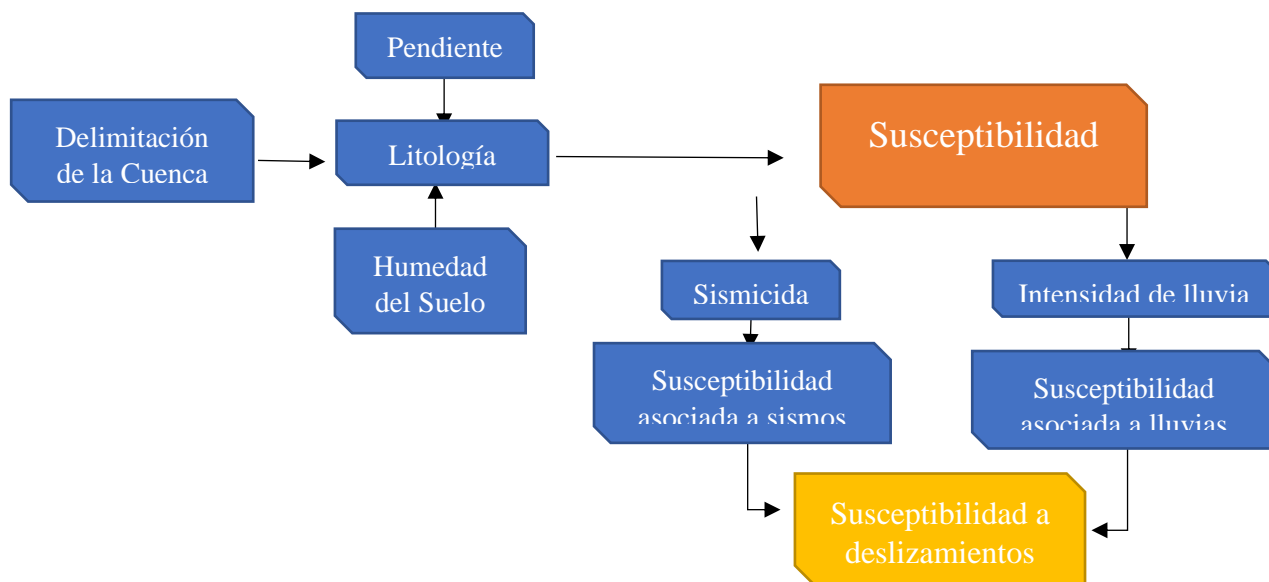
El cálculo del índice de susceptibilidad para la cuenca en cuestión se realizó sumando los dos índices. El análisis parte de la ecuación $H = Hs + Hp$, y se propone el siguiente diagrama como punto de partida para el desarrollo posterior del modelo cartográfico.

$$H = (Sr x SI x Sh x Ts) + (Sr x SI x Sh x Tp) \quad (8)$$

- H = Grado de susceptibilidad a deslizamientos
- Sr = Factor pendiente o relieve relativo

- Sl = Factor litológico
- Sh = Factor de humedad del suelo
- Ts = Sismicidad
- Tp = Intensidad de precipitaciones

Grafica 1 Procedimiento del método Mora - Vahrson



Fuente: Elaboración propia.

1.2. Bloque Deslizante

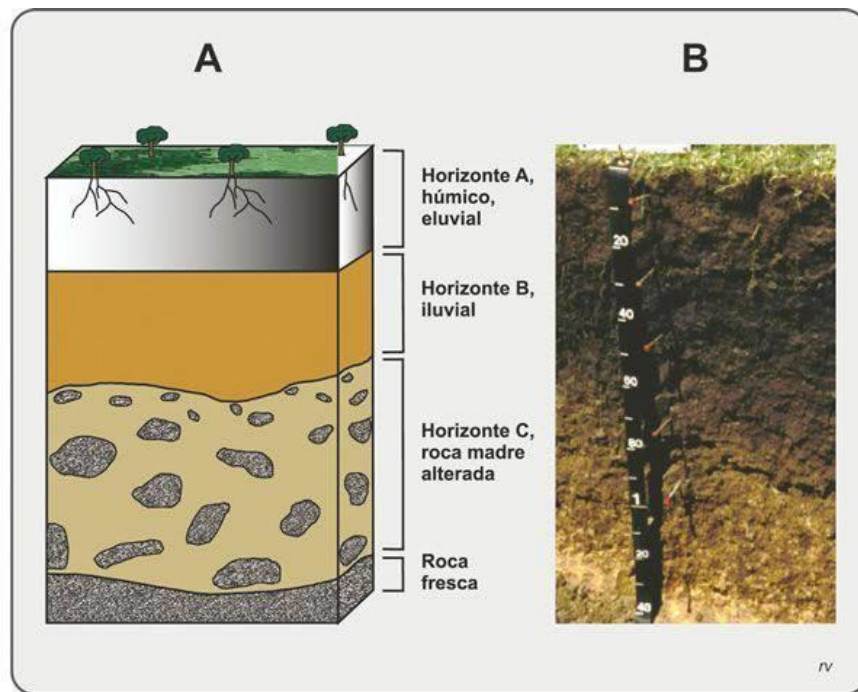
El modelo bidimensional del bloque deslizante, discretizados en dovelas, permite un análisis del comportamiento cinemático de los deslizamientos de suelo. Este modelo acopla las variables geométricas, mecánicas y reológicas de los deslizamientos. Se utiliza un sistema de bloques adyacentes conectados mediante resortes para representar el movimiento de la masa deslizada, la resistencia al movimiento se modela utilizando el modelo reológico Coulomb-viscoso, que considera componentes friccionantes y viscosos representadas por un deslizador y un amortiguador en paralelo, respectivamente. La ecuación del movimiento del modelo es una ecuación diferencial lineal de segundo orden. Lo anterior proporciona una ecuación para el cálculo del desplazamiento, la velocidad y la aceleración (Prieto, A. 2019).

1.2.1. Cohesión Residual

La capa de vegetal que funciona como cobertura en un talud puede influir en la estabilidad del mismo, debido a dos aspectos importantes (OLARTE,2003):

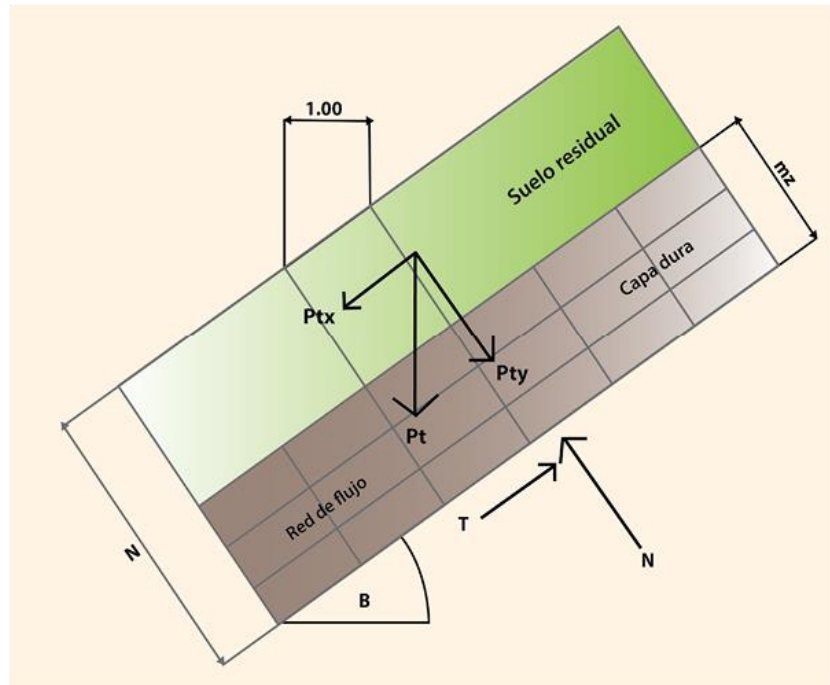
- **Peso Adicional:** La presencia de vegetación suma un peso adicional al talud. Este peso adicional puede incrementar la presión sobre el suelo y en algunos casos provocar que el talud sea mucho más propenso a deslizamientos. Es importante tomar en cuenta que el efecto del peso adicional de la vegetación puede variar dependiendo de otros factores, como la calidad del suelo y la cantidad de agua presente.
- **Efecto de las raíces:** Las raíces de las plantas desempeñan un papel muy importante en la estabilidad de taludes debido a que contribuye a mejorar la estructura del suelo y la capacidad de retener agua. Al crecer y desarrollarse dentro del suelo, las raíces aportan resistencia al corte y puede aumentar la cohesión del suelo. Esta resistencia al movimiento traslacional del bloque sobre la superficie de ruptura puede ayudar a prevenir deslizamientos.

Figura 21. Modelo del bloque deslizando



Fuente: Salvatierra (2018).

Figura 22. Modelo del bloque deslizando



Fuente: Salvatierra (2018).

1.2.2. Peso del Bloque

El peso del bloque está formado por la sumatoria del peso propio del bloque, más el peso de la cobertura vegetal masa del bloque está constituido por el peso del suelo y el de la cubierta vegetal sobre este, por lo que, se debe de sumar el peso propio del suelo más el de la capa vegetal.

$$P_t = P_s + P_v \quad (3)$$

P_t : peso total del bloque

P_s : peso del suelo

P_v : peso de la capa vegetal

Ahora bien, al hacer las siguientes relaciones, se llega a obtener el valor de los componentes del peso del suelo que actúan a favor del deslizamiento y la resistencia al esfuerzo cortante:

$$\tau = P_{tx} = P_t * \text{seno}\beta \quad (4)$$

Donde:

τ : Resistencia al esfuerzo cortante del suelo

P_{tx} : Componente en el eje x del peso total.

P_t : Peso total del suelo

β : Ángulo del bloque deslizante respecto de la horizontal

$$N = P_{ty} = P_t * \cos \beta \quad (4)$$

N : Fuerza normal al plano de deslizamiento

P_{ty} : Componente en el eje y del peso total

P_t : Peso total del suelo

β : Ángulo del bloque deslizante respecto de la horizontal

$$F = \frac{\text{Fuerzas resistentes al movimiento}}{\text{Fuerzas que proporcionan movimiento}} \quad (5)$$

1.2.3. Factor M

Este factor indica el porcentaje de saturación del suelo causado por la pluviosidad de la zona, y que está acotado entre 0 y 1. El 0 indicará una saturación nula del suelo y 1 una saturación del 100%.

1.2.4. Fuerzas Resistentes al Movimiento

Se representa con la fuerza que se opone al movimiento que ofrece la Resistencia al corte, dada por:

$$\tau = C_u + \sigma * \text{tg}\theta \quad (6)$$

τ : Resistencia al esfuerzo cortante del suelo

C_u : Cohesión del esfuerzo.

σ : Resistencia al esfuerzo normal del suelo.

θ : Ángulo de fricción interna del suelo.

Si tenemos suelos cohesivos, el ángulo de fricción interna sería igual a 0, por lo que la resistencia al esfuerzo cortante sería igual al valor de la cohesión.

$$\tau = C_u \quad (7)$$

Ahora bien, numerosos estudios han encontrado que las raíces de la cubierta vegetal incrementa la cohesión del suelo, y por ende, la resistencia del mismo al esfuerzo cortante, por lo que, este aumento es un valor que se suma a la cohesión que el suelo posea, y que se denominará Cohesión aportada por las raíces de la cubierta vegetal (C_r), proponiéndose la siguiente fórmula.

$$\tau = C_u + C_r \quad (8)$$

1.2.5. Fuerzas que Proporcionan el Movimiento

En el análisis de la estabilidad de un suelo y el deslizamiento de un bloque sobre el mismo, haya varios factores a considerar. Uno de ellos es la fuerza que actúa a favor del deslizamiento, la cual puede ser influenciada por el peso del suelo y su saturación. El peso del suelo se refiere a la fuerza ejercida por la masa del suelo sobre el bloque. El peso del suelo se refiere a la fuerza ejercida por la masa del suelo sobre el bloque, esta fuerza depende de la masa del suelo y la aceleración debido a la gravedad. Mientras en un suelo saturado, se considera tanto el peso del suelo húmedo como el suelo seco (Picado Salvatierra, J. 2019).

El porcentaje de saturación del suelo, representado por el valor “ m ” en el rango de $0 < m < 1$, indica la cantidad de agua presente en relación con la capacidad máxima de retención de agua del suelo. Al agregar este porcentaje al modelo, se tiene en cuenta el efecto de la saturación en el peso total del suelo. La presente ecuación contempla el movimiento de un bloque llamado bloque deslizante y que para efectos de cálculo se toma una sección de un metro de ancho por un metro de fondo, y teniendo por variable la profundidad (Z) del bloque, tomando el valor de saturación de suelo (m) la ecuación queda establecida como Picado Salvatierra, J. 2019):

$$P1 = ([\gamma_s * Z * m + \gamma * Z * (1 - m)]) \quad (9)$$

Donde:

P1: Peso parcial del bloque de suelo deslizando

γ_s : Peso del suelo saturado

γ : Peso del suelo

Z: Profundidad del bloque deslizando

m: Porcentaje de saturación del suelo

Como se puede observar, en la ecuación anterior no se ha incorporado el peso de la Capa Vegetal como un elemento adicional al peso del bloque deslizando, con lo que el peso total sería:

$$Pt = ([\gamma_s * Z * m + \gamma * Z * (1 - m) + Pv]) \quad (10)$$

Donde:

Pt: Peso total del bloque de suelo deslizando

γ_s : Peso del suelo saturado

γ : Peso del suelo

Z: Profundidad del bloque deslizando

m: Porcentaje de saturación del suelo

Pv: Peso de la capa vegetal

Al tomar en cuenta las fórmulas dadas con anterioridad, se expresa el factor de seguridad F en términos de las fuerzas actuantes en contra y en pro del movimiento del bloque deslizando en suelos cohesivos, se obtendrá:

$$F = \frac{\tau}{Pt \cdot x} \quad (11)$$

Formula final

$$F = \frac{C_u + C_r}{([\gamma_s * Z * m + \gamma * Z * (1 - m) + P_v]) * \text{sen}\beta} \quad (12)$$

1.2.6. Cohesión aportada por las raíces de la cubierta vegetal (Cr)

Este factor toma en cuenta la protección que la cubierta vegetal y sus raíces brinda al suelo al momento presentarse impactos de energía como la escorrentía de agua y la caída de gotas de lluvia, a través de esto se ha comprobado que la cohesión surge porque las raíces de la vegetación aumentan, que la acción de las raíces en el suelo aumentan la resistencia al corte del mismo, además presenta un aumento en el peso del bloque por las características de vegetación (tabla 9). En la tabla 10 se muestran valores determinados por estudios sobre el aumento de la cohesión en los suelos por diferentes tipos de vegetación (Linares Revilla, E. 2008).

Tabla 9. Estratos y fitomasa árboles en Manaus, Brasil

Altura del estrato (m)	Peso medio (t/ha)	Porcentaje
24-35	190	28
17-26	400	58
8-14	77	11
4-6	16	2
2-3	5	1
Total	688	100

Fuente: Klinge y Rodríguez (1973) en Wadsworth, (2000).

Tabla 10. Valores típicos del incremento en la cohesión del suelo debido a la acción de las raíces

Autor	Suelo/Vegetación	Cg (Kn/m2)
Swanston, (1970)	Coníferas de la montaña sobre morrenas	3.4-4.4
O'Loughlin, (1974)	Coníferas de montañas sobre morrenas	1-3
Endo y Tsurut, (1969)	Alisos de vivero en suelos de aluvión	2.0-12
Wu et al ., (1970)	Pinos de semillero cultivados en maceta sobre suelos arcillosos	5
O'Loughlin y Zemer, (1982)	Bosque perennifolio mixto sobre suelos someros desarrollados en morreras	3.3
Gay y Megaham, (1981)	Coníferas en suelos arenosos	10.3
Riestenberg, Savonick y Dumford, (1983)	Arces en suelos de coluvión arcillosos	5.7
Borroughs y Thomas, (1977)	Coníferas en suelos de montaña	3-17.5
Barker y Hewlett	Pastizal sembrado en bloque de hormigón relleno de suelos arcillosos reforzado con una estructura celular	3-5

Fuente: Fariñas de Alba et al (2002).

1.3. Estimación de Riesgo por Deslizamiento detonado por lluvia:

La presente metodología permite estimar cuantitativamente el riesgo por deslizamiento en carreteras en zonas tropicales montañosas, la estimación se realiza mediante el uso de estadísticas de precipitación y la ocurrencia de eventos de inestabilidad de taludes. La

presente metodología, se combinará como una herramienta en este trabajo, para determinar la vulnerabilidad, de la población de uso de la ruta RD QUE-03, siendo el tránsito vehicular, utilizando los criterios y clasificaciones, para dar paso a una estimación propia de esta investigación.

1.3.1. Estimación de la Amenaza

La estimación a la probabilidad de falla de manera anual de taludes en tramos carreteros, se puede estimar por medio de datos de ocurrencia de deslizamientos y datos estadísticos de precipitación en la zona, siguiendo la presente metodología:

1. Determinar posibles inicios de falla que generan deslizamientos de tierra tomando en cuenta la relación de lluvia procedente de 15 días y precipitación de 5 días.
2. Calcular de la incidencia de excedencia del umbral de falla realizando una comparación los datos medidos de precipitación con los resultados de evaluar las ecuaciones del umbral de falla para cada día de lluvia mediante la función de distribución de probabilidades de Poisson.
3. Calcular la probabilidad de falla de un talud condicionado por la excedencia del umbral de falla:

$$\frac{NDs}{ND t} = P * \frac{Ds}{R > Rt} \quad (13)$$

Donde:

$P * \frac{Ds}{R > Rt}$: Probabilidad condicional de que se presente un deslizamiento.

Ds: Sitio del deslizamiento

R: Precipitación diaria

Rt: Umbral de falla

NDs: Número de veces que el umbral fue excedido en el lugar de evaluación

NDt: Número total de veces que el umbral fue excedido en la vía completa

4. Calcular la probabilidad temporal de falla (PT) según Jaiswal y Westen (2009):

$$PT = P * (X > x) * P\left(\frac{Ds}{R > Rt}\right) \quad (14)$$

1.3.2. Estimación de la Vulnerabilidad

La estimación de la vulnerabilidad será estimada por medio de la metodología Stewart et al. (2002), del riesgo por deslizamiento detonado por lluvia, se estima mediante la siguiente metodología:

1. Indicador de probabilidad.
2. Probabilidad temporal
3. Probabilidad de que se produzca una fatalidad
4. Escala de falla.
5. Velocidad de falla
6. Magnitud del evento
7. Amenaza

Indicador de probabilidad: en este paso se le atribuye un peso específico a la probabilidad de falla determinada en el paso anterior. Los valores y criterios resultantes de la evaluación, se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Indicador de probabilidad de falla

L1	El evento puede, o es esperado que ocurra dentro de un corto período bajo circunstancias promedio, o el mecanismo está activo en el presente (dependiendo de las circunstancias un período corto pueden ser de días a no más de 2 o 3 años). La probabilidad anual indicativa es alrededor 0.9
L2	El evento puede, o es esperado que ocurra dentro de un período moderado (de unos pocos años a 30 años) o dentro del próximo período de inspección bajo condiciones ligeramente adversas. La probabilidad anual indicativa es alrededor 10-1

L3	El evento podría ser esperado que ocurra alguna vez dentro de un período de 100 años, en el normal curso de los eventos, pero solo podría ocurrir dentro del próximo período de inspección bajo circunstancias adversas. La probabilidad anual indicativa es 10-2
L4	El evento podría no ser esperado para ocurrir dentro de un período de 100 años bajo condiciones normales y es improbable que ocurra dentro del próximo período de inspección excepto bajo condiciones muy adversas. La probabilidad anual indicativa es 10-3
L5	El evento podría no ser esperado para ocurrir dentro de un período de 100 años y es improbable que ocurra dentro del próximo período de inspección aún bajo condiciones muy adversas. La probabilidad anual indicativa es 10-4
L6	El evento es improbable que ocurra aún bajo condiciones extremas. La probabilidad anual indicativa es <10-5

Fuente: Hidalgo (2011).

Probabilidad temporal: este indicador califica la probabilidad de que un individuo o elemento se encuentre expuesto a la amenaza. En la Tabla 12 se presentan los índices a ser utilizados.

Tabla 12. Calificación de la probabilidad temporal

T1	Usualmente se espera presencia de la persona como parte de la forma normal de uso (Ejemplo edificios residenciales, algunos edificios comerciales). Usuarios de la carretera en la condición más pesada de tránsito urbano ($P > 0.5$)
T2	Se espera que a menudo estén presente la persona como parte de la forma normal de uso (Ejemplo edificios residenciales, algunos edificios comerciales). Usuarios de las vías en las mayores arterias urbanas y en las vías rurales de tráfico más pesado ($P = 0.1-0.5$)

T3	Se espera que algunas veces esté presente la persona como parte de la forma normal de uso. Usuarios de las vías en muchas arterias urbanas y en las mayores arterias rurales (P=0.01-0.1)
T4	Es improbable que esté presente la persona como parte de la forma normal de uso. Usuarios de las vías suburbanas y arterias rurales menores (P=0.001-0.01)
T5	Es muy improbable que esté presente la persona. Usuarios de la mayoría de las vías de tráfico ligero, bermas de las vías etc. (P<0.001)

. Fuente: Hidalgo (2011).

1.3.3. Riesgo Aceptable

El riesgo que puede ser aceptable es un parámetro que puede ser variable debido a la gran cantidad de variables a considerar en el análisis del riesgo a deslizamiento y que se basa en gran medida al profesional que se encuentre realizando la investigación (Hidalgo C. 2011).

Como lo indica Fell (1994), es posible aceptar valores relativamente altos en el riesgo de estabilidad de taludes, cuantificado en cifras se pueden aceptar valores de riesgo anual específico de daños a propiedades de 10^{-2} y valores de pérdida de vida de 10^{-3} , estos valores son propuesto por Hidalgo C. por medio de su trabajo en el área de Sydney-Newcastle en Australia. Al mismo tiempo se establece que para taludes constituidos por el hombre la aceptación del riesgo es menor y la probabilidad de pérdidas de vida no debe ser mayor que 10^{-5} o 10^{-6} .

Probabilidad de que se produzca una fatalidad: se le otorga peso relativo al nivel de preparación de un individuo o elemento que se encuentra expuesto. Los índices se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Calificación de la probabilidad de que haya una fatalidad

V1	Persona al descubierto incapaz de evadir las caídas de rocas y otros detritos (movimientos extremadamente rápidos). Vehículo chocado contra un bloque mayor de 1 m de altura o perdido dentro de un hueco profundo y angosto a velocidad de autopista (P>0.5)
----	---

V2	Persona al descubierto puede ser capaz de evadir los detritos. Vehículo chocado contra un bloque de 0.5-1 m de altura a velocidad de autopista o mayor a 1 m de altura a velocidad urbana, o perdido dentro de un hueco angosto (P 0.1-0.5)
V3	La mayoría de la gente al descubierto puede evadir los detritos. Vehículo chocado contra un bloque de 0.5-1 m de altura a velocidad urbana, o un bloque >1 m de altura a baja velocidad. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seco o húmedo (o cruza superficie escalonada con escalones de 0.1-0.2 m causados por el desarrollo de la falla de un terraplén) a velocidades de autopista (P=0.01-0.1)
V4	Vehículo choca contra bloques de alrededor de 0.2 m de altura a velocidad de autopista o un bloque de altura 0.5-1 m a baja velocidad. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seca o húmeda (o cruza superficie escalonada con escalones de 0.1-0.2 m causados por el desarrollo de la falla de un terraplén) a velocidades urbana. Vehículo interactúa con una depresión o hueco superficial donde la barrera de defensa puede prevenir la salida del vehículo de la vía (P 0.001-0.01)
V5	Vehículo choca contra bloques de alrededor de 0.2 m de altura a velocidad urbana o un bloque de tamaño menor a velocidad de autopista. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seco o húmedo a baja velocidad. Vehículo atraviesa una superficie irregular formada por suelo o pequeñas rocas (<100 mm de dimensión mínima) o por una falla desarrollada en un terraplén a velocidades de autopista (P<0.001)

Nota: Velocidad de autopista=100-110 km/h, urbana=60- 80 km/h, baja=20-30 km/h.

Fuente: Hidalgo (2011).

Escala de falla: La escala de la falla se determina por medio del volumen de material fallado o por el tamaño máximo de los bloques en el caso de caídas de roca y se califica de acuerdo con los parámetros de la Tabla 14.

Tabla 14. Escala de la falla

Volumen (m ³)		Tamaño de bloque (m)	
S1	>20000	1.0 (Dimensión mínima)	
S2	>2000	1.0 (Dimensión máxima)	
S3	>200	<1.0 (Dimensión máxima)	
S4	>20	<0.5 (Dimensión máxima)	
S5	<20	<0.2 (Dimensión máxima)	

Fuente: Hidalgo (2011).

Velocidad de falla: la velocidad del movimiento debe expresar la velocidad máxima esperada para el movimiento de masa. Ver la Tabla 15.

Tabla 15. Ponderación de la velocidad de falla

Ponderación de la velocidad de falla			
Descripción		Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
R1	Extremamente rápido	5x10 ³	5 m/s
R1	Muy rápido	5x10 ³	5 m/s
R2	Rápido	5x10 ¹	3 m/s
R3	Moderado	5x10 ⁻¹	1.8 m/h
R4	Lento	5x10 ⁻³	13 m/mes
R5	Muy lento	5x10 ⁻⁵	1.6 m/año
R5	Extremamente lento	5x10 ⁻⁷	16 mm/año

Fuente: Hidalgo (2011).

Magnitud del evento: se determina combinando las calificaciones de la escala del evento y de la velocidad de la falla, por medio de la matriz de la Tabla 16.

Tabla 16. Calificación de la magnitud del evento

Calificación de la magnitud del evento						
Escala de la falla						
Velocidad de falla	S5		S4	S3	S2	S1
Rápido	R1	M3	M2	M2	M1	M1
R2	M4		M3	M2	M2	M1
R3	M4		M4	M3	M2	M2
R4	M5		M4	M4	M3	M2
Lento	R5	M5	M5	M4	M4	M3

Fuente: Hidalgo (2011).

Amenaza: las calificaciones de la magnitud del evento y de la probabilidad de falla, producen la clasificación de la amenaza al combinarlas mediante la matriz de la Tabla 17.

Tabla 17. Calificación de la amenaza

Calificación de la amenaza					
Magnitud del evento					
Probabilidad	M5	M4	M3	M2	M1
L1	H3	H2	H2	H1	H1
L2	H4	H3	H2	H2	H1
L3	H4	H4	H3	H2	H2
L4	H5	H4	H4	H3	H2
L5	H5	H5	H4	H4	H3
L6	H5	H5	H5	H4	H4

Fuente: Hidalgo (2011).

La tabla 18, muestra el resultado del análisis realizado mediante la calificación de la amenaza y la magnitud del evento, para estimar el grado de consecuencias y tipo de impactos que tendría cada grado, así como una estimación de los costos de reparación o impactos que podría tener cada grado de severidad de consecuencias como se explica en la tabla 19.

Tabla 18. Matriz de consecuencias

Matriz de consecuencias					
Probabilidad temporal de que un individuo esté presente en el momento de la falla					
Vulnerabilidad	T5	T4	T3	T2	T1
V1	C4	C3	C2	C1	C1
V2	C4	C3	C2	C1	C1
V3	C5	C4	C3	C2	C2
V4	C5	C5	C4	C3	C3
V5	C5	C5	C5	C4	C4

Fuente: Hidalgo (2011).

Tabla 19. Calificación del nivel de consecuencias

Calificación del nivel de consecuencias (Modificada de Stewart et al., 2002)	
C1	Cierre total de una carretera troncal o doble calzada por un período extendido. Daños mayores de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Interrupción muy costosa. Costos de reparación muy altos. (costo directo e indirecto >\$1500M
C2	Cierre total de un carril de una carretera troncal o doble calzada o cierre total de una carretera secundaria por un período extendido. Daños sustanciales de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Grandes costos de la interrupción. Costos de reparación muy altos. (costo directo e indirecto >\$200M<1500M
C3	Cierre total de una carretera secundaria por un período corto, un período largo se puede aceptar si hay alternativas razonables disponibles. Daños moderados de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Costos moderados de la interrupción. Costos de reparación moderados. (costo directo e indirecto >\$50M<200 M
C4	Cierre total o parcial de una carretera secundaria por un período corto. Daños menores de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Costos menores de la interrupción. Costos de reparación bajos. (costo directo e indirecto >\$10M<50 M
C5	Cierre total o parcial de una carretera terciaria por un período corto. Daños de infraestructuras o propiedades despreciables (Diferentes a carreteras). Costos bajos o despreciables de la interrupción. Costos de reparación bajos o sin costos. (costo directo e indirecto <\$10M

Fuente: Hidalgo (2011).

En investigaciones realizadas por Wilson et al., (2005) y Stewart et al., (2002) se consideran dos niveles de vulnerabilidad de las personas en las vías de comunicación:

Se establece que el nivel de riesgo se puede determinar mediante el criterio de Riesgo de Vida para el Talud Proyectoado, el cual considera 5 niveles de riesgo evaluado (ver Tabla 20)

y se calculan tomando la sumatoria de las posibilidades de muerte en un tramo carretero. Tomando como criterios el nivel ARL3, la sumatoria de probabilidades de muertes en un tramo carretero debe ser 10^{-5} o menor a este valor.

Tabla 20. Niveles de riesgo evaluado

Niveles de riesgo evaluado	
Nivel de riesgo evaluado	Probabilidad anual de muerte
ARL1	$>3 \times 10^{-3}$
ARL2	3×10^{-4} a 3×10^{-5}
ARL3	3×10^{-5} a 3×10^{-6}
ARL4	3×10^{-6} a 3×10^{-7}
ARL5	$<3 \times 10^{-7}$

Wilson et al., (2005)

Según Stewart & Buys (2005) los taludes que sean determinados con un nivel de riesgo de ARL1 y ARL2 debieran ser corregidos y atendidos, sin embargo, si en el sitio de estudio se presenta mayormente un riesgo económico más que de vidas, es posible implementar trabajos a largo plazo. ARL3 se presentan como sitios donde no es necesaria una corrección o intervención, pero es posible el aumento del riesgo con el tiempo, es preciso tomar en cuenta sistemas que permitan un manejo adecuado del sitio.

En sitios de estudio con taludes de alto riesgo del tipo ARL1 y ARL2 se deben diseñar estrategias y sistemas acorde a cada caso en específico. Según Stewart & Buys (2005), se debe mantener un nivel de riesgo igual o menor a ARL3 en todo proyecto de vías de comunicación, este es el objetivo de crear sistemas de prevención y remediación.

En la actualidad en Australia los contratos de construcción exigen un nivel de riesgo de diseño de ARL4, lo que incluye obras de refuerzo y estabilización de taludes.

1.3.4. Estimación del riesgo

El Nivel de Riesgo Estimando ARL (Assessed Risk Level) se calcula mediante la matriz de nivel de riesgo, la cual es producto de las ponderaciones de las consecuencias y probabilidad de riesgo. La calificación más alta derivada de daños en propiedades y pérdidas de vidas es tomada para estimar el Nivel de Riesgo Estimado ARL.

1.3.5. Toma de decisiones

La toma de decisiones se realiza respecto a los valores admisibles de la Tabla 21, con la comparación entre el riesgo calculado y el valor admisible.

Tabla 21. Matriz de niveles de riesgo estimado

Matriz de niveles de riesgo estimado					
Clases de consecuencias					
Proba bilidad	C2	C4	C3	C2	C1
L1	ARL3	ARL2	ARL1	ARL1	ARL1
L2	ARL4	ARL3	ARL2	ARL1	ARL1
L3	ARL5	ARL4	ARL3	ARL2	ARL1
L4	ARL5	ARL5	ARL4	ARL3	ARL2
L5	ARL5	ARL5	ARL5	ARL4	ARL3
L6	ARL5	ARL5	ARL5	ARL5	ARL4

Fuente: Hidalgo (2011).

2. Descripción y Evaluación de Metodologías

El conocimiento de cada metodología se realizó mediante la descripción de sus parámetros más importantes, enlistándolos y resaltando los aspectos que pudieran ser viables y aplicables al estudio de este trabajo. Así mismo se resaltaron los aspectos que no pudieran ser aplicados ya sea por efectos económicos, de complejidad y practicidad. El descarte de las posibles metodologías se basó en la cantidad de aspectos no aplicables a este contexto, así como a un criterio propio con lo recabado en la literatura. Derivado de la posible existencia de duplicidad o replica de cálculos y estimación de algunos aspectos entre metodologías, se

definió una jerarquía mayor a los elementos que pertenezcan a las metodologías con mayor información disponible y que se pueda adecuar al contexto de estudio.

2.1. Esquema de Evaluación y selección de nueva Metodología MAGAN

El esquema de evaluación y elección de metodologías se detalla a continuación, para lo cual se verá resaltando en la tabla 22 con color verde los aspectos aplicables y se resaltarán con color rojo aspectos no aplicables de cada metodología para esta investigación. El uso de esta herramienta permitirá observar el proceso de selección y observar los aspectos a tomar en cuenta de una manera más interactiva:

Tabla 22. Parámetros de Evaluación y Elección de Metodología

Metodología	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> Mora Vahrson 	<ul style="list-style-type: none"> Parámetros de estudio, sísmico, intensidad y lluvia, características del suelo del área de estudio. Antecedentes de estudios similares en Centro América Valores obtenidos con base a registros y tablas establecidas previamente por el método. Delimita posibilidades de construcciones y trabajos. Se propone el uso de factores de seguridad para el análisis y diseño de taludes. Clasificación de suelo y como resultado muestra valores de referencia. Método heurístico, aproximación, de la resolución de un problema en forma rápida. Utiliza pendientes, Geología, humedad del suelo. Considera factores de susceptibilidad y factores detonantes.
<ul style="list-style-type: none"> Bloque Deslizante 	<ul style="list-style-type: none"> Parámetros de estudio, tipo de suelo, peso del bloque, capa vegetal, saturación del suelo. Antecedentes de estudios similares en Centro América Toma en cuenta valores de cohesión que aportan la capa vegetal. Es necesario tener registros pluviográficos Tener un registro de los eventos de deslizamientos. Determinar las características del suelo. Propone uso de capa vegetal para el tratamiento de los deslizamientos.

<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación Cuantitativa del Riesgo por Deslizamientos Detonados por lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de estudio: recurrencia de lluvia, efectos por lluvia. • Factores con base a tablas desglosadas del índice de recurrencia de lluvia. • Calificación en base a escalas de probabilidad. • Muestra una forma de estimar el riesgo a una fatalidad en una carretera. • La información de antecedentes debe ser fiable para disminuir el riesgo de ambigüedad. • Muestra un estudio por kilómetro específico asignando valores.
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis por Litología del Sitio 	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de estudio: muestreo de la zona, extracción de especímenes para caracterización. • Se enfoca en las características del suelo. • Estudio con base se sondeos y ángulos de taludes. • Clasifica y generación de mapas de características de suelo en el sector • Metodología en base a topografía y observación. • Se generan planos de deslizamientos horizontales con características de suelos. • Recomienda un registro continuo para actualizar datos, mínima de 10 años, con muestreos cada 2 meses. • Recomienda la realización de un estudio sísmico de alta resolución. • Analizar el ruido vehicular, estudio de vibración ambiental. • Se utiliza una gran cantidad de estudios de caracterización de suelo.
<ul style="list-style-type: none"> • Microzonificación para la determinación del peligro de deslizamientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable en zonas tropicales • Clasificación rápida y de bajo costo. • Factores de estudio: precipitación, humedad, litología, sismicidad. • 5 parámetros, Mapeo del estado de la naturaleza, mapeo del peligro, evaluación del riesgo, y gestión de deslizamientos. • Sistema de Información Geográfica SIG. • Falta de información y registros anteriores

Fuente. Elaboración propia.

El análisis ha dado como resultado la asignación de una jerarquía mayor a la metodología Mora Vahrson, la cual contiene mayor cantidad de aspectos aplicables y de interés a esta investigación. Por otro lado, la metodología de Evaluación del Riesgo por Deslizamientos Detonados por Lluvias, presenta varios aspectos que pueden ser de utilidad para el parámetro de vulnerabilidad ya que enfoca el cálculo de este parámetro a la población de interés de esta investigación. La implementación de la metodología del bloque Deslizante, será de utilidad para establecer, mediante cálculos matemáticos, del grado de susceptibilidad de deslizamiento por cada talud individual a lo largo del tramo de estudio, para posteriormente sugerir medidas de mitigación acordes al área de estudio.

El descarte de otras metodologías se debe a costes económicos, así como a la falta de información disponible necesaria para llevar a cabo la implementación de las mismas.

Posterior al análisis realizado de las metodologías investigadas, se establecen los rubros de aporte a esta investigación y el procedimiento más adecuada para poder realizar la evaluación. Los criterios utilizados para determinar las metodologías seleccionadas, se basan en parámetros como: costos de investigación, información disponible sobre investigaciones similares, antecedentes del uso de la metodología y comunidad afectada. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 23. Esquema de Metodología.

Metodología	Aportes	Rubro de Aporte en esta Investigación
Deslizamiento detonado por lluvias	<ul style="list-style-type: none"> • Valores de para estimar el riesgo de fatalidad en carretera. • Clasificación y valores de tablas con base a velocidad y tipo de vehículo. • Evaluación del grupo vulnerable (Tránsito Vehicular). 	Vulnerabilidad
Mora Vahrson	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de estudio: sismicidad, intensidad de lluvia, características de suelo. • Pendiente de taludes, Geología del suelo, humedad del suelo • Evaluación de Factores de susceptibilidad y factores detonantes. 	Amenaza y Riesgo

	<ul style="list-style-type: none"> • Ponderación de la Amenaza y Riesgo • Sistema de Información SIG 	
Bloque Deslizante	<ul style="list-style-type: none"> • Valores de Cohesión que aporta la capa vegetal. 	Gestión del Riesgo

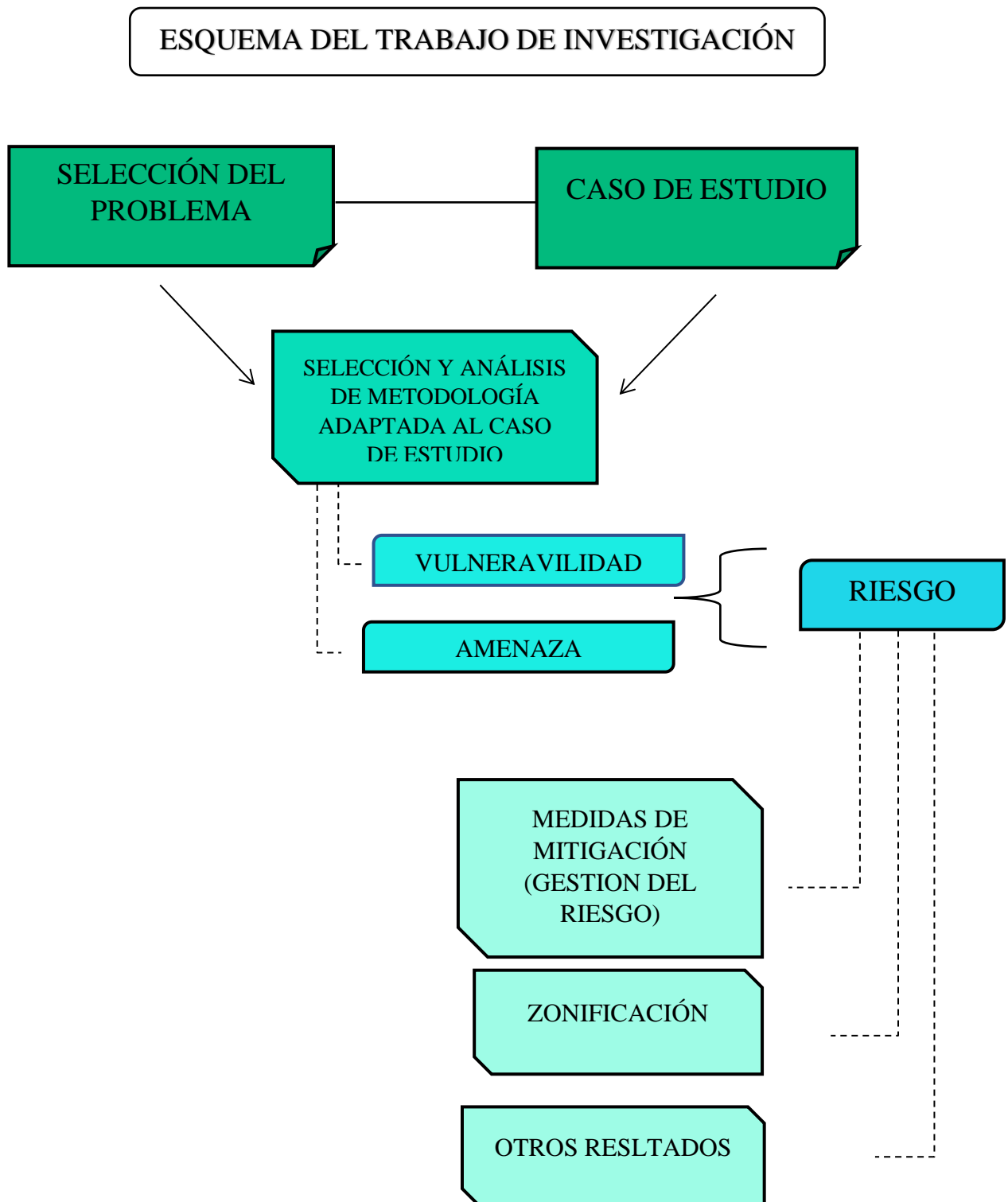
Fuente. Elaboración propia.

El uso de distintas metodologías y sus parámetros enriquecerá la obtención de resultados. De igual manera permitirá combinar conocimientos, para establecer un valor de riesgo a deslizamientos adecuado a la zona de estudio. Se deja constancia que existen distintas metodologías de este tipo, sin embargo, la información que se utilizarán en esta investigación, permitirá alcanzar los objetivos planteados en este trabajo.

Esquema del trabajo de Investigación

A continuación, se presenta, un esquema que permitirá comprender de mejor manera, el paso a paso realizado en esta investigación, para poder obtener los resultados deseados, así como un conocimiento general de los títulos necesarios para el trabajo, los cuales serán ampliados en capítulos posteriores:

Grafica 1 Esquema de Trabajo de Investigación



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA

La amenaza a deslizamiento se puede denominar como la potencial presencia de un deslizamiento en un sitio específico con una magnitud, intensidad y duración determinada. El origen de la amenaza por deslizamiento puede deberse a eventos naturales (tormentas, sismos, erupciones volcánicas, etc.) o por la intervención del ser humano en su entorno de manera inadecuada (deforestación, construcción de obras civiles mal diseñadas, corte de taludes, etc) (J. Guerrero, 2007). En esta sección se presenta una estimación de la amenaza, con base en las variables de suelo, topografía, características geotécnicas e hidrológicas.

11. Topografía

11.1. Recolección de Datos Topográficos

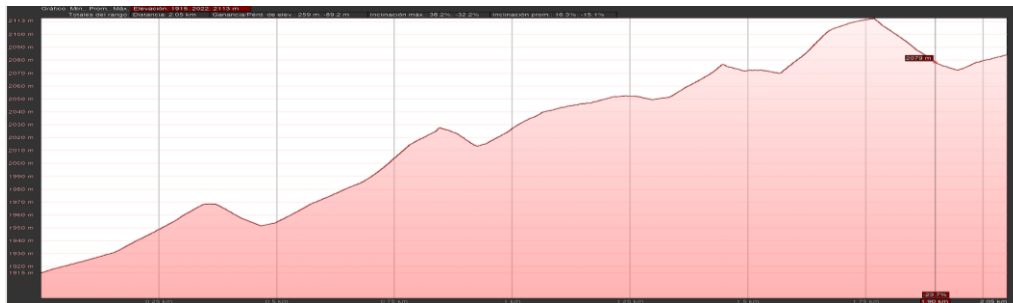
Para poder realizar la identificación del sitio de estudio y recolección de datos topográficos se realizó la toma de muestras el día 10 de abril del año 2023 durante una visita al tramo de estudio. En compañía del personal de la Dirección Municipal de Planificaciones (DMP) de San Martín Sacatepéquez y personal de la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED). Se identificaron las zonas con mayor vulnerabilidad a deslizamientos de tierra. Para poder llevar a cabo un análisis de riesgo en esta zona es necesario esquematizar sus respectivas curvas de nivel, que ofrecen mayor certeza en el análisis posterior.

Figura 23. Ubicación de área de estudio, kilómetros 236+000 al 238+194, del municipio de San Martín Sacatepéquez



Fuente. Elaboración propia con Google Earth.

Figura 24. Perfil longitudinal de Área de Estudio



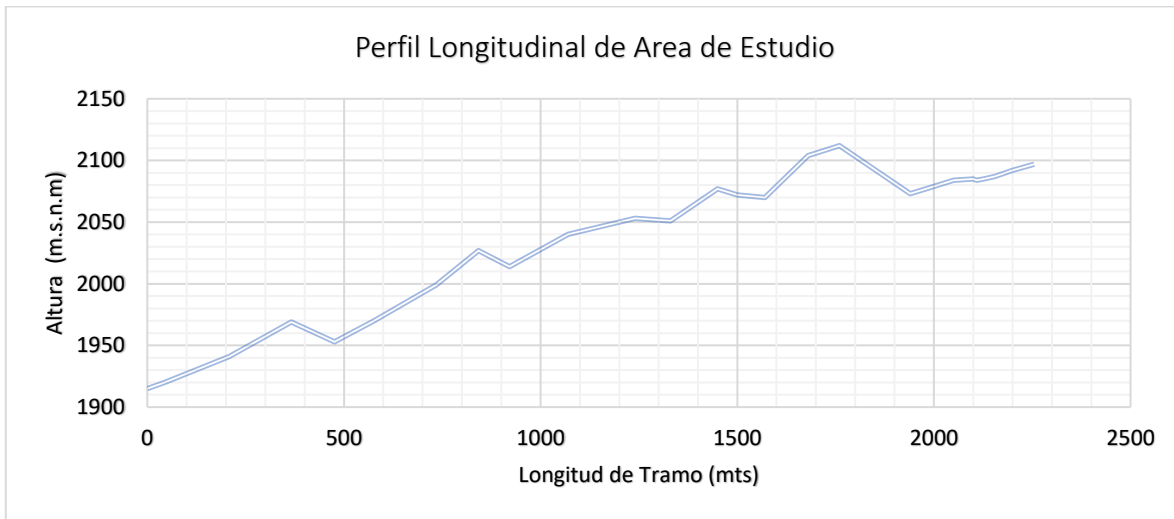
Fuente. Elaboración propia con Google Earth.

El perfil presenta condiciones con pendiente continua y pronunciada, en toda su longitud, debido a que es la ruta que se dirige a la zona costera del país, estas condiciones la hacen un caso relevante de estudio para la metodología propuesta, en este trabajo.

1.1.1. Pendiente

Es el valor que indica el desnivel entre dos puntos en una distancia medida horizontalmente, en un tramo de carretera este valor se expresa mediante un porcentaje. En la zona de estudio el tramo presenta pendientes pronunciadas y una topografía accidentada, con porcentajes de inclinación de entre 30% a 20% en su longitud.

Gráfica 1. Perfil longitudinal de área de estudio



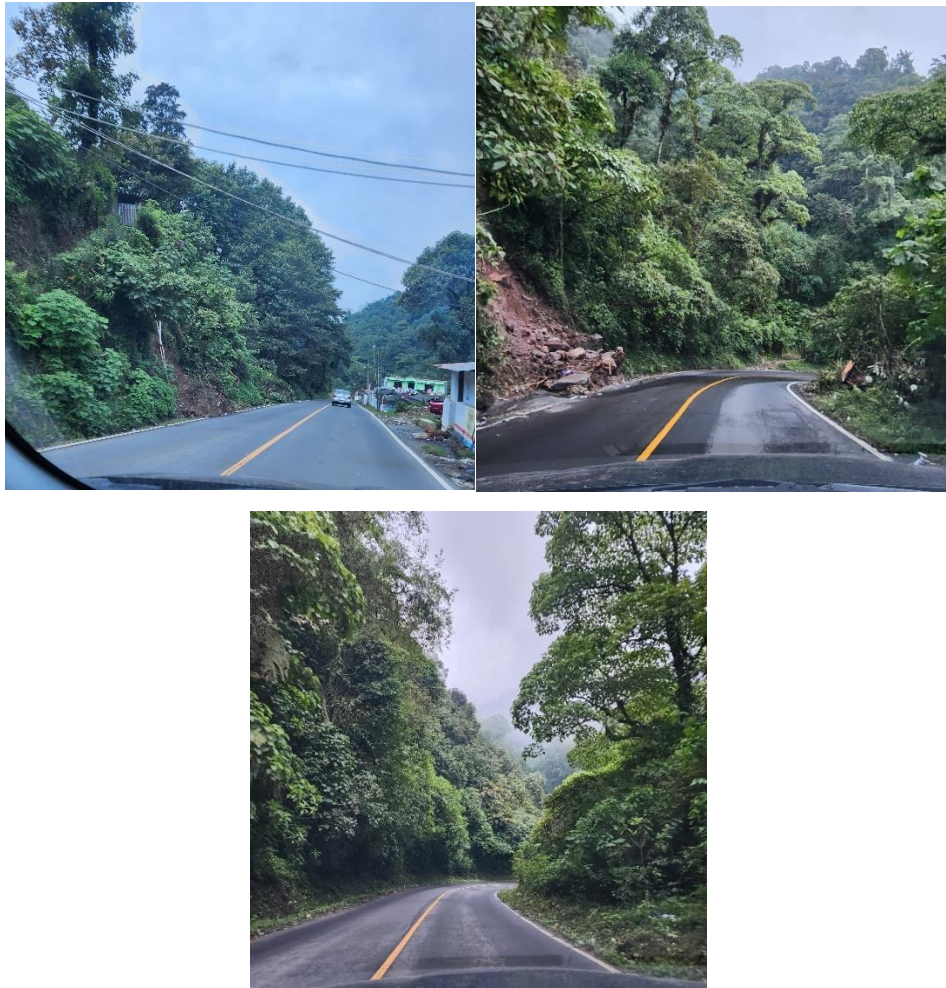
La tabla 24 permite observar el tipo de pendientes en taludes que se pueden encontrar en algunos tramos del área de estudio, las mismas fueron determinadas mediante la medición de la altura y base de cada talud con la herramienta de Google Earth. Para posteriormente determinar la pendiente. De igual manera mediante la herramienta de Google Earth, se pudieron establecer las cotas del área, para luego ser trasladadas al programa Civil 3D, de donde se pudieron obtener las curvas de nivel y posteriormente realizar una zonificación en base al tipo de pendientes existentes. Los rangos, se han asignado únicamente para establecer una representación más clara. Se muestran a continuación los valores y esquemas obtenidos:

Tabla 24. Pendiente de algunos Taludes

Notación	Pendiente (%)
Talud #1	28.10 %
Talud #2	30.12 %
Talud #3	29.30 %
Talud #4	32.50 %

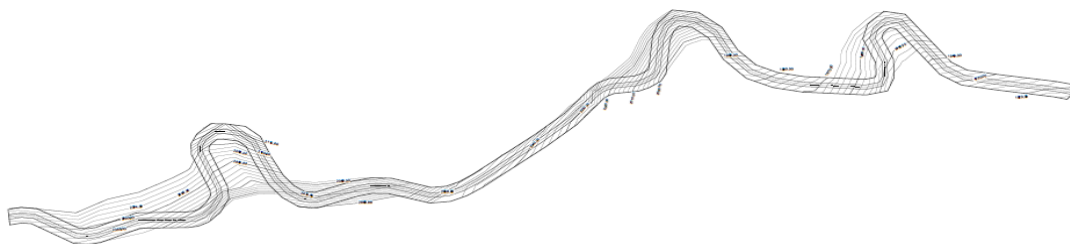
Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 1. Fotografías de taludes en el área de estudio



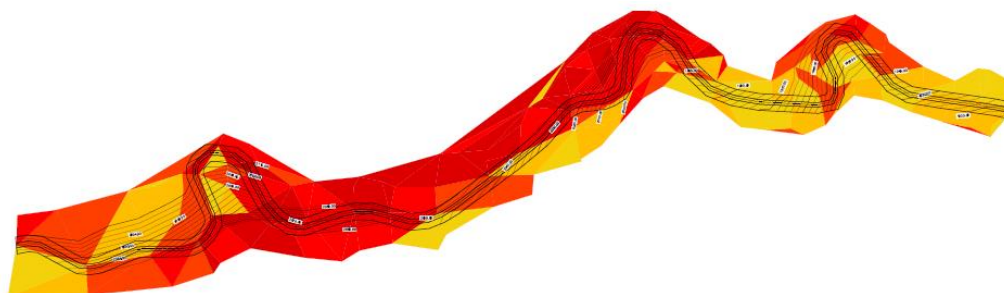
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 6. Curvas de nivel en kilómetros 236+000 y 238+194 ruta RD QUE 03, municipio de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango



Fuente. Elaboración propia.

Mapa 7. Curvas de nivel y delimitación por colores de pendientes en kilómetros 236+000 y 238+194 ruta RD QUE 03, municipio de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango



Fuente. Elaboración propia.

El mapa anterior indica las zonas con la siguiente clasificación de porcentaje de pendientes:

Tabla 25. Pendientes de terreno en el Área de Estudio

Pendiente de terreno en el Área de Estudio			
No.	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color
1	2.79%	21.80%	
2	21.80%	26.95%	
3	26.95%	35.78%	
4	35.78%	55.16%	
5	55.16%	100.84%	

Fuente: Elaboración propia.

Por medio del análisis realizado se establece que en área de estudio la topografía del terreno presenta un porcentaje de inclinación de los taludes entre 26.95 % y 35.78%.

12. Mecánica de Suelos

12.1. Muestra de Suelo

La caracterización del suelo en el área de estudio se realizó por medio de la extracción de muestras inalteradas de suelo, para lo cual se realizaron dos calicatas en puntos distintos de la zona de interés, la primera en el kilómetro 236+340 de la ruta RD QUE-03 y la segunda en el 237+500 de la ruta RD QUE-03 del Municipio de San Martín Sacatepéquez del Departamento de Quetzaltenango.

Las muestras se denominan muestras inalteradas, debido a que se realizó la extracción de los especímenes de tal manera que conservaran la estructura y humedad contenidas en el lugar de origen.

Fotografía 2. Conformación de Calicata para posterior extracción de muestra



Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 3. Calicata para extracción de muestra inalterada



Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 4. Extracción de Muestra Inalterada



Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 5. Muestra de suelo Inalterada



Fuente. Elaboración propia.

12.2. Estudio de Laboratorio

12.2.1. Ensayo Triaxial para suelos

El ensayo triaxial para suelos es uno de los procedimientos con mayor exactitud al momento de establecer características de resistencia al esfuerzo cortante del suelo, así como el Angulo de fricción interna y el grado de cohesión, que permitirá conocer el comportamiento de las muestras de suelo extraídas entre los kilómetros 236+00 y 238+194 de la Ruta Departamental RD QUE-03 del municipio de San Martín Sacatepéquez.

12.2.2. Granulometría

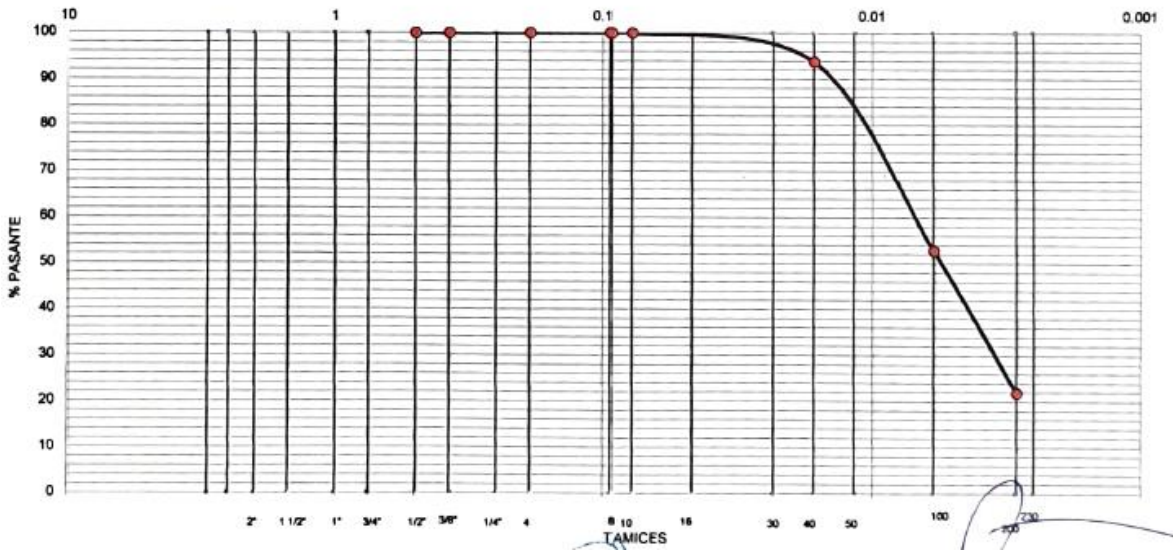
El ensayo granulométrico se encuentra expresado en porcentaje de retención por tamices y graficado en forma de una curva, para una lectura mucho más exacta de los resultados, para los fines de esta investigación las muestras de suelo extraídas han presentado un porcentaje mayor de arenas como se muestra en la figura 17. En capítulos posteriores analizaremos los resultados obtenidos y su participación en la estabilidad a deslizamiento. Los porcentajes totales se ponderan de la siguiente manera:

Tabla 26. Resultados de estudio de Granulometría

0.0 % de Piedra
78.10 % de Arenas
21.90 % P#200

Fuente. Laboratorio de Mecánica de Suelos

Figura 25. Curva Granulométrica de suelo entre los kilómetros 236+00 y 238+184 de la Ruta departamental RD QUE-03, Municipio de San Martin Sacatepéquez



Fuente. Laboratorio de Mecánica de suelos.

12.2.3. Límites de Atterberg

El estudio de suelos realizado en el área de interés (Anexo), no presenta límite líquido, no límite plástico debido a que en su mayoría el suelo es arenoso y no plástico.

12.2.4. Caracterización de Suelo

Los resultados del estudio de suelos (Anexo), muestran un suelo de tipo Arena Limosa SM A-2-4, según la clasificación en el sistema unificado (SUCS).

Datos más relevantes obtenidos mediante estudio de suelos:

Tabla 27. Resultados obtenidos de laboratorio de suelos

Muestra	Ángulo de Fricción Interna (\emptyset)	Cohesión (Cu)	Capacidad Portante del Suelo (q_a neta)	Peso Específico	Humedad
P1-M1	31.08°	0.11 Ton/m ²	10.89 T/m ²	0.68 T/m ³	44.40 %

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos por medio del estudio de suelos nos permiten identificar el contenido de humedad del suelo en el sector de estudio, así como las características de ángulo de fricción interna 31.08° y la capacidad soporte del suelo 10.89 T/m². Estos datos nos permitirán estimar el nivel de amenaza.

Tabla 28. Valoración de parámetros de susceptibilidad litológica (SI)

Angulo de Fricción efectiva (°)	Cohesión efectiva (Kpa)	Descripción
0-15	0-10	Muy Alto
15-20	10-15	Alto
20-25	15-20	Medio
25-30	20-25	Bajo
>30	>25	Muy Bajo

Fuente. Mora Vahrson, 1992.

Tomando como parámetro los valores de la tabla No.25, se determina que el suelo presenta una susceptibilidad a deslizamiento muy baja en el rubro de ángulo de fricción interna, mientras en su cohesión efectiva presenta una susceptibilidad muy alta.

13. Hidrología

Mediante información recabada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), se calcula la curva de intensidad de lluvia para la estación climatología Labor Ovalle del departamento de Quetzaltenango la estación más cercana al área de estudio.

13.1. Cálculo de Intensidad de Lluvia (IDF)

$$I = \left(\frac{5859 * Tr^{0.193}}{(D + 45.95)^{1.152}} \right) \quad (15)$$

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

D= Duración (min)

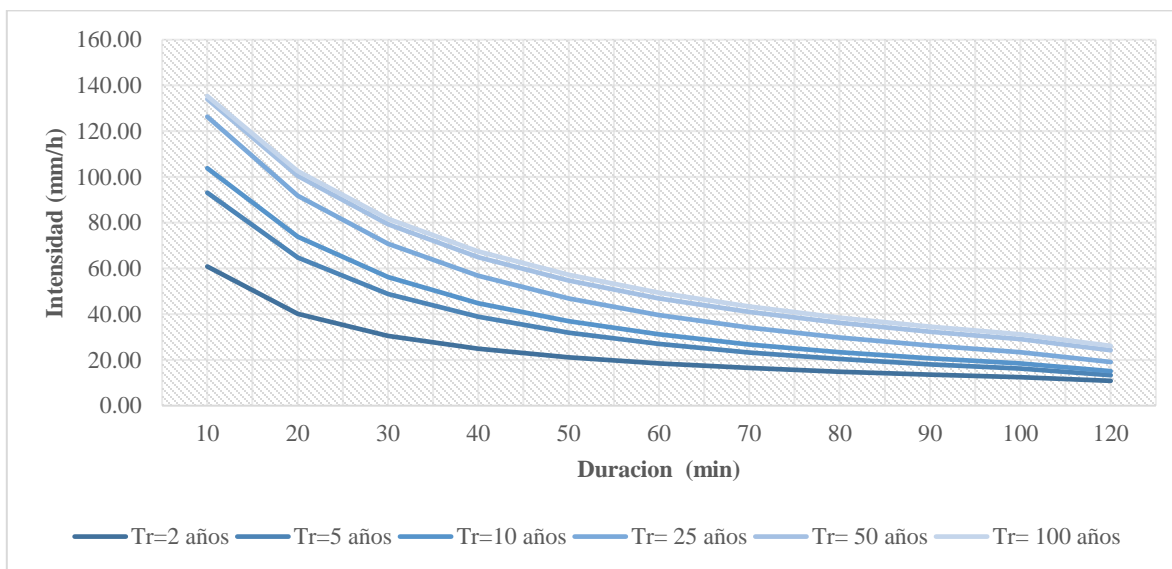
Tr= Periodo de Retorno (años)

Tabla 29. Cálculo de Intensidad de lluvia para la estación Labor Ovalle

Valores de Intensidad (mm/h)						
Duración (minutos)	Período de Retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
10	60.84	93.12	103.82	126.35	134.04	135.38
20	40.16	64.77	73.82	91.83	100.42	102.56
30	30.55	48.87	56.22	70.76	79.32	81.75
40	24.91	38.83	44.82	56.76	64.98	67.48
50	21.16	31.96	36.91	46.89	54.66	57.16
60	18.47	27.01	31.14	39.62	46.94	49.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de estación climática Labor Ovalle



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica IDF muestra la relación entre la intensidad en mm/h y la duración de hasta 60 minutos en un período de retorno de 100 años. La gráfica se presenta con una forma logarítmica descendente.

13.2. Análisis Climatológico

Para el análisis climatológico se tomaron los datos de las estaciones más cercanas al área de estudio, entre las cuales se encuentran las estaciones de: San Martín Sacatepéquez, Colomba, Coatepeque y Quetzaltenango (Labor Ovalle y Los Altos). Siendo estas últimas las estaciones que poseen un mayor registro histórico.

Las estaciones climatológicas ubicadas en la cabecera de Quetzaltenango poseen registros desde el año 2001 hasta el año 2022, mientras el registro en las estaciones de San Martín Sacatepéquez, Colomba y Coatepeque se encuentran más limitado, todos estos datos son de interés ya que se encuentran cercanos al área de estudio, los datos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 31. Precipitación total anual y mensual histórica de la Estación Climatológica Labor Ovalle, Quetzaltenango periodo 2001 – 2022

Labor Ovalle													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	SUMA
2001	0.00	2.40	0.00	11.40	119.30	142.40	68.70	82.20	169.20	108.80	13.80	0.20	718.40
2010	0.90	5.50	4.70	100.00	395.90	165.00	169.90	218.00	321.20	90.70	6.10	0.00	1477.90
2011	0.00	0.00	10.70	30.00	104.80	190.50	177.70	181.30	160.00	278.80	4.10	0.60	1138.50
2012	0.10	35.10	2.70	40.60	180.50	117.10	77.70	214.50	71.10	133.90	11.60	0.00	884.90
2013	4.70	3.10	14.50	38.80	93.40	114.40	125.20	150.90	189.10	160.00	23.40	1.00	918.50
2014	0.10	0.00	13.20	22.40	219.90	259.40	72.90	58.50	167.70	68.20	1.30	0.20	883.80
2015	0.00	0.00	14.10	10.30	79.30	157.00	80.90	63.80	269.30	152.40	36.20	3.70	867.00
2016	0.00	0.00	13.00	39.20	70.20	172.90	46.70	115.30	89.40	53.30	3.00	3.10	606.10
2017	0.00	0.00	52.20	1.60	124.30	205.40	99.30	100.80	174.40	90.30	SR	SR	848.30
2018	0.00	SR	5.00	13.40	114.00	203.30	27.60	99.30	118.00	118.20	3.20	1.00	703.00
2019	0.00	0.00	0.00	39.70	103.40	147.40	67.60	106.00	190.30	207.10	4.00	0.00	865.50
2020	0.00	0.00	0.00	18.30	213.20	103.20	109.80	116.60	142.80	53.90	52.50	0.00	810.30
2021	13.20	0.00	37.20	106.70	180.00	206.20	41.90	208.90	102.90	43.30	12.00	4.70	957.00
2022	0.00	0.00	0.00	20.70	171.40	160.30	68.50	154.50	176.70	107.70	41.70	1.00	902.50

Nota: Valores de tabla en mm, SR = sin registro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Precipitación total anual y mensual histórica de la Estación Climatológica Los Altos, Quetzaltenango período 2013 – 2022

Los Altos													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	SUMA
2013	6.80	1.00	17.10	15.80	106.00	121.30	123.50	146.50	159.60	48.60	29.60	0.50	776.30
2014	1.00	0.00	SR	9.20	227.60	264.30	59.90	41.40	121.00	168.10	1.70	0.00	894.20
2015	0.00	0.00	16.00	232.30	86.00	168.10	77.90	74.20	261.80	109.70	29.50	4.30	1059.80
2016	0.00	0.00	16.00	44.80	55.30	171.10	50.00	137.90	90.10	48.00	2.80	3.90	619.90
2017	0.00	0.00	9.90	5.90	131.40	203.40	97.70	92.80	151.30	161.30	1.00	SR	854.70
2018	0.00	0.00	9.90	5.90	136.50	168.20	24.20	110.60	SR	92.40	9.80	1.00	558.50
2019	0.00	0.00	0.00	35.10	86.10	132.70	53.30	63.30	153.30	642.90	2.10	0.00	1168.80
2020	0.00	0.00	0.00	9.90	212.30	94.00	86.30	180.60	164.70	74.90	54.70	0.00	877.40
2021	10.70	0.00	13.60	72.20	156.60	226.40	36.70	175.30	107.90	35.80	8.60	5.50	849.30
2022	0.00	2.20	0.00	21.10	170.00	156.60	84.60	257.00	161.00	161.00	41.90	0.90	1056.30

Nota: Valores de tabla en mm, SR = sin registro.

Fuente: Elaboración propia.

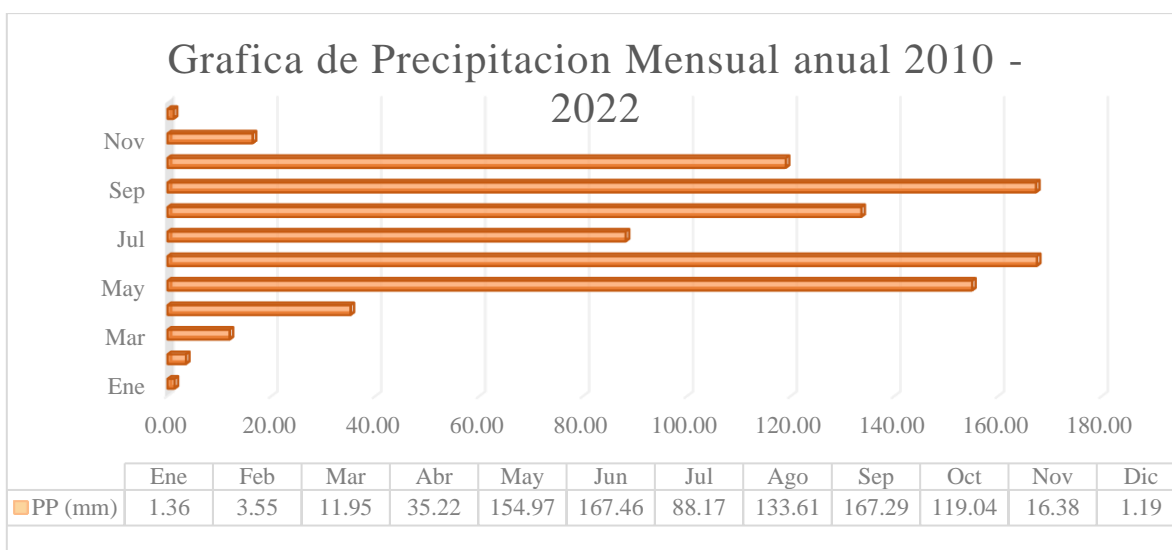
Tabla 223. Precipitación total anual y mensual histórica de la Estación Climatológica Colomba período

Estación Colomba													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	SUMA
2021	SR	SR	SR	SR	SR	241.3	221.5	296.4	175.6	213.3	76.9	69.1	1294.1
2022	17	SR	109.5	117	303.5	380.4	105.7	104.1	164.7	105.9	SR	SR	1407.8

Nota: Valores de tabla en mm, SR = sin registro.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Gráfica de precipitación mensual desde al año 2001 al año 2022, estación Labor Ovalle, Quetzaltenango



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica número 3 se pueden apreciar los meses con mayor presencia de precipitación, los cuales comprenden desde el mes de abril hasta el mes de septiembre teniendo una precipitación promedio mensual de 167.29 mm. Para el presente estudio se utilizarán los resultados de la estación de Labor Ovalle, Quetzaltenango siendo esta la que presenta mayor cantidad de datos recolectados.

13.3. Análisis Hidrológico

El análisis hidrológico es una herramienta fundamental en la gestión de recursos hídricos y en la comprensión de los procesos relacionados con el ciclo del agua en una cuenca hidrográfica específica, permitiendo evaluar la cantidad de agua disponible en una cuenca (J. Arumi, 2001).

13.4. Escorrentía Superficial

13.4.1. Parámetros de análisis

13.4.2. Velocidad

Ante la suposición de un flujo uniforme la velocidad se calcula por medio de la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Rh = Radio hidráulico = (Área mojada/Perímetro mojado)

S= Pendiente

n= Coeficiente de Manning

13.4.3. Coeficiente de Escorrentía

Es un valor adimensional que se utiliza en hidrología para describir la proporción de agua de lluvia que se convierte en flujo superficial en lugar de ser absorbido.

$$C = \frac{\Sigma c \times A}{\Sigma A} \quad (17)$$

C= Coeficiente promedio del área drenada

c= Coeficiente por área parcial

A= Área Parcial

Para cada tipo de superficie se le asigna un valor de escorrentía parcial que se puede encontrar en tablas, para el presente estudio se utilizan los siguientes datos para realizar los cálculos respectivos.

Tabla 34. Información Requerida para Cálculos

Parámetro	Información	Fuente
Área de Cuenca	96.98 km ²	MAGA (Anexo)
Longitud del canal	15.80 km	Google Earth
Punto de Estudio	1046 msnm	Google Earth
Punto más alejado del Canal	3141 msnm	Google Earth
Intensidad	45.78 mm/h	Curva IDF Pr= 100 años, tiempo = 60 minutos
Pendiente	0.1325	Google Earth

Fuente. Elaboración propia.

Los datos obtenidos anteriormente pertenecen a la cuenca del Río El Naranjo, que es aportada por el municipio de San Martín Sacatepéquez, que representa un 7.63% del área total de la cuenca, la altura del punto de estudio es de 1046 msnm con una pendiente del 0.1325 m/m, los datos de intensidad dan como resultado 45.78 mm/h en un período de retorno de 100 años.

13.4.4. Coeficiente de Escorrentía

La siguiente tabla muestra la distribución de uso de tierra, así como su área respectiva para dar como resultado un valor de escorrentía superficial C, cada valor indicado resulta como criterio del evaluador con base a tablas de parámetros establecidos.

Tabla 23. Uso de suelo

Uso de Suelo	Área (km ²)	Coefficiente de Escorrentía (c)	Área * C
Bosques en área de mucha pendiente	81.78	0.40	33.11
Pavimento de Asfalto	0.12	0.90	0.108
Suelo arenoso con Cultivo	13.08	0.50	6.54
Zonas comerciales o en centros de ciudades	1	0.95	0.95
Σ SUMATORIA	96.98		40.71

Fuente: Elaboración propia, mediante datos de Google Earth.

Mediante la fórmula de ponderación de coeficiente de escorrentía se procede a calcular un Coeficiente C global para el punto de estudio.

$$C = (c_1 \times A_1 + c_2 \times A_2 + c_n \times A_n)$$

c= Coeficiente de escorrentía

A= Área

Coefficiente de Escorrentía Global:	0.42
--	-------------

Un coeficiente de escorrentía de 0.42 significa que aproximadamente el 42% de la precipitación que cae en el área de estudio se convierte en escorrentía, mientras que el 58 % restante se infiltra en el suelo. En áreas con suelos más compactados o urbanizados, es mucho más probable que el coeficiente de escorrentía sea más alto, lo anterior indica que una mayor cantidad de lluvia se convertirá en escorrentía en lugar de ser absorbida (A. Martínez de Azagra, 2006).

La escorrentía para el área de estudio se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Escorrentía} = \text{Coeficiente de Escorrentía Global} \times \text{Intensidad de lluvia.}$$

$$Escorrentia = 0.42 \times 49.37 = 20.73 \text{ mm/h}$$

13.4.5. Velocidad de Escorrentía Superficial

La velocidad se calcula mediante la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Calculando el radio hidráulico se obtiene:

Asumiendo un ancho de banda uniforme de 1.00 m se tiene:

$$Am = 1 \times 0.02073 = 0.02073$$

El perímetro mojado se puede deducir de la siguiente manera:

$$Pm = 1 + (2 \times 0.02073)$$

$$Pm = 1.04146$$

Tomando los anteriores valores se tiene el radio hidráulico:

$$Rh = \frac{0.02073}{1.04146} = 0.01990m$$

El coeficiente de Manning se tomará de los valores recomendados de la siguiente tabla, factores que van relacionados al tipo de suelo, así mismo se hace referencia a los valores máximos de velocidad de flujo permisibles y fuerzas activas unitarias.

Tabla 36. Velocidades máximas permisibles y valores de fuerza activa unitaria recomendadas por Fortier y Scobey,

Material	n	Agua Limpia		Agua que trasporta limos coloidales	
		V, pies/s	τ_0 , lb/pie ²	V, pies/s	τ_0 , lb/pie ²
Arena Fina Coloidal	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Arcilla Rígida muy Coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46

Limos Aluviales	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Coloidales					

Fuente. Comité Especial de Investigación en Riego, de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (1926).

Se calcula la velocidad mediante la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$V = \frac{1}{0.025} \times 0.01990^{\frac{2}{3}} \times 0.1325^{\frac{1}{2}} = 1.069 \text{ m/s} = 3.50 \text{ pies/s}$$

14. Amenaza por Erosión

El resultado obtenido anteriormente, muestra la velocidad con la que las partículas de agua se desplazan en el área de estudio, el anterior resultado se pone en comparación con la tabla de velocidades máximas permisibles y se establece que, si bien el valor obtenido es menor al límite de velocidad, se encuentra muy cerca del parámetro, por lo que se puede estimar que la amenaza a deslizamiento por erosión hídrica se encuentra cercana al límite mas no es alta.

15. Amenaza a Deslizamientos

El análisis realizado permite establecer el grado de amenaza a deslizamientos en la ruta departamental RD QUE-3 entre los kilómetros 236+000 al 238+194, mediante la evaluación de distintos parámetros que afectan la estabilidad de los taludes, la descripción y evaluación de cada parámetro se muestra a continuación:

Tabla 37. Condición de Amenaza a Deslizamiento

Índice	Condición de Amenaza a Deslizamiento
Ángulo de Fricción interna	Bajo
Cohesión	Alto
Erosión	Medio
Pendiente	Alto
Precipitación	Alto

Fuente: Elaboración propia.

La interacción entre la escorrentía superficial, la erosión, la lluvia y las características del suelo desempeña un papel crucial en la génesis y la intensidad de los deslizamientos de tierra. En resumen, de la tabla 35 podemos concluir lo siguiente:

1. **Escorrentía superficial:** La escorrentía superficial, es el flujo de agua que se acumula en la superficie del suelo debido a la incapacidad de este para absorberla, aumenta la presión del agua en las capas subsuperficiales. Esto puede debilitar la cohesión del suelo y facilitar el deslizamiento. El uso del suelo en el área de San Martín Sacatepéquez, presenta distintos tipos de utilidades entre ellas, uso agrícola, representando un 13.5% del área total, el área de tipo comercial (plazas, mercados, salones, etc.) un 1.00 %, el área ocupada por la ruta RD QUE-03 está presente en un 0.12 % del área total, siendo el uso de suelo con uso boscoso el que predomina con un 85.40%.

Estas características han demostrado que casi la mitad (42%) de la precipitación de lluvia en este sector, se convierte en escorrentía superficial, teniendo una influencia directa en la amenaza a deslizamiento de tierra, este parámetro podrá ser demostrado mediante la erosión del suelo.

2. **Erosión:** La erosión, causada por la acción del agua en movimiento, como la escorrentía superficial, puede eliminar gradualmente las capas superficiales de suelo y exponer capas menos cohesionadas o rocas subyacentes. Esto puede desencadenar deslizamientos, debido a que el suelo pierde su estabilidad y cohesión, el análisis y cálculos realizados han indicado que la velocidad del flujo de la escorrentía en este sector es menor al valor máximo permisible que indica la Tabla 34, $V_{\text{sitio}} = 3.50 \text{ pies/s} > 5.00 \text{ pies/s} = V_{\text{max}}$, sin embargo, la velocidad es mayor al medio del valor máximo, permisible, por lo que, se estima una amenaza MEDIA a deslizamiento, debido a que el valor se encuentra muy cercano a la velocidad máxima.
3. **Lluvia:** La lluvia, especialmente en cantidades excesivas o intensas, puede saturar el suelo, aumentando la presión del agua en el interior del terreno. Este aumento de la presión puede disminuir la fricción entre las partículas del suelo y provocar un deslizamiento, debido a que las fuerzas de resistencia son superadas por las fuerzas

impulsoras. Según el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), para los meses de septiembre y mayo, que se presentan con un mayor volumen de precipitación (ver grafica 3) en el área de Quetzaltenango, se estimó para el 2023, una precipitación de entre 205 - 280 mm y 225 - 330 mm respectivamente, sobrepasando el promedio anual calculado mediante los registros anteriores, proporcionados por la misma institución, con un valor promedio anual de 167.29 mm. Con este aumento de entre 80 al 90% de mm de precipitación para el 2023, se concluye que existe una amenaza ALTA a deslizamientos, debido a precipitación.

4. **Características del suelo y terreno:** Las características del suelo, como su tipo, permeabilidad, cohesión y ángulo de reposo, influyen directamente en la susceptibilidad a los deslizamientos. Los suelos con baja cohesión, alta permeabilidad y ángulos de reposo bajos son más propensos a deslizarse cuando se ven afectados por la escorrentía y la saturación causadas por la lluvia.

La evaluación de las características del suelo presente en la ruta RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194 del municipio de San Martín Sacatepéquez, ha indicado que posee un ángulo de reposo máximo de 31.08° , como lo indica la tabla 26, para la valoración de parámetros de susceptibilidad litológica, este valor presenta una amenaza BAJA a deslizamientos de tierra. Mientras los valores de cohesión obtenidos mediante estudio de suelos (anexo 1), ha indicado un valor de 0.11 Ton/m², obteniendo una valoración de amenaza a deslizamiento de tierra ALTA.

En cuanto a la pendiente del terreno, como lo indica la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (s.f.), en su investigación denominada Mapeo de Amenaza, realizada en Guatemala, gran cantidad de deslizamientos ocurren en taludes con ángulos de 10° a 30° y en algunos otros taludes suaves con ángulos de entre 5° a 10° . En varios deslizamientos de tierra, el volumen de masa no era mucha, sin embargo, ocurría de una manera constante con pequeños terremotos o lluvias. En la zona de estudio se han encontrado taludes con pendientes de entre 26.95 % a 35.78%. Por lo que se establece una amenaza ALTA a deslizamiento debido a la pendiente del terreno. A criterio del investigador, al obtener distintas valoraciones,

para la evaluación del nivel de amenaza de un conjunto (características del suelo), se tomará el valor que indique una amenaza mayor. Esto nos generara estimaciones y resultados más conservadores, que permitirán crear condiciones más seguras y una mayor alerta para prevenir desastres.

Comentarios finales sobre Estimación de la Amenaza

Esta sección presenta la estimación de la amenaza a través de los métodos establecidos por la nueva metodología MAGAN propuesta en este trabajo de investigación y que como se explica en el capítulo 3 contiene aspectos de la metodología Mora Vahrson (ver análisis de metodologías). Todo esto enfocado a la evaluación de distintos parámetros y características propias de la ruda departamental RD QUE-03, en el municipio de San Martín Sacatepéquez, las cuales fueron expuestas en este capítulo.

En conjunto, estas interacciones pueden crear condiciones propicias para que ocurran deslizamientos de tierra. La evaluación de todos los parámetros anteriores, permite establecer el nivel de amenaza a deslizamiento de tierra para el área comprendida entre los kilómetros 236+000 al 238+194 de la ruta RD QUE-03, ubicada en el Municipio de San Martín Sacatepéquez. Para establecer el nivel de amenaza a deslizamiento de suelo global para la zona de estudio se ha tomado el valor mayormente repetido de los parámetros evaluados y el valor que permita generar valores más conservadores. Esto permite brindar un análisis donde la seguridad a la población es la prioridad. Esto quiere decir, el análisis de Amenaza a deslizamiento de suelo se considera de tipo ALTA.

CAPÍTULO V

ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

En una comunidad la vulnerabilidad se define como el grupo de condicionantes que provocan una mayor probabilidad ante una amenaza de cualquier índole (A. Garcia. 2018). Para esta investigación se ha determinado que la población o comunidad mayormente afectada para el área de estudio son los vehículos que transitan por la ruta RD QUE-03, por lo que fue necesaria la determinación de las características de la población afectada, para esto se llevó a cabo un aforo vehicular como se muestra a continuación:

1. Aforo Vehicular

Existen distintos tipos de estudios de tránsito para poder analizar una carretera o vía de comunicación, entre ellos se encuentra el aforo vehicular, que se encarga de tomar en cuenta el volumen vehicular, el tipo de vehículos y los tiempos. La información es de vital importancia para realizar el mantenimiento de las carreteras, aplicaciones futuras y conocimiento del entorno (Marenco, 2015).

Con el objetivo de realizar un conteo vehicular sobre la ruta RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194, agrupados por clase de vehículo (anexo). El aforo vehicular se realizó en los horarios de entre 7 am a 9 am y de 5 am a 7 pm durante dos días siendo estos domingo y viernes. Considerado los horarios con mayor tránsito vehicular.

Las variables tomadas en cuenta fueron, el número de vehículos que cruzan en un punto de referencia establecido entre los kilómetros antes mencionados y la clase de automotor como pueden ser: Carro tipo sedán (Particulares, taxis, campero, etc), Buses, Microbuses, Buses Colectivos, Camiones (Camiones, furgones, carros mezcladores), motocicletas.

El resultado del análisis del aforo realizado se presenta en la tabla 35, en la que se muestra el aforo diario promedio obtenido durante los días de conteo:

Tabla 248. Aforo Vehicular en RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194

Número de carriles	2.00	
Ancho de Carril	3.50 mts	
Cantidad de Carriles	2	
Tipo de Terreno	Plano, Ondulado Montañoso	
Aforo Vehicular Dia 1		
Tipo de Vehículo	Cantidad en 4 horas	Porcentaje
Camiones (C-2P, C-2G-C-3-4)	96	9.41%
Camiones (C5)	4	0.39%
Microbuses	32	3.14%
Carro tipo Sedan	496	48.63%
Motocicletas	200	19.61%
Buses Colectivos	24	2.35%
Pick Up	168	16.47%
TOTAL	1016	100.00 %
Aforo Vehicular Dia 2		
Tipo de Vehículo	Cantidad en 4 horas	Porcentaje
Camiones (C-2P, C-2G-C-3-4)	128	12.60%
Camiones (C5)	8	0.79%
Microbuses	36	3.54%
Carro tipo Sedan	452	44.49%
Motocicletas	244	24.02%
Buses Colectivos	40	3.94%
Pick Up	188	18.50%
TOTAL	1096	100.00 %
Promedio de Vehículos		
Tipo de Vehículo	Cantidad en 4 horas	Porcentaje

Camiones (C-2P, C-2G-C-3-4)	112	10.59%
Camiones (C5)	6	0.57 %
Microbuses	34	3.21%
Carro tipo Sedan	474	44.80 %
Motocicletas	222	20.98%
Buses Colectivos	32	3.02 %
Pick Up	178	16.82%
TOTAL, PROMEDIO	1058	100%

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 6. Sitio donde se realizó el aforo sobre la ruta RD QUE-03 kilómetro 237+100



Fuente: Elaboración propia.

2. Determinación de la Vulnerabilidad

En este trabajo se determinará la vulnerabilidad tomando como base, la metodología Stewart et al (2002), tomando en cuenta distintos tipos de indicadores de probabilidad (temporal,

fatalidad, velocidad) entre otros aspectos, cada uno se evaluará y se pondrá en comparación con distintos tipos de tablas, dando distintos niveles de vulnerabilidad y al final se pondrá en comparación para establecer un nivel total, como se describe a continuación:

2.1. Indicador de Probabilidad de Falla

Según datos proporcionados por la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED), en los meses con presencia de lluvia constante, ocurren alrededor de 1 a dos eventos de deslizamiento de tierra. En este caso el indicado se encuentra en el parámetro de L1 como lo indica la tabla 39.

Tabla 39. Indicador de probabilidad de falla

Indicador	Descripción
L1	El evento puede, o es esperado que ocurra dentro de un corto periodo bajo circunstancias promedio, o el mecanismo está activo en el presente (dependiendo de las circunstancias un periodo corto pueden ser de días a no más de 2 o 3 años). La probabilidad anual indicativa es alrededor 0.9
L2	El evento puede, o es esperado que ocurra dentro de un periodo moderado (de unos pocos años a 30 años) o dentro del próximo período de inspección bajo condiciones ligeramente adversas. La probabilidad anual indicativa es alrededor 10-1
L3	El evento podría ser esperado que ocurra alguna vez dentro de un periodo de 100 años, en el normal curso de los eventos, pero solo podría ocurrir dentro del próximo período de inspección bajo circunstancias adversas. La probabilidad anual indicativa es 10-2
L4	El evento podría no ser esperado para ocurrir dentro de un período de 100 años bajo condiciones normales y es improbable que ocurra dentro del próximo período de

	inspección excepto bajo condiciones muy adversas. La probabilidad anual indicativa es 10^{-3}
L5	El evento podría no ser esperado para ocurrir dentro de un periodo de 100 años y es improbable que ocurra dentro del próximo periodo de inspección aún bajo condiciones muy adversas. La probabilidad anual indicativa es 10^{-4}
L6	El evento es improbable que ocurra aún bajo condiciones extremas. La probabilidad anual indicativa es $<10^{-5}$

Fuente: Hidalgo (2011).

2.2. Indicador de Probabilidad Temporal

Este indicador muestra la probabilidad que un elemento o vehículo se encuentre expuesto a la amenaza. Mediante los datos obtenidos por medio del aforo vehicular, se puede establecer que en promedio por hora se movilizan un total de, 242 vehículos en hora pico, por lo que cada minuto aproximadamente se movilizan 4 vehículos diariamente, en hora pico. Esto nos da como resultado una calificación de T2.

Tabla 40. Calificación de la probabilidad temporal

Indicador	Descripción
T1	Usualmente se espera presencia de la persona como parte de la forma normal de uso (Ejemplo edificios residenciales, algunos edificios comerciales). Usuarios de la carretera en la condición más pesada de tránsito urbano ($P > 0.5$)
T2	Se espera que a menudo estén presente la persona como parte de la forma normal de uso (Ejemplo edificios residenciales, algunos edificios comerciales). Usuarios de las vías en las mayores arterias urbanas y en las vías rurales de tráfico más pesado ($P = 0.1 - 0.5$)
T3	Se espera que algunas veces esté presente la persona como parte de la forma normal de uso. Usuarios de las vías en muchas arterias urbanas y en las mayores arterias rurales ($P = 0.01 - 0.1$)

T4	Es improbable que esté presente la persona como parte de la forma normal de uso. Usuarios de las vías suburbanas y arterias rurales menores (P=0.001-0.01)
T5	Es muy improbable que esté presente la persona. Usuarios de la mayoría de las vías de tráfico ligero, bermas de las vías etc. (P<0.001)

Fuente: Hidalgo (2011).

2.3. Indicador de Probabilidad de que haya una fatalidad

Según la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL) las rutas departamentales (RD), carreteras de orden secundario poseen un límite de velocidad de 60 km/h. En muchas ocasiones este límite es violado por conductores, como lo indica la Oficina Municipal de Planificación (DMP) de la municipalidad de San Martín Sacatepequez. Un ejemplo son los conductores de Buses colectivos. Así mismo, el tramo de estudio es utilizado de manera constante por distintos tipos de vehículos, aproximadamente 265 vehículos promedio por hora, como se muestra en la tabla No.38 (tabla de aforo vehicular).

La topografía del sector nos muestra taludes de entre 28 a 32 % de pendiente con alturas variables. Con los criterios anteriores y las observaciones obtenidas en la visita de campo, se puede establecer una valoración de V3 para la calificación de probabilidad de que exista una fatalidad.

Tabla 41. Calificación de la probabilidad de que haya una fatalidad

Indicador	Descripción
V1	Persona al descubierto incapaz de evadir las caídas de rocas y otros detritos (movimientos extremadamente rápidos). Vehículo chocado contra un bloque mayor de 1 m de altura o perdido dentro de un hueco profundo y angosto a velocidad de autopista (P>0.5)
V2	Persona al descubierto puede ser capaz de evadir los detritos. Vehículo chocado contra un bloque de 0.5-1 m de altura a velocidad de autopista o mayor a 1 m de altura a velocidad urbana, o perdido dentro de un hueco angosto (P 0.1-0.5)

V3	La mayoría de la gente al descubierto puede evadir los detritos. Vehículo chocado contra un bloque de 0.5-1 m de altura a velocidad urbana, o un bloque >1 m de altura a baja velocidad. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seco o húmedo (o cruza superficie escalonada con escalones de 0.1-0.2 m causados por el desarrollo de la falla de un terraplén) a velocidades de autopista (P=0.01-0.1)
V4	Vehículo choca contra bloques de alrededor de 0.2 m de altura a velocidad de autopista o un bloque de altura 0.5-1 m a baja velocidad. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seca o húmeda (o cruza superficie escalonada con escalones de 0.1-0.2 m causados por el desarrollo de la falla de un terraplén) a velocidades urbana. Vehículo interactúa con una depresión o hueco superficial donde la barrera de defensa puede prevenir la salida del vehículo de la vía (P 0.001-0.01)
V5	Vehículo choca contra bloques de alrededor de 0.2 m de altura a velocidad urbana o un bloque de tamaño menor a velocidad de autopista. Vehículo impacta detritos de mezclas de suelo y roca seco o húmedo a baja velocidad. Vehículo atraviesa una superficie irregular formada por suelo o pequeñas rocas (<100 mm de dimensión mínima) o por una falla desarrollada en un terraplén a velocidades de autopista (P<0.001)

Nota: Velocidad de autopista=100-110 km/h, urbana=60- 80 km/h, baja=20-30 km/h.

Fuente: Hidalgo (2011).

2.4. Volumen de Suelo

El indicador de la escala de falla es establecido por medio del registro historico de volumenes maximos de material fallado o bloques de caida de roca. Este dato nos ayudara a estimar, la magnitud de la vulnerabilidad de los transeuntes, asi como la cantidad de pérdidas que pueden generar un taponamiento debido a masas de suelo.

Como lo refiere la Direccion General de Caminos Zona Vial Numero 5, quienes son los encargados de brindar atencion a las emergencias mayores, por deslizamientos de tierra en este sector. Los registros obtenidos muestran deslizamientos de hasta 15 m³, con bloques no mayores a 1.00 mts de altura.

Tabla 42. Volumen de Suelo

Indicador	Volumen (m ³)	Tamaño de bloque (m)
S1	>20000	1.0 (Dimensión mínima)
S2	>2000	1.0 (Dimensión máxima)
S3	>200	<1.0 (Dimensión máxima)
S4	>20	<0.5 (Dimensión máxima)
S5	<20	<0.2 (Dimensión máxima)

Fuente: Hidalgo (2011).

2.5. Velocidad de Movimiento de Masa

Este parámetro nos permitirá estimar, las posibles perdidas humanas, debido a la vulnerabilidad que se tiene por parte de los vehículos, debido al movimiento de masas y en relación a la velocidad de movimiento de las mismas.

Mediante las uso de las curvas de nivel establecidas en Civil 3D teniendo taludes de entre 10 a 15 mts de altura (Anexo 8) y mediante la formula de velocidad maxima, se puede estimar que la velocidad de un bloque de suelo puede ser de hasta 7.50 m/s. Dado lo anterior se establece un indicador de R1.

Tabla 25. Velocidad de Movimiento de Masa

Indicador	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad Típica
R1	Extremamente rápido	5x10 ³	5 m/s
R1	Muy rápido	5x10 ³	5 m/s
R2	Rápido	5x10 ¹	3 m/s
R3	Moderado	5x10 ⁻¹	1.8 m/h
R4	Lento	5x10 ⁻³	13 m/mes
R5	Muy lento	5x10 ⁻⁵	1.6 m/año
R5	Extremamente lento	5x10 ⁻⁷	16 mm/año

Fuente: Hidalgo (2011).

2.6.Magnitud de Evento

La calificación del la magnitud del evento se determino mediante la interseccion de los valores de volumen de suelo y velocidad de movimietno de masa. Dando como resultado una calificación de M2 como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 264. Calificación de magnitud del evento

Velocidad de Masa		Magnitud de Evento				
		BAJO	MEDIO		ALTO	
		S5	S4	S3	S2	S1
Rápido	R1	M3	M2	M2	M1	M1
	R2	M4	M3	M2	M2	M1
	R3	M4	M4	M3	M2	M2
	R4	M5	M4	M4	M3	M3
Lento	R5	M5	M5	M4	M4	M3

Fuente: Hidalgo (2011).

La tabla 44, nos permite establecer la magnitud del evento y su relacion con los transeuntes, debido a las condiciones de velocidad y magnitud de movimiento de las masas de suelo. Una mayor velocidad de movimiento de masas y un volumen de movimiento mayor, disminuye la capacidad de reaccion del conductor, para evitar un evento faltañ. Para esta investigacion,

el resultado a mostrado un nivel S4, lo que según Hidalgo (2011), nos presenta un nivel de vulnerabilidad MEDIO.

2.7. Matriz de Consecuencias

La calificación de la matriz de consecuencia es el resultado de la intersección de los indicadores de la probabilidad de que exista una fatalidad y la Probabilidad Temporal. Debido a que nos muestran la relación entre las condiciones, más problemas en las que se pueden encontrar los vehículos, así como la probabilidad que exista presencia de vehículos durante un evento de deslizamiento de tierra. El valor de la probad de falla es de V3 como se muestra en la tabla 41 y el valor del indicador de probabilidad es de T2 como se muestra en la tabla 40.

Tabla 45. Matriz de consecuencias

Fatalidad	Probabilidad temporal				
	T5	T4	T3	T2	T1
V1	C4	C3	C2	C1	C1
V2	C4	C3	C2	C1	C1
V3	C5	C4	C3	C2	C2
V4	C5	C5	C4	C3	C3
V5	C5	C5	C5	C4	C4

Fuente: Hidalgo (2011).

Según la tabla 43 esta relación nos indica un valor de C2, para la matriz de consecuencias. Este valor será evaluado posteriormente.

2.8. Nivel de Consecuencias

El nivel de consecuencias es producto de la matriz de consecuencias con la que se describirá el impacto que un evento de deslizamiento de gran magnitud podría afectar el área de estudio. Así mismo pondrá en contexto las pérdidas que pudieran generarse a partir de un taponamiento de este tipo y el tiempo que se podría perder debido a la interrupción del flujo vehicular. A partir de esta interacción se realiza la siguiente estimación por medio de la tabla 46:

Tabla 46. Calificación del nivel de consecuencias

ALTO	C1	Cierre total de una carretera troncal o doble calzada por un periodo extendido. Daños mayores de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Interrupción muy costosa. Costos de reparación muy altos. (costo directo e indirecto >\$1500M)
	C2	Cierre total de un carril de una carretera troncal o doble calzada o cierre total de una carretera secundaria por un periodo extendido. Grandes costos de la interrupción. Costos de reparación muy altos. (costo directo e indirecto >\$200M<1500M)
MEDIO	C3	Cierre total de una carretera secundaria por un periodo corto, un periodo largo se puede aceptar si hay alternativas razonables disponibles. Daños moderados de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Costos moderados de la interrupción. Costos de reparación moderados. (costo directo e indirecto >\$50M<200 M)
	C4	Cierre total o parcial de una carretera secundaria por un periodo corto. Daños menores de infraestructuras o propiedades (Diferentes a carreteras). Costos menores de la interrupción. Costos de reparación bajos. (costo directo e indirecto >\$10M<50 M)
BAJO	C5	Cierre total o parcial de una carretera terciaria por un período corto. Daños de infraestructuras o propiedades despreciables (Diferentes a carreteras). Costos bajos o despreciables de la interrupción. Costos de reparación bajos o sin costos. (costo directo e indirecto <\$10M)

*Dólares Americanos (\$) cambio al día \$.1.00 ≈ Q,7.85 Fuente: Modificada de Stewart et al (2002)

Como lo indica COVIAL y la Dirección General de Caminos, durante eventos de deslizamiento donde ambas vías de la carretera se ven afectadas, el retiro de material puede durar entre 3 a 4 horas. Lo que genera largas colas de vehículos varados. Un evento de este tipo puede generar gran impacto, porque según el aforo vehicular (tabla 38), en promedio para el área de estudio transita por hora, 265 vehículos de distinto tipo, como: camiones C5, motocicletas, así como microbuses y buses colectivos, picops de carga y carros tipo sedán.

La vulnerabilidad de esta zona debido a la importancia de su transitar, puede ser observada desde varios puntos de vista, como un impacto humano, social, económico, etc. Para lo cual todos estos aspectos fueron evaluados en este capítulo.

2.9. Nivel de Vulnerabilidad Estimada

Se estima la vulnerabilidad de las personas y vehículos en carreteras y vías de comunicación, conforme al indicador de magnitud de evento y al nivel de consecuencias. Tomando como criterio la cantidad de vehículos que transitan por la zona, el volumen de masa por evento, la magnitud del impacto del evento en la carretera. Wilson (2005) presenta 5 niveles de vulnerabilidad posible a evaluar. Para el presente estudio se ha determinado mediante los aspectos antes mencionados en este capítulo un nivel estimado de vulnerabilidad de C2:

Tabla 47. Matriz de Nivel de Vulnerabilidad Estimado

Probabilidad	Nivel de Consecuencia				
	C2	C4	C3	C2	C1
M1	NVE3	NVE2	NVE1	NVE1	NVE1
M2	NVE4	NVE3	NVE2	NVE1	NVE1
M3	NVE5	NVE4	NVE3	NVE2	NVE1
M4	NVE5	NVE5	NVE4	NVE3	NVE2
M5	NVE5	NVE5	NVE5	NVE4	NVE3

Fuente: Hidalgo (2011).

El Nivel de Vulnerabilidad Estimado (NVE) aceptable puede variar, ya que intervienen distintos factores, la experiencia del profesional que realiza la investigación y las prácticas del sector de estudio, como lo indica Fell (1994) la vulnerabilidad debe ser atendida y tomada en cuenta con base a la calificación obtenida y de esta manera dirigir la información obtenida

al análisis del riesgo, ya que los daños provocados por deslizamientos naturales de un talud son aceptables, siempre que la probabilidad anual de un incidente fatal este entre los valores de 10^{-2} y 10^{-3} . Este parámetro será evaluado en capítulos posteriores.

Del análisis anterior se ha obtenido un nivel de vulnerabilidad estimado de **NVE 2**, obteniendo un nivel **ALTO** de vulnerabilidad para el sector de análisis. Hidalgo (2011) menciona algunos aspectos a tomar en cuenta en base al nivel de vulnerabilidad obtenido, y los posibles escenarios en los que se puede presentar.

Tabla 48. Nivel de Vulnerabilidad Estimado

Nivel de Vulnerabilidad Estimado	Consideraciones	Nivel de Vulnerabilidad
NVE 1	Problemática debe ser remediado lo antes posible, se presenta una mayor vulnerabilidad en pérdidas económicas sobre pérdida de vidas, es posible establecer estrategias a largo plazo, específicas para cada sitio.	Alto
NVE 2		
NVE 3	No requieren intervención, sin embargo, es posible que el nivel de vulnerabilidad aumente con el tiempo, se deben establecer sistemas de manejo, coordinación.	Medio
NVE 4	Niveles de vulnerabilidad recomendados para obras nuevas, sistemas y gestiones de problemáticas recientemente generadas e implementadas, se sugiere seguir un cuidado constante y permanente.	Bajo
NVE 5		

*Nivel de vulnerabilidad estimado (NVE) 3, es el nivel recomendable que se debe mantener.

Fuente: Hidalgo (2011).

3. Comentarios finales sobre la Estimación de la Vulnerabilidad

El estudio ha establecido que en la Ruta Departamental RD QUE-03 entre los kilómetros 236+00 y 238+194 el nivel de vulnerabilidad es ALTO con un nivel de vulnerabilidad Estimado de NVE 2 (ver tabla 47). Esta valoración ha sido estimada principalmente a la cantidad de vehículos que transitan en la zona (ver tabla 38). Las pérdidas generadas por un evento de deslizamiento se estiman en aspectos como: el humano, ya que un solo percance vehicular podría afectar el tránsito de un bus colectivo que en promedio transporta 50 personas y en promedio diario transitan 96 buses colectivos de este tipo. Es usual que los buses excedan la capacidad de carga, como se pudo observar durante el aforo vehicular. De manera mensual se podrían tener pérdidas humanas de alrededor de 15,000 vidas humanas, excluyendo otros tipos de transporte fuera del sistema extra-urbano.

Por otro lado, un deslizamiento de tierra de gran magnitud, como lo sería un desmoronamiento mayor a 10 m³ de suelos, podría, genera gran cantidad de pérdidas económicas, se podrían esperar más de Q.150,000.00 en pérdidas diarias, proveniente de la actividad laboral agrícola y de las personas que transitan por este sector diariamente. La mayoría de estas personas son originarios de poblados de la boca costa como: La estancia, Colomba Costa Cuca, El palmar, Génova, Coatepeque, etc. con destino a San Juan Ostuncalco, Concepción Chiquirichapa, La Esperanza, Cajola, etc. en donde buscan oportunidades de laborar a diario.

La dirección general de caminos menciona, que se atienden alrededor de 4 incidentes de deslizamientos de tierra y ramas de volumen moderado (3 a 5m³) al mes, durante la época con mayor presencia de precipitación (ver grafica 3). Esto requiere de un tiempo de limpieza aproximadamente de 1 a 2 horas. Para cada incidente, se despeja inicialmente un carril, para evitar que el congestionamiento vehicular sea más extenso. Sin embargo, a pesar de este esfuerzo, se estima que los embotellamientos alcanzan los 40 vehículos, cada 10 minutos. Esto ocasiona retrasos en entrega de materiales, horarios laborales, descontento y estrés en la población e incluso riesgo de accidentes. Este último inconveniente se evidencia cuando vehículos invaden el carril opuesto, con la intención de omitir el embotellamiento y disminuir el tiempo de espera.

Por lo anterior, se debe tomar en cuenta una serie de estrategias, para disminuir la problemática en la zona de estudio. En la estimación de vulnerabilidad se define un nivel ALTO. En este lugar, existe un alto tránsito vehicular (ver tabla 38) y los antecedentes han determinado una constatación de derrumbes de distinta magnitud como lo ha indicado la Dirección General de Caminos y la Dirección Municipal de Planificaciones (DMP) de la municipalidad de San Martín Sacatepéquez, sumado a una topografía accidentada con taludes de pendiente pronunciada (ver tabla 24).

CAPÍTULO VI

ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Como se explicó en el capítulo 3 se realizará la estimación de riesgo, siguiendo los parámetros establecidos en la nueva metodología MAGAN, como se expondrá en este capítulo.

La metodología MAGAN, contiene aspectos de la metodología Mora Vahrson (ver análisis de metodólogas) ya que se utilizará para la evaluación y zonificación de riesgos de deslizamientos en pendientes elevadas en áreas geográficas propensas a eventos climáticos extremos, como Centroamérica, incluyendo Guatemala. Este método se utiliza en la gestión de riesgos naturales, específicamente para identificar áreas vulnerables a deslizamientos de tierra y tomar medidas preventivas y de mitigación.

1.1. Mapa Base

Este elemento nos permitió darle contexto a nuestro trabajo de investigación, mediante mapas gráficos utilizando distintas referencias, en el presente trabajo el mapa base fue realizado mediante información disponible por parte de instituciones nacionales e internacionales.

1.2. Área de Estudio

En este trabajo se ha realizado un análisis para todo el municipio de San Martín Sacatepéquez y posteriormente por medio de la herramienta de la cuadrícula, se realizó un análisis “local” para el área comprendida entre los kilómetros 236+00 al 238+194 de la ruta RD QUE-03, que es el objeto de estudio de esta investigación.

2. Recolección de Información Necesaria

Se realizó la búsqueda de información disponible para poder cumplir con los objetivos planteados. Entre ellos la creación de mapas de amenaza, para lo que fue necesaria la investigación: sísmica, geológica e información climatológica del área de estudio. Así mismo se realizó una recolección de muestra de suelo para establecer las caracterizas del mismo y de esta manera poder tener disponibilidad de datos reales para la realización de cálculos pertenecientes a la metodología establecida para esta investigación.

Para poder obtener la información necesaria se contó con apoyo de las siguientes entidades:

- Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Survey -USGS-)
- Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED)
- Dirección General de Caminos
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

4. Mapas Preliminares

4.1. Mapa de Pendiente (Sr)

En este apartado se muestran las acciones realizadas por medio del sistema ArcMap, observando el índice de pendientes a través de un mapa de zonificación (anexo 3), el área de evaluación se encuentra en una zona con un nivel medio de pendientes, así mismo se pueden encontrar barrancos y laderas. Los resultados fueron establecidos mediante el apoyo de los datos obtenidos por el Servicio Geológico de Estados Unidos.

En la zona específica del área de entre 20 a 30 grados, obteniendo una zonificación como se muestra en el mapa respectivo. El resultante de este parámetro representa el factor **Sr**.

4.2. Litología (SI):

La litología del municipio de San Martín Sacatepéquez, se indican el tipo de rocas que existen en el territorio, con presencia de rocas ígneas y cuaternarias en casi toda su totalidad del período cuaternario y terciario. La descripción y características de cada tipo se indica a continuación:

Tabla 279. Geología del municipio de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango

Nomenclatura	Tipo de Roca	Periodo	Características
Qv	Rocas Ígneas y Metamórficas	Cuaternario	Rocas volcánicas. Incluyendo coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos.
Tv	Rocas Ígneas y Metamórficas	Terciario	Rocas volcánicas sin dividir, predominantemente incluyendo, Tobao, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.
Qp	Rocas Ígneas y Metamórficas	Cuaternario	Rellenos, cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso.

Fuente: Atlas temático de la República de Guatemala (2005).

4.3. Humedad del suelo (Sh):

El parámetro de humedad relativa del suelo se obtuvo mediante los promedios mensuales de precipitación, calculados en el capítulo IV, tal como se muestra en la Gráfica 3. Cada mes posee una valoración mensual que genera una clasificación para la metodología Mora-Vahrson. En el caso de San Martín Sacatepéquez, se toma la información de la estación meteorológica Labor Ovalle, de la cabecera de Quetzaltenango.

4.4. Intensidad sísmica (Ts):

Un movimiento sísmico tiene la capacidad de generar fuerzas de inercia que pueden desestabilizar laderas, terraplenes o la misma naturaleza. La resistencia al esfuerzo cortante del suelo puede ayudar a reducir la fractura de los bloques. Las cargas inducidas por un sismo generan una presión sobre los materiales sueltos y suelos saturados, lo que genera una pérdida considerable en su resistencia al efecto cortante (Makdisi y Seed, 1978).

La intensidad sísmica forma parte de los factores desencadenantes, para el presente estudio de ha utilizado información extraída del Proyecto de Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica.

En Guatemala la actividad sísmica se debe a la interacción de una serie de placas tectónicas que atraviesan el país, las cuales son la placa tectónica de Norte América (NA) y la fosa Mesoamericana que está formada por la placa de Cocos (CO) y la placa del Caribe (CA). Este grupo de placas ha generado sismo de gran escala en Guatemala al grado de ser destructores, entre los que se pueden destacar: el terremoto de 1902 que azoto el sur occidente del país, en 1942 el terremoto que causo grandes daños en el altiplano del país, en 1976 el altiplano de Guatemala sufrió las consecuencias de la actividad de la falla del Motagua y de manera más reciente el sismo registrado con una magnitud de entre 5 a 6.9, ocurrido en San Marcos en junio del año 2017 (MAGA,2021).

Mediante el análisis realizado se ha determinado que en el Municipio de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango, se tiene un valor de aceleración pico del terremoto (PGA por sus siglas en ingles) de entre 4.98 a 5.14 m/s² como se indica en el mapa (anexo 6).

4.5.Intensidad de lluvias (Tp):

El factor Tp considera los efectos que la lluvia genera en los deslizamientos de tierra, para lo que se considera la lluvia máxima generada durante 24 horas, con un período de retorno de 100 años. La cual fue estimada en el capítulo 3. Tomando en cuenta los valores consultados en la estación meteorológica de la estación Labor Ovalle de la cabecera de Quetzaltenango, se elaboró el mapa de intensidad de lluvia.

La asociación de los mapas de sismicidad y precipitación genera un sistema de factores desencadenantes, los que tienen la capacidad de modificar las condiciones naturales de manera súbita.

5. Valuación de la Amenaza

La valuación de la amenaza obedece al producto matricial de los factores intrínsecos de disparo y la susceptibilidad, lo que da como resultado la obtención de un mapa de manaza para el área de los kilómetros 360+00 al 238+194 de la ruta RD QUE-03 del municipio de San Martín Sacatepéquez.

Para poder establecer la valuación de la amenaza, la metodología ha requerido de una serie de factores a los que se les ha asignado un valor relativo, de acuerdo al grado de influencia que cada uno tiene en el parámetro de deslizamiento de tierra. Cada valor se describe a continuación:

6. Pendiente (Sr):

En este parámetro se evalúa la inclinación del terreno, lo que representa un agente pasivo en la valuación de susceptibilidad a deslizamientos, en la medida que la pendiente pueda ir en aumento, la probabilidad que ocurra un deslizamiento crece. La presente metodología utiliza el parámetro de relieve relativo, que corresponde a la diferencia máxima de altura por kilómetro cuadrado (Mora Vahrson, 1994).

El análisis realizado en el capítulo 3, ha arrojado como resultado que, en el municipio de San Martín Sacatepéquez, existen inclinaciones del terreno 27.00 a 36.00 %, que arroja un valor Sr de entre 3 y 4. Principalmente se debe a que en la topografía del lugar el relieve es irregular con presencia de ondulaciones, que ocupan el territorio, el terreno es quebradizo con pendientes de gran tamaño en cerros y montañas (Ríos, 2004).

La tabla de clasificación muestra el valor asignado para el parámetro Sr, como se observa en el mapa generado:

Tabla 28. Clasificación muestra el valor asignado para el parámetro Sr

Rangos de pendientes (grados)	Peso asignado (Sr)	Procesos y condiciones característicos del terreno	Colores sugeridos
0 – 2	1	Plano o casi completamente	Medio verde oscuro
2 – 4	2	Inclinación suave	Verde ligero

4 – 8	3	Pendientes inclinadas	Amarillo ligero
8 – 16	4	Modelo escarpado	Amarillo anaranjado
16 – 35	5	Escarpado	Rojo claro
35 – 55	6	Muy escarpado	Rojo oscuro a medio
> 55	7	Extremadamente escarpado	Púrpura oscura

Fuente: Van Zuidam (1986)

7. Litología (SI):

La información de los macizos rocosos y el tipo de suelo es de gran importancia para poder determinar el comportamiento dinámico de las estructuras de suelo, de igual manera la información mineralógica como: nivel freático, ángulo de fricción interna, porcentaje de humedad y grado de meteorización, poseen una gran importancia en la estabilidad de laderas y taludes. La metodología Mora Vahrson, toma en cuenta esta información para establecer un valor para el factor SI (Castro Conde, 2013).

Con información recolectada por parte del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA (2005), el tipo de rocas que se encuentran en este lugar son del tipo Rocas Ígneas y Metamórficas, de los períodos Cuaternario y terciario. Lo que corresponde a una clasificación de 3 para el factor (SI).

Tabla 29. Litología

Litología	Clasificación	Factor (SI)
Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables.	Bajo	1

<p>Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático.</p> <p>Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas.</p> <p>Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.</p>		
<p>Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo.</p> <p>Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.</p>	Moderado	2
<p>Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas.</p> <p>Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.</p>	Medio	3
<p>Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.</p>	Alto	4
<p>Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros,</p>	Muy alto	5

sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.		
---	--	--

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

8. Humedad del suelo (Sh):

Para el cálculo de la humedad relativa del suelo, se tomaron los registros promedios mensuales de precipitación, brindados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), con lo que se realiza un balance hídrico simplificado, donde el sumatorio de evapotranspiraciones potencial obtengan un nivel de 125 mm/mes, por lo tanto, valores inferiores a este parámetro no inducen un aumento en la humedad el terreno, por otra parte valores en el rango de 125 a 250 mm si presenta un aumento en la humedad del suelo y precipitaciones mensuales mayores a 250 mm conducen a un contenido alto en los suelos (Mora Chinchilla,1992).

Para el área evaluada el dato de promedios mensuales de precipitación fue tomadas de la estación Meteorológica Labor Ovalle, de la cabecera de Quetzaltenango, realizando un promedio de mensual durante los últimos 10 años, se le ha asignado un valor mensual en base a la tabla siguiente.

Tabla 30. Precipitación media mensual

Precipitación media mensual (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

La sumatoria de los factores asignados mensualmente, se muestra de la siguiente manera en donde los valores más altos se presentan durante los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y octubre a los que se les ha asignado el valor de 1, mientras a los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio, noviembre y diciembre se le ha asignado el valor de 0, la

sumatoria total a arrojado un total de 6, estableciendo un factor de $Sh = 2$, con una calificación de susceptibilidad Baja.

Tabla 31. Valor acumulado de los índices de precipitación

Valor acumulado de los índices de precipitación	Calificación	Factor Sh
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy alto	5

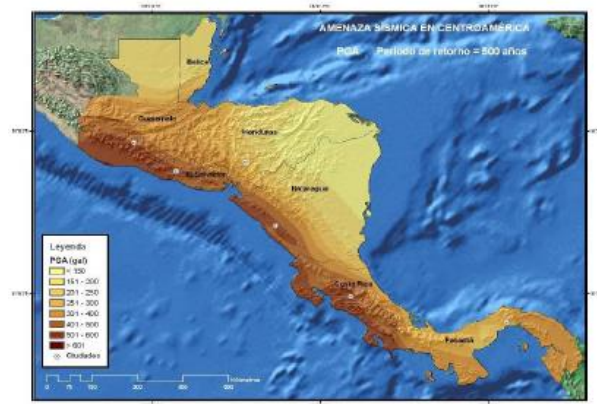
Fuente: Mora y Vahrson (1994).

9. Intensidad sísmica (Ts):

En Guatemala las características geológicas establecen al país como un área sensible a sufrir sismos, debido a la presencia de 3 placas tectónicas en el territorio, así como la localización de 10 volcanes que en muchos casos se encuentran activos, estos factores generan una gran cantidad de eventos de deslizamiento de tierra, debido a actividad sísmica (Monzon H, 1984).

Mediante los datos de aceleración pico (PGA), y la relación Trifunac y Brady (1975), se ha podido establecer el parámetro de disparo de sismicidad (Ds).

Figura 25. Mapa de amenaza sísmica PGA (gal) PR= 500 años



Fuente: Evaluación Regional de la Amenaza Sísmica en Centro América.

Tomando en cuenta los valores de aceleración pico del área de estudio mediante el análisis generado por medio del sistema SIG, se ha establecido una intensidad de VIII, con un rango de aceleración de entre 4.37 y 5.46 m/s² lo que indica un grado de susceptibilidad Elevado y un factor Ds = 6.

Tabla 54. Intensidad

Intensidad (MM) Tr= 100 años	Aceleración PGA		Grado de susceptibilidad	Factor (Ds)
	(% g)	(m/s²)		
III	1 - 12	0,098 1,226	- Leve	1
IV	13 - 20	1,227 2,011	- Muy bajo	2
V	21 - 29	2,012 2,894	- Bajo	3
VI	30 - 37	2,895 3,679	- Moderado	4
VII	38 - 44	3,680 4,365	- Medio	5
VIII	45 - 55	4,366 5,445	- Elevado	6
IX	56 - 65	5,446 6,426	- Fuerte	7
X	66 - 73	6,427 7,210	- Bastante fuerte	8
XI	74 - 85	7,211 8,388	- Muy fuerte	9
XII	>85	>8,389	Extremadament e fuerte	10

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

10. Intensidad de lluvias (Tp):

Para la evaluación del parámetro de intensidad de lluvia se ha considerado las intensidades de lluvia registrada por la estación meteorológica Labor Ovalle de la ciudad de Quetzaltenango, tomando en cuenta la lluvia máxima generada en 24 horas en un período de retorno de 100 años.

La curva IDF presentada en capítulos anteriores, nos permite calcular las precipitaciones promedio para la estación meteorológica Labor Ovalle de Quetzaltenango. La calificación máxima de intensidad de lluvia nos arroja una valoración de parámetro Tp de 1, con una denominación de susceptibilidad a deslizamientos, muy baja.

Tabla 325. Precipitación máxima n>10 años, Tr = 100 años

Precipitación máxima n>10 años, Tr = 100 años	Precipitación media n<10 años	Clasificación	Factor Tp
< 100 mm	< 50 mm	Muy bajo	1
101 – 200 mm	51 – 90 mm	Bajo	2
201 – 300 mm	91 – 130 mm	Medio	3
301 – 400 mm	131 – 175 mm	Alto	4
> 400 mm	> 175 mm	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

11. Evaluación de los Parámetros Obtenidos

11.1. Evaluación de la amenaza a Nivel Municipal

La condición que tiene un área para sufrir un deslizamiento de tierra se le denomina susceptibilidad a deslizamiento, que es el producto de la relación entre los factores intrínsecos de susceptibilidad y los factores detonantes. La susceptibilidad a deslizamiento del área de estudio se calculó con base a una serie de condiciones, las cuales son: humedad del suelo, aspectos geológicos, condiciones topográficas y a los favores detonantes, sismicidad e intensidad e precipitación de lluvia (Mora y Vahrson 1994).

Tabla 336. Parámetro Evaluado

Parámetro Evaluado		Factor
Factores de Susceptibilidad (FS)	Pendiente o Relieve Relativo (Sr)	5
	Litológico (Sl)	3
	Humedad del Suelo (Sh)	2
Factores Detonantes (FD)	Sismicidad (Ts)	6
	Intensidad de Precipitaciones (Tp)	1

Fuente: Elaboración propia.

11.2. Índice de susceptibilidad

La interacción entre los factores de pendiente, litológico y humedad del suelo da como resultado la susceptibilidad del sitio, mientras el producto de los factores de sismicidad e intensidad de precipitaciones da como resultado el factor detonante. Dando como resultado la ecuación siguiente:

H = Grado de susceptibilidad a deslizamientos

Sr = Factor pendiente o relieve relativo

Sl = Factor litológico

Sh = Factor de humedad del suelo

Ts = Sismicidad

Tp = Intensidad de precipitaciones

$H = FS * FD$

$H = (Sr * Sl * Sh) * (Ts + Tp)$

El cálculo del índice de susceptibilidad para el area de la ruta RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al 238+194, se calculó de la siguiente manera:

Cálculo de factor de su susceptibilidad:

$$FS = Sr * Sl * Sh \quad (19)$$

$$FS = 5 * 3 * 2$$

$$\mathbf{FS = 30}$$

Cálculo de factor detonante:

$$FD = Ts + Tp \quad (20)$$

$$FD = 6 + 1$$

$$\mathbf{FD = 7}$$

Riesgo al deslizamiento por Sismicidad:

$$H = FS * Ts \quad (21)$$

$$H = 30 * 6$$

$$Hs = 180$$

Riesgo al deslizamiento por lluvia:

$$H = FS * Tp \quad (22)$$

$$H = 30 * 1$$

$$Hs = 30$$

Cálculo del grado de riesgo al deslizamiento:

$$H = FS * FD \quad (23)$$

$$H = 30 * 7$$

$$\mathbf{H = 210}$$

Tabla 57. Valor de la ecuación (HI)

Valor de la ecuación (HI)	Clase	Clasificación del peligro de deslizamiento
< 6	I	Muy bajo
7 – 32	II	Bajo
33 – 162	III	Moderado
163 – 512	IV	Medio
513 – 1250	V	Alto
> 1250	VI	Muy alto

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

De acuerdo con Barrantes et al. (2011), la interpretación de los resultados obtenidos de la susceptibilidad a deslizamientos a través de la metodología Mora Vahrson, no debe limitarse únicamente a un valor en una escala numérica, por lo que sugiere dividir el rango de valores, en 5 clases de riesgo, este análisis se desprende del cálculo de distribución de frecuencias realizado por el autor. Para efectos de esta investigación, se han tomado el valor 4, con una calificación alta, debido al valor obtenido del análisis.

Tabla 348. Calificación y características de la susceptibilidad al deslizamiento

Clase	Calificativo de susceptibilidad al Deslizamiento	Características
I	Muy Bajo	Sectores estables, no requieren medidas correctivas. Debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta.
II	Baja	Sectores estables, requieren medidas correctivas menores solamente en casos especiales, debe considerarse la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta.

III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio, Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de agua superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy Alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres México, 2019

12. Análisis y Comentarios sobre la estimación del riesgo

El análisis de riesgo a deslizamiento a nivel del municipio de San Martín Sacatepéquez ha generado un índice de 210 ubicándolo en el rango de peligro medio, con una probabilidad de menos del 50% de que exista un deslizamiento, durante un evento de lluvia o sismicidad alta.

A través de esta investigación se ha demostrado los sectores donde el riesgo a deslizamiento se genera con mayor o menor incidencia, como se puede mostrar en el anexo No.5, en el mapa de amenaza a deslizamiento de suelo. Un área substancial del municipio se encuentra clasificada en riesgo de tipo media. Sin embargo, existe la presencia en algunos sectores de un riesgo alto, esto se debe en su mayoría a la topografía lo que se puede apreciar de mejor manera en el mapa anexo 5.

La presencia de niveles de riesgo de tipo alto y medio en el municipio de San Martín Sacatepéquez sugiere la necesidad de crear planes de ordenamiento. Los planes deben ser desarrollados con atención a los elementos de riesgo expuestos en esta investigación e implementar acciones que permitan disminuirlos. Como se ha expuesto, el constante uso de suelo para fines de agricultura, sin prácticas de conservación en zonas habitacionales o áreas de tránsito vehicular, permitirán un incremento del riesgo actual.

Medidas de mitigación que pueden ser implementadas y aspectos a tomar en cuenta en proyectos futuros se presentan en el próximo capítulo. Esta investigación también resalta la importancia de la implementación de medidas que limiten el riesgo en los tramos municipales ocupados por la ruta departamental RD QUE-03. Previamente descrita, esta es una vía de comunicación de alta importancia para el territorio sur occidente de Guatemala debido a la elevada cantidad de vehículos que transitan (ver aforo vehicular en tabla 35).

El uso de suelo y un mantenimiento adecuado a los taludes que rodean a este tramo carretero es de gran importancia, en la actualidad y en planes de ampliación.

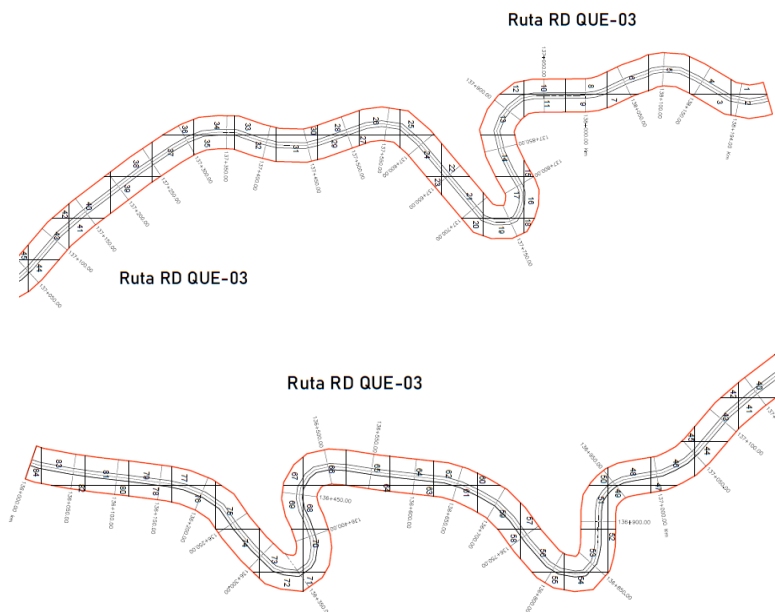
13. Aplicación de la Amenaza a sistema SIG

El uso de los sistemas de Información Geográficos (SIG) para el análisis de un área de influencia de 2 km como es este caso, se presenta como un área muy pequeña lo que limita las capacidades del sistema, por lo que la metodología Mora Vahrson, será aplicada por medio de cuadricular el área de estudio, asignando valores que sean representativos de la vulnerabilidad en cada sector.

14. Evaluación de Área de Estudio

Para la evaluación del tramo de estudio se realizará un trazado en forma de cuadrícula, que permitirá una evaluación más exacta de cada kilómetro estudiado, por lo que se dibujarán cuadros de 50 m x 50 m. Tomando en cuenta el ancho de la carretera, más un área de influencia a cada costado de la carretera de 10 metros, tomando en cuenta la influencia de los taludes más cercanos.

Figura 26. Cuadrícula poligonal entre los kilómetros 136+000 al 138+194 de la ruta RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez



Fuente. Elaboración propia.

El análisis local se llevó a cabo mediante la evaluación de cada recuadro, tomando en cuenta todos los factores antes mencionados. Para representar el análisis se toma como referencia el primer polígono marcado como **1**, el cual indica el inicio del tramo de estudio, en el kilómetro 138+194. Los aspectos que se evaluarán han sido explicados con detalle en capítulos anteriores.

15. Evaluación de la Amenaza Polígono #1

El polígono número 1, se encuentra ubicada en el kilómetro 138+194, como parte inicial del análisis a nivel local, por lo que se realizó la zonificación entre los kilómetros 136+000 al 138+194 para establecer el nivel de riesgo de cada uno.

15.1. Pendiente (Sr) Polígono # 1

El parámetro de pendiente, según la tabla 50, del análisis mediante la herramienta de cuadrícula, presenta un valor de 26.08%, el presente valor fue establecido por medio de las curvas de nivel de esta zona. El razonamiento del valor obtenido de Pendiente, $S_r = 5$ (Van Zuidam, 1986), nos indica presencia de pendientes muy fuertes, suelos de tipo escarpado.

Tabla 59. Rangos de pendientes (grados)

Rangos de pendientes (grados)	Peso asignado (Sr)	Procesos y condiciones característicos del terreno	Denominación
16 – 35	5	Escarpado	Polígono 1

Fuente: Elaboración propia

15.2. Litología (SI) Polígono # 1

La evaluación del parámetro litológico para el análisis a nivel municipal se realizó mediante las características geológicas del municipio de San Martín Sacatepéquez, sin embargo, la metodología Mora Vharson, también permite establecer el parámetro litológico mediante los valores de Angulo de fricción interna y Cohesión efectiva del suelo. Para este análisis se utilizarán los valores obtenidos mediante el estudio de laboratorio de suelos, de las muestras inalteradas, obtenidas en este sector.

Tabla 60. Angulo de Fricción efectiva (°)

Angulo de Fricción efectiva (°)	Cohesión efectiva (Kpa)	Ponderación (SI)
0.-15	0-10	5

Fuente. Mora Vahrson, 1992.

El parámetro de litología evaluado según lo indica la tabla 26. El estrato evaluado según el estudio de laboratorio de suelos realizado (ver anexo 1), ha arrojado valores de ángulo de fricción interna de 31.08°, parámetro que indica un valor SI = 2, indicando un índice bajo, mientras que la Cohesión efectiva indica un valor de 4.58, parámetro que se ubica en una ponderación SI = 5, con índice muy alto, para efectos de este estudio se utilizara el valor más alto como medida de precaución.

15.3. Humedad del suelo (Sh) Polígono # 1

La valoración del parámetro de humedad de suelo, fue establecido mediante los valores de promedios mensuales (ver tabla 52), estimado en capítulos anteriores. Debido a que es un factor que se encuentra presente en todo el municipio, las cantidades a evaluar están presentes en las tablas 52 y 53, la sumatoria de factores por mes, ha arrojado una valoración de 6 y dicho valor se encuentra en la clasificación, Baja con un factor $Sh = 2$.

15.4. Intensidad sísmica (Ts) Polígono # 1

El análisis de sismicidad se ha establecido mediante los registros de la aceleración pico (PGA), obteniendo un valor de $Ts = 6$, como se muestra en la tabla 55. Indicando un grado de susceptibilidad Elevado. El alto valor de este parámetro se debe a las características geológicas, vulcanológicas y antecedentes históricos de Guatemala.

15.5. Intensidad de lluvias (Tp) Polígono # 1

El registro histórico proporcionado por las estaciones del INSIVUMEH, nos permite establecer la lluvia máxima durante 24 horas, con un período de retorno de 100 años, para el presente estudio han arrojado un valor de 45.82 mm/h, lo que arroja un valor de intensidad de lluvia $Tp = 1$, con una clasificación muy baja en la susceptibilidad a deslizamientos.

16. Calificación del Peligro a Deslizamiento, polígono 1

El análisis del polígono número 1, en cercanías del kilómetro 138+194 ha arrojado los siguientes valores, como se ha indicado en los párrafos anteriores:

Tabla 351. Calificación del Peligro a Deslizamiento, Polígono No.1

Pendiente	Sr	5
Litología	Sl	5
Humedad del suelo	Sh	2
Intensidad sísmica	Ts	6
Intensidad de lluvias	Tp	1
Factor Detonante	$FS = Sr * Sl * Sh$	50

Factor de Riesgo	$FD = Ts + Tp$	7
Grado de Riesgo a Deslizamiento	$H = FS * FD$	350
Riesgo al deslizamiento por Sismicidad	$H = FS * Ts$	300
Riesgo al deslizamiento por lluvia	$H = FS * Tp$	50

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del primer polígono arroja un grado de susceptibilidad de deslizamiento $H = 350$, según la metodología Mora Vahrson se establece un grado MEDIO de susceptibilidad a deslizamiento con una clase igual a IV.

Tabla 362. Valor de la ecuación (HI), polígono No. 1

Valor de la ecuación (HI)	Clase	Clasificación del peligro de deslizamiento
163 – 512	IV	Medio

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

El polígono número 1, formando parte del kilómetro 138+194, indica una clasificación media, con características según la tabla 63 de probabilidad de deslizamiento alta, en condiciones de alta intensidad de lluvia o presencia de sismos de gran magnitud, es necesaria la implementación de medidas de mitigación en este sector, como se indicará en el próximo capítulo.

Tabla 373. Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento Polígono 1

Clase	Calificativo de Riesgo al Deslizamiento	Características
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta.

		Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

17. Evaluación de la totalidad de polígonos entre los kilómetros 236+000 al 238+194 de la ruta RD QUE-03

La tabla 64 muestra de manera resumida, las condiciones y los valores de grado de susceptibilidad a deslizamiento, para la totalidad de polígonos establecidos (del 1 al 84) y a su vez para la totalidad de kilómetros a evaluar para esta investigación, mediante la herramienta de la cuadrícula:

Tabla 64. Análisis a nivel local del área de estudio por la metodología Mora Vahrson, mediante la herramienta de cuadrícula

Km	No.	Pendiente %	Sr	Angulo	Cohesión	Sl	Sh	Ts	Tp	FS	FD	H	Clase	A	V	Riesgo
Km 138	1	26.08	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	2	23.66	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	3	22.88	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	4	16.53	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	5	14.99	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	6	16.05	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	7	24.54	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	8	11.15	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	9	11.53	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	10	16.61	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	11	16.72	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	12	26.95	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	13	25.96	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	14	16.69	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	15	25.49	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
Km 137	16	20.47	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	17	21.61	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	18	29.33	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	19	29.11	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	20	20.59	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio

	21	20.40	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	22	22.23	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	23	25.01	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	24	23.43	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	25	30.85	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	26	23.74	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	27	36.00	6	31.08	0.11	5	2	6	1	60	7	420	4	Medio	Alta	Medio
	28	29.32	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	29	25.69	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	30	34.02	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	31	31.22	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	32	22.68	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	33	14.15	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	34	21.69	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	35	21.63	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	36	10.80	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	37	19.93	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	38	16.96	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	39	29.13	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	40	23.68	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	41	33.40	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	42	12.35	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	43	23.35	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	44	26.54	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	45	28.99	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	46	30.71	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
Km 136	47	29.60	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	48	21.41	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	49	20.62	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	50	26.64	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	51	24.31	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	52	18.12	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	53	26.95	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	54	31.84	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	55	24.22	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	56	22.03	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	57	18.78	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	58	20.27	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	59	12.49	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	60	34.82	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
	61	9.11	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	62	15.32	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	63	10.02	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	64	12.01	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	65	12.32	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	66	12.43	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
	67	23.93	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio

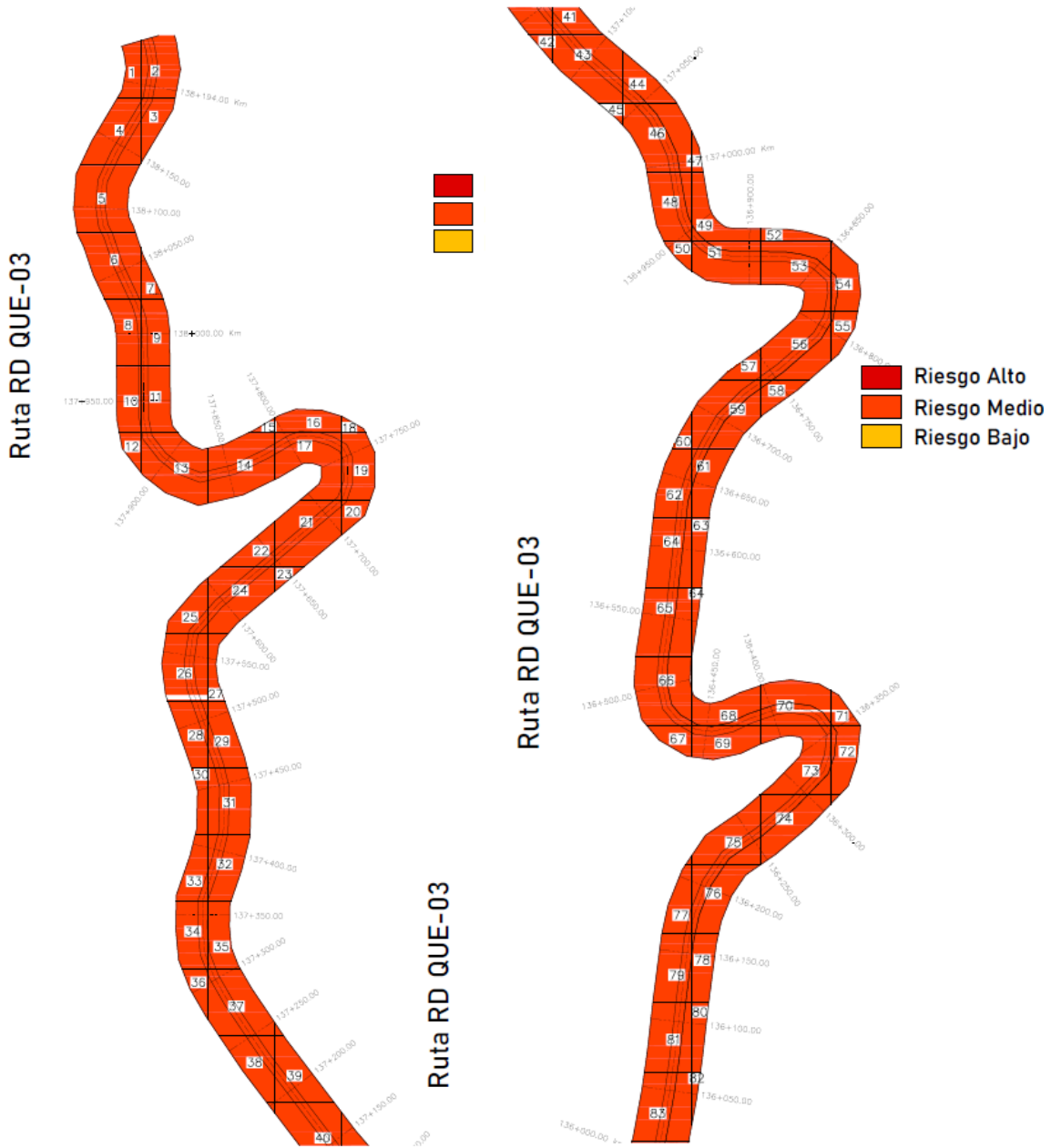
68	15.69	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
69	11.44	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
70	19.22	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
71	24.17	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
72	13.19	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
73	15.46	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
74	16.63	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
75	15.77	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
76	13.79	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
77	9.76	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
78	11.74	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
79	11.72	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
80	8.60	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
81	11.40	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
82	16.20	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio
83	12.19	4	31.08	0.11	5	2	6	1	40	7	280	4	Medio	Alta	Medio
84	17.44	5	31.08	0.11	5	2	6	1	50	7	350	4	Medio	Alta	Medio

*Sr = Pendiente, Sl = Litología, Sh = Húmeda del suelo, Ts = Sismicidad, Tp = Intensidad de lluvia, A = Amenaza, V = Vulnerabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación del área de estudio por medio de la herramienta de la cuadrícula y la evaluación del riesgo por la metodología Mora Vahrson se muestra a continuación:

Gráfica 3. Zonificación del riesgo a deslizamiento entre los kilómetros 236+000 al 238+194 RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez



Fuente: Elaboración propia, mediante AutoCAD 2019.

18. Resumen y Comentarios Finales

El análisis de riesgo, realizado entre los kilómetros 136+000 al 138+194 de la ruta RD QUE-03, ha mostrado una calificación de un riesgo de nivel MEDIO a eventos de deslizamientos de suelo. Al toma en cuenta lo expuesto por Barrantes et al (2011) y lo descrito en la tabla 58, se estima una probabilidad menor al 50% de riesgo de un evento de deslizamiento de suelo, en caso de un evento de lluvia o sismicidad alta. Sin embargo, se deben realizar estudios de estabilidad a detalle en esta zona para evitar que este nivel de riesgo pueda aumentar.

Para el caso del municipio de San Martín, los resultados presentaran un índice mayor de riesgo en los aspectos de litología, sismo y pendiente del terreno. De igual manera, a nivel municipal el riesgo se muestra con un índice Medio, con un valor numérico menor, como se ha mostrado anteriormente.

En comparación a la ponderación obtenida a nivel municipal y al nivel específico en el área de interés de estudio (nivel local), se pudo observar un aumento en el valor obtenido para el nivel local. Este cambio se debe principalmente al conocimiento específico de las características litológicas como lo son, el ángulo de fricción interna y la cohesión. Según Mora (2004), las características de un nivel de susceptibilidad media establecen que es necesaria la realización de un estudio con mayor detalle y la aplicación de medidas correctivas que puedan permitir la seguridad de los usuarios de este tramo, además de medidas de mantenimiento.

El nivel de riesgo establecido en este estudio ha sido determinado mediante la combinación de los valores de amenaza y vulnerabilidad obtenidos en capítulos anteriores. El nivel de riesgo MEDIO se debe considerar como un estado de alerta y una llamada de atención para tomar medidas de mitigación necesarias y establecer procesos que disminuyan el riesgo. La ausencia de adopción de medidas llevará a catalogar este tramo como zona de alto riesgo y aumentar la probabilidad de eventos de deslizamiento lo que pondría en riesgo la vida de la población vehicular y poblados cercanos, dada su importancia en el tránsito constante diario.

Los resultados presentados en este capítulo se presentan a detalle en los apéndices 3,4,5 y 6. Estos resultados brindan una representación gráfica de las zonas de riesgo tanto a nivel municipal como a nivel local. Los gráficos asignan valores numéricos y característicos por color en cada mapa generado.

Los mapas construidos en este trabajo tienen la finalidad de proporcionar herramientas que permitan facilitar la toma de decisiones. De igual manera, generar acciones concretas de prevención, control y mitigación de riesgo a deslizamientos. Los conocimientos generados a partir de esta investigación sugieren y justifican información de utilidad al momento de generar una ampliación de carril en el tramo carretero.

CAPÍTULO VII

GESTIÓN DE RIESGO

La gestión integral de Riesgo a Desastres se refiere a un proceso social complejo, con el fin de reducir, prevenir y controlar el riesgo a desastres en una comunidad. Tomando en cuenta el logro de un desarrollo ambiental, humano y económico (Narváez, et. al, 2009). Como producto del presente trabajo de investigación se realizarán una serie de recomendaciones y parámetros a seguir, con la finalidad de disminuir el impacto de eventos de deslizamiento de material de taludes así como generar medidas preventivas, correctivas y reactivas.

La gestión de riesgo puede ser llevada a cabo mediante 4 aspectos que son: la gestión preventiva, correctiva, reactiva y correctiva (Lavell, 2006). A continuación, se presentarán una serie de medidas de prevención y algunas sugerencias adoptadas para cada aspecto de la gestión de riesgo.

16. Gestión Preventiva

La prevención contempla las acciones y decisiones destinadas a prevenir o evitar los riesgos a un desastre, en el caso de las carretas la instalación de señalización adecuada podría aportar en este tema. Para este trabajo de investigación, con la finalidad de generar una alerta a la los vehículos que transitan por esta zona, se instalaron señales de alerta de “zona de derrumbes” este tema será ampliado más adelante. De igual manera mediante la metodología MAGAN, se realizó un análisis sobre el impacto que genera la deforestación en zonas tropicales y boscosas el cual será descrito más adelante, y su contribución a la generación de deslizamientos de tierra.

Como medida preventiva es necesario generar un manual o reglamento que límite la deforestación, en zonas de alto riesgo a deslizamiento. La prevención podrá ser la medida más adecuada para que el nivel de riesgo MEDIO estimado en este trabajo, no aumente a un nivel mayor, generando mayores impactos negativos, a esta zona. Estas medidas también contemplan el uso de los mapas generados por esta investigación, ya que se ha delimitado las zonas con mayor riesgo a deslizamiento y de esta manera se podrá dar mayor atención a estos sitios (ver anexo 8), este tipo de gestiones podrían ser la que impliquen una menor inversión de recursos económicos, y las que generen un mayor impacto positivo a largo plazo.

17. Gestión Correctiva

Se le denomina gestión correctiva a los pasos dirigidos a reconocer y controlar los riesgos existentes en un sitio, que pueden ser de todo tipo tanto naturales como antropogénicos y los cuales podrían llevar a generar efectos dañinos, sobre una población. Se pueden denominar como todas las acciones dirigidas a erradicar o corregir situaciones de riesgo existente (Ferrer,2013). En el contexto específico de la ruta departamental RD QUE-03, en el municipio de San Martín Sacatepéquez, se pueden enumerar algunas acciones para limitar el riesgo, las cuales pueden ser: Construcción de obras de retención, estabilización de taludes, cambio de locación de comunidades ubicadas en zonas riesgosas, distribución adecuada de uso de suelo, etc.

Algunos de estos temas son abordados por esta investigación, debido a que es necesaria la intervención correctiva en esta zona, además de ser de vital importancia para el tránsito nacional y evitar que el nivel de riesgo vaya en aumento con los años. Generar un cuidado constante en esta ruta, podría ser más eficiente, mediante la construcción de estructuras que contengan el peligro, esta actividad sin lugar a dudas sería la que genere una mayor inversión económica, sin embargo, con el paso del tiempo podría ser necesaria una pérdida e inversión mayor si las gestiones correctivas no se llevan a cabo.

18. Gestión Reactiva

Son todas las acciones institucionales públicas y privadas, todas las actividades sociales, personales y culturales, encaminadas a la preservación y cuidado de la vida, patrimonio, infraestructura y entorno, antes durante y posterior a un desastre de origen natural o de origen humano, que permita tener un entorno seguro (Lavell, 2006).

Las acciones reactivas necesarias para este caso de estudio, contemplan regularizar una línea de acción por parte de las tres partes implicadas en el mantenimiento y cuidado de este tramo, como lo son la dirección general de caminos, la coordinadora municipal para la reducción de desastres y la municipalidad de San Martín Sacatepéquez, establecido lineamientos que ayuden a brindar ayuda al momento de un deslizamiento de tierra, por parte de las comunidades cercanas, ya que en muchas ocasiones, como lo indica la Dirección General de Caminos, la ayuda al momento del retiro de material y coordinación de tráfico, depende de

la posibilidad de que exista una cuadrilla de limpieza de COVIAL cercana, de lo contrario son ellos únicamente los encargados de la coordinación total de toda la problemática.

Es necesario un involucramiento mayor por parte de los COCODES de las áreas cercanas al área de estudio, así como parámetros a seguir por parte de las entidades implicadas para generar una gestión más eficiente y más rápida. Antes, durante y después del evento para facilitar las acciones de evacuación, traslado de insumos y auxilio de comunidades afectadas.

19. Mitigación y Prevención

La mitigación tiene como fin reducir el riesgo, aminorando los daños potenciales que existan sobre poblaciones o elementos de utilidad, el proceso se puede tornar complicado debido a la cantidad de elementos e instrumentos, que hacen parte de un desarrollo económico y social, al igual que la prevención. Las herramientas que pueden colaborar de manera más eficiente a mejorar las condiciones del entorno pueden ser: la planificación de proyectos industriales, agrícolas e infraestructura, así como el ordenamiento territorial (Líneas de trabajo en Gestión de Riesgo en Guatemala, 2017).

La gestión de riesgo local (GRL), debe contemplar la organización y apoyo de entidades y estructuras existentes, que tengan como finalidad la gestión de riesgo, las estructuras deben estar conformadas por líderes municipales en coordinación con el gobierno central.

La influencia de distintos sectores con interés de mejorar las condiciones de riesgo puede realizarse de distintas maneras:

- Mejoramiento de comunicación e involucramiento de actores sociales.
- Formación y fortalecimiento de Grupos de gestión de riesgo local.
- Capacitación de métodos de análisis de riesgo por deslizamientos.
- Creación de mapas de amenaza por deslizamientos y planes de prevención y actividades de preparación.
- Instalación de señales de tránsito y/o alerta, manifestando la incidencia de deslizamientos de tierra en los kilómetros, acotando las áreas con mayor riesgo de deslizamientos de tierra.
- Realización de campañas informativas, a las comunidades de transportistas y a las comunidades de La Nueva Esperanza y la Nueva Concepción, que son los poblados

más cercanos a este sitio. Para generar discusiones sobre el desarrollo de planos de respuesta en los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre.

- Aplicación de mapas de riesgo para las políticas de ordenamiento territorial, donde se permita priorizar inversión en las áreas más vulnerables, como lo presenta este estudio siendo el área entre los kilómetros 236+000 al 238+194 y las áreas enfatizadas en el mapa generado en esta investigación (ver anexo 4 y 5).

Las medidas de prevención adoptadas para este tramo de estudio se pueden enumerar de diferente manera, priorizando el resguardo de la población afectada, que, en este caso, son los vehículos que tienen un uso constante por este tramo, algunos aspectos que se pueden tomar en cuenta se mencionan en este capítulo.

La mitigación puede llevarse a cabo en medidas tanto pasivas como activas. Las de tipo activas conllevan la aplicación de una planificación para poder tener estándares de control de espacios, distribución, construcción, fomento de la conciencia ciudadana, sin embargo, requieren de una inversión, más grande. Las medidas pasivas, se aplican de manera local al problema generado, con la coordinación de autoridades locales, entre algunas actividades que se pueden realizar, se puede mencionar, códigos de diseño, cumplimiento de un normativo local, etc. (Macías Mejía Y Paredes Alvarado, 2017).

En esta investigación se realizan una serie de recomendaciones que pueden llevarse a cabo, desde acciones tipo pasivas y activas, las mismas se describen a continuación:

20. Análisis de Taludes Críticos

20.1. Cálculo del Bloque deslizando metodología MAGAN

Como se mencionó en el capítulo 3, la metodología MAGAN, sugiere el uso de los parámetros del cálculo del bloque deslizando (ver análisis de metodologías), como herramienta para gestión de riesgo, esto debido a que se podrá conocer la posibilidad de deslizamientos de taludes en carreteras, mediante los parámetros de la meteorización, la humedad en las montañas y la capa vegetal. La información recabada podrá dar lugar a gestiones correctivas y preventivas.

Para el presente estudio, se realizó un análisis por medio del presente método, con algunos taludes del área de la ruta RD QUE-03 entre los kilómetros 236+000 al kilómetro 238+194.

Con la finalidad de determinar los efectos que la deforestación y el trabajo agrícola, producen en los taludes. Es importante resaltar, que este análisis sugiere una gestión correctiva, porque el tener en cuenta los efectos de la capa vegetal, ayudará a controlar el riesgo existente en el sitio. Por medio del cuidado de deforestación en las zonas indicadas de alto riesgo.

La metodología del bloque deslizante toma en cuenta factores como: pendiente, % humedad, cohesión del suelo, Peso del suelo, Peso de la cobertura vegetal, profundidad de la capa susceptible, dando como resultado un Factor de seguridad (FS), como se explica a continuación:

$$\text{Factor de Seguridad} = FS = \frac{\text{Fuerza Resistente}}{\text{Fuerza que Proporciona el Movimiento}} = \frac{Ptx}{Pty} = \frac{\tau}{N} \quad (10)$$

Fuerza Resistente al Cortante

$$\tau = Ptx = Pt * \text{Sen } \beta = Cu + \sigma * \text{Tan} \Theta \quad (24)$$

Fuerza a Favor del Deslizamiento

$$N = Pty = Pt * \text{Cos } \beta \quad (25)$$

Peso del Bloque

$$Pt = Ps + Pv \quad (26)$$

Pt = Peso del suelo + Peso de la capa Vegetal

Factor de Seguridad

$$FS = \frac{Cu + Cr}{[\gamma_s * Z * m + \gamma * Z * (1 - m) + Pv] * \text{sen} \beta} \quad (11)$$

C_u = Cohesión del Suelo

C_r = Cohesión de la Capa Vegetal (según tablas)

γ_s = Peso del Suelo Saturado

γ = Peso del Suelo Seco

Z = Profundidad del Bloque Deslizante (asumiendo un ancho de banda unitaria $z = 1.00$ m)

m = Porcentaje de Saturación del suelo ($0 < m < 1$)

P_v = Peso de la capa vegetal (según tablas)

β = Ángulo del bloque respecto de la horizontal

En algunos taludes aldeanos al área de estudio se encuentran, trabajos agrícolas, por lo que se hace el análisis de algunos taludes para poder estimar el riesgo a deslizamiento que esta actividad genera.

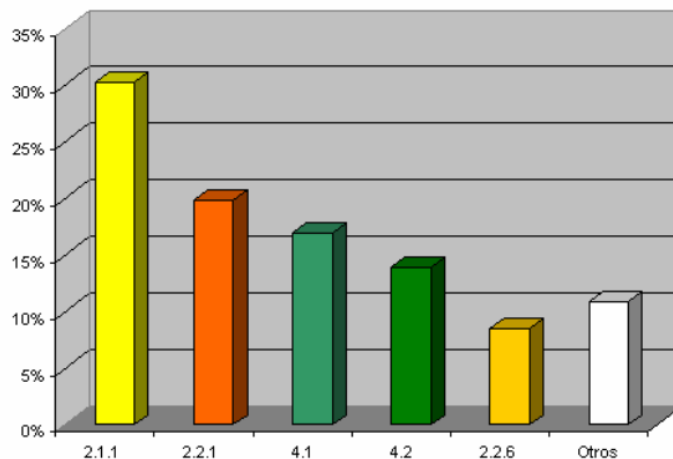
Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en su atlas temático de la República de Guatemala, en el municipio de San Martín Sacatepéquez, la cobertura de uso de suelo se utiliza en la agricultura, y el tipo de vegetación mayormente presente el café y las coníferas (Sabinas, Cedro, Cipreces, Pino, Tejos, Enebros, etc).

Tabla 385. Cobertura vegetal y Uso de tierra por departamento

Quetzaltenango		
Categorías	Área (ha)	Porcentaje
1.1 Centros Poblados	1,449.58	0.83%
2.1.1 Agricultura Limpia Anual	301,402.30	28.82%
2.2.1 Café	17,352.68	1.61%
2.3.2 Pastos Naturales	67,795.84	6.30%
4.1 Latifoliadas	412,452.01	38.30%
4.2 Coníferas	2,858.15	0.27%
4.4 Bosques Secundarios	108,057.34	10.03%

Fuente. Atlas Temático de la República de Guatemala (2005).

Figura 26. Cobertura vegetal y Uso de tierra, Departamento de Quetzaltenango.

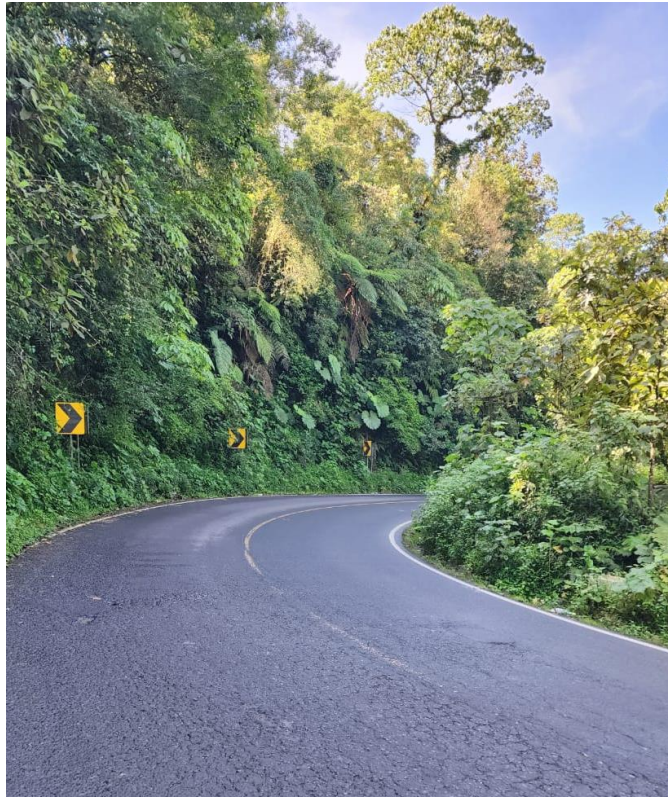


Fuente. Atlas Temático de la República de Guatemala (2005).

Para el análisis de este trabajo se utilizará el tipo de cobertura vegetal como coníferas, y tomando un valor de altura promedio de vegetación de entre 8 a 14 mt, y según la los valores propuestos por Klinge y Rodríguez (1973), el peso medio se establece como $P_v = 77 \text{ t/ha}$ (0.008 Ton/m^2).

Para el cálculo de la cohesión del suelo debido a la acción de las raíces, se han tomado valores establecidos por Fariñas de Alba et al (2002), para coníferas de montaña sobre morrenas y coníferas sobre suelos arenosos, dado a las características del suelo en el sector según estudio de laboratorio de suelos (Ver anexo). Para lo cual se utilizará un valor de $C_r = 3 \text{ Kn/m}^2$ (0.31 Ton/m^2).

Fotografía 7. Cobertura vegetal en área de Estudio



Fuente. Elaboración propia.

Las características del suelo en el sector, serán tomadas de los resultados del estudio de suelo realizado (ver anexo). Para lo cual, se tendrá una valoración de los parámetros:

Tabla 396. Valores de parámetros para cálculos

Parámetro	Valor	Dimensional	Descripción
$C_u =$	0.11	Ton/m ²	Cohesión del Suelo
$C_r =$	0.31	Ton/m ²	Cohesión de la Capa Vegetal
$\gamma_s =$	0.98	Ton/m ³	Peso del Suelo Saturado
$\gamma =$	0.68	Ton/m ³	Peso del Suelo Seco
$Z =$	2.00	Mts	Profundidad del Bloque Deslizante
$m =$	0.10		Porcentaje de Saturación del suelo ($0 < m < 1$)
$P_v =$	0.008	Ton/m ²	Peso de la capa vegetal
$\beta =$	45	°	Angulo del bloque respecto de la horizontal

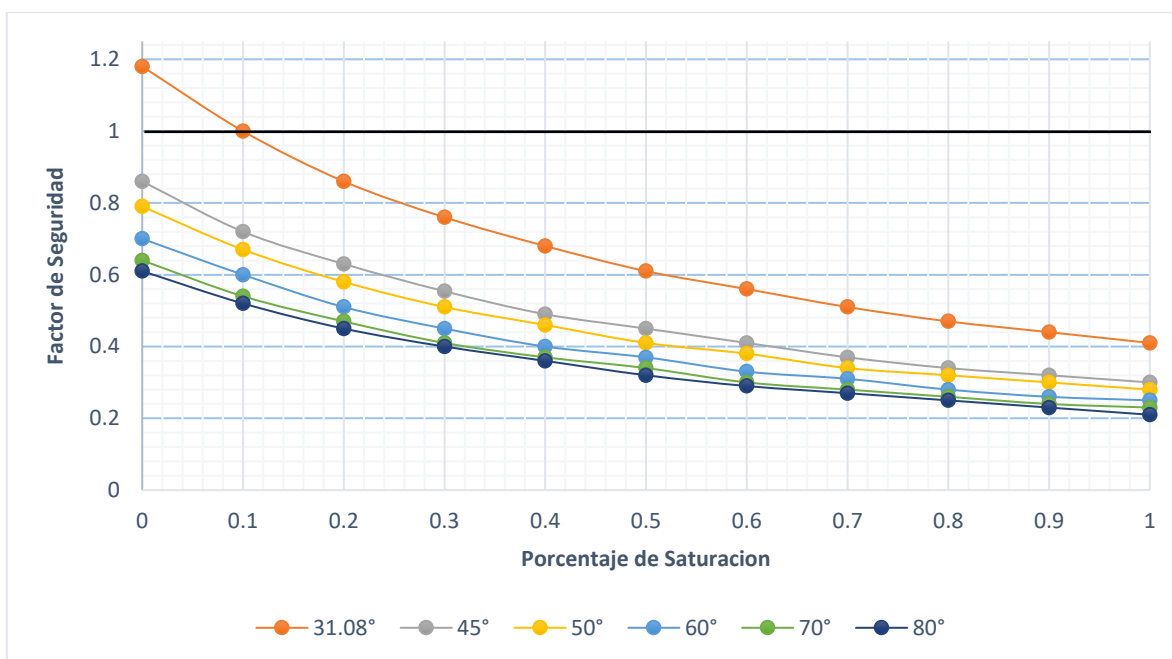
Fuente. Elaboración propia

Los valores del parámetro de porcentaje de saturación del suelo (m), pueden variar entre los valores de 0 a 1, con un valor de 1 se denomina un suelo completamente saturado, mientras

que un valor igual a 0 corresponde a un suelo con ausencia de líquidos, la finalidad de este estudio es poder evaluar la influencia de la capa vegetal y su aporte ante eventos de deslizamiento de tierra, durante varios escenarios, de saturación de suelo (Picado,2018).

El valor resultado, se denomina Factor de Seguridad (FS), un factor $FS \geq 1$ indica una estabilidad aceptable del talud, mientras valores $FS < 1$ indica un valor poco aceptable de estabilidad de talud, valores más cercanos a 0 indican una inestabilidad menor del talud y por consiguiente un valor de seguridad menor, el estudio se realiza con valores de ángulos de inclinación y factores de humedad variables.

Gráfica 4. Factor de seguridad vs Porcentaje de saturación



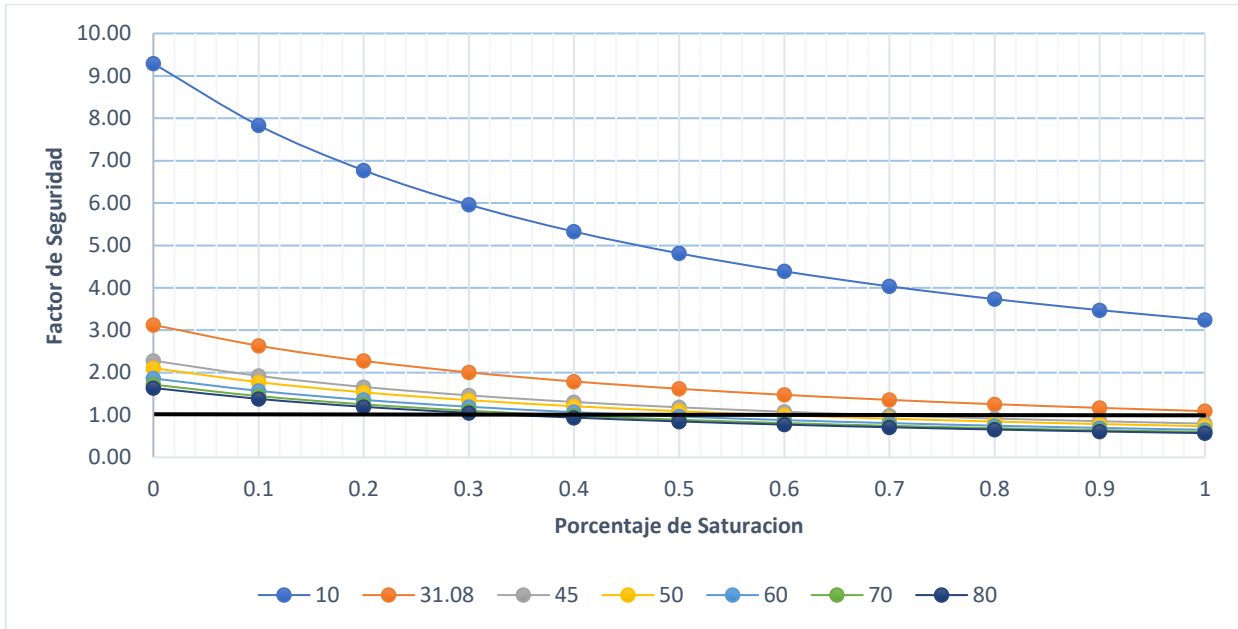
Fuente. Elaboración propia

El análisis ha mostrado que con las características del suelo en el área de estudio y un a cohesión baja aportada por la vegetación, la estabilidad del talud es baja a partir de un 10% de saturación del suelo, lo que se puede alcanzar al inicio de la época lluviosa, concluyendo que existe una gran probabilidad de generar deslizamientos en esta zona.

El aumento del valor de la Cohesión del suelo, permite generar mayor seguridad y reduce los eventos de deslizamiento de tierra, el aporte a la cohesión que brinda la capa vegetal genera

una gran ayuda para disminuir la probabilidad de eventos de deslizamiento de tierra, como se muestra a continuación:

Gráfica 5. Factor de Seguridad vs Porcentaje de Saturación



Fuente. Elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico anterior, los valores de Factor de Seguridad (FS), crecen de manera considerable, debido al aumento en el valor de la cohesión del suelo, lo que demuestra el aporte que genera la capa vegetal, en la estabilidad de taludes, se puede observar que, teniendo valores altos en pendientes, la estabilidad se mantiene, con un factor Cr mayor.

El análisis del bloque deslizante ha demostrado que la presencia de vegetación en la superficie de los taludes les brinda más seguridad, aumentando su estabilidad en un 60% en los casos en que el porcentaje de saturación aumenta y en un 84% cuando la pendiente del talud va en aumento. En una combinación de humedad en aumento y pendiente más pronunciada, la estabilidad de los taludes con presencia de vegetación en su superficie, aumenta en un 60.61%. Esta información debe tomarse en cuenta al momento de realizar un plan de ordenamiento territorial, en el cual se deben estipular y regular normas que ayuden a minimizar la deforestación y aumentar el cuidado de la flora.

21. Señalización en zonas de Riesgo

La señalización de tránsito genera que los peatones y vehículos, puedan ser guiadas de un manera regulada, fluida y segura. Las señales de tránsito son todos aquellos signos, demarcaciones y dispositivos instalados. En la faja adyacente a las calzadas, o sobre las mismas. Que indican la manera correcta de transitar sobre las vías (manual de señalización de Tránsito, 2012).

Para esta investigación se hizo la aplicación de medidas de mitigación pasivas, mediante la instalación de señalización, que prevengan a los vehículos el riesgo existente en la zona, medida que es aplicada de manera local, con la colaboración de autoridades municipales. La implementación de esta medida, propone generar alerta ante posibles eventos de deslizamiento de tierra.

Las señalizaciones fueron colocadas, en las zonas que el análisis de zonificación a identificado, de mayor riesgo y donde la zonificación ha mostrado una vulnerabilidad mayor, la instalación de los rótulos con la leyenda “ZONA DE DERRUMBES”, buscan alertar a los vehículos el riesgo existente en la zona, cada señalización fue proporcionada por la Dirección General de CAMINO, Zona Vial No.5, e intervenida por el estudiante Mario Aníbal Garcia Aguilón, aplicando material reflectivo para una mejor visualización. Cada rótulo fue instalado a una distancia de 1.50 mts del hombro de la carretera, cimentada con una mezcla de concreto a una profundidad de 0.50 mts, como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 27. Rótulos de Identificación, en bodegas de Dirección General de CAMINOS



Fuente. Elaboración propia.

Figura 157. Rótulo de identificación, con adhesivo reflectivo aplicado



Fuente. Elaboración propia.

Bajo conocimiento de la Dirección General de CAMINOS, la leyenda colocada en los rótulos de identificación fue modificada a “ZONA DE DERRUMBES”, con la finalidad de delimitar la zona de influencia de este estudio, y alertar a los vehículos que transitan por este sector.

Fotografía 8. Instalación de Rótulo de Identificación en kilómetro 237+000



Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 9. Señalización instalada en el kilómetro 237+000



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10. Instalación de Rótulo de Identificación en kilómetro 236+000, en acompañamiento de director de COMRED.



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 11. Rótulo de Identificación “ZONA DE DERRUMBES”, instalada en kilómetro 236+000



Fuente. Elaboración propia.

La instalación de las señalizaciones fue llevada a cabo en acompañamiento de personal de la Dirección General de CAMINOS, el director de la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED) y el estudiante Mario Aníbal Garcia Aguilón.

Fotografía 12. Instalación de Rótulo de identificación, km 236+500 ruta RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez



Fuente. Elaboración propia.

Fotografía 13. Instalación de Rótulo de identificación, km 236+500 ruta RD QUE-03, San Martín Sacatepéquez



Fuente. Elaboración propia.

Las medidas de aplicación pasivas aplicadas para esta problemática, buscan minimizar la vulnerabilidad de los vehículos que transitan, creando alerta ante cualquier suceso y delimitar las zonas con mayor riesgo a deslizamiento. La Dirección General de CAMINOS y la Coordinadora Municipal de Reducción de Desastres (COMRED), han dejado constancia de la instalación de las señalizaciones y la finalidad de estos.

22. Modificación de la Geometría del Talud

Los taludes de gran altura en roca sólida y masiva, sedimento bien cementado o depósitos volcánicos soldados son estables en cortes de $\frac{1}{4}:1$ a $\frac{1}{2}:1$, o hasta casi vertical. Las excavaciones de grandes alturas deberían ser construidas con plataforma (terrazas) de 3 a 5 metros de ancho y de 8 a 15 metros de alto, para seguridad en caso de deslizamiento y caída de roca. En los taludes de roca fracturada o erosionada en laderas la relación debe de ser de $\frac{1}{2}:1$ a $\frac{3}{4}:1$.

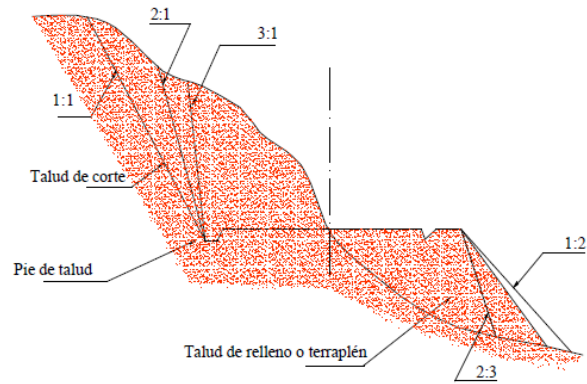
La mayoría de los suelos no se mantendrán firmes y estables con cortes verticales que excedan alturas de 1 a 3 metros a menos con materiales cementados o de una mezcla de suelo residual y roca intemperizada con una cohesión moderada. En taludes de poca altura de 2 a 3 metros, las laderas deberán ser excavadas con relación de 2:1 o más planas inicialmente para promover la estabilización vegetal y aprovechar el área.

Tabla 67. Inclinación de Taludes según Material y Altura

Material	Altura	Inclinación (V/H)
Corte		
Duro	Cualquiera	$\frac{1}{4}: 1 = 4:1$
Semiduro	Cualquiera	$\frac{1}{4}: 1 = 4:1$
Semisuave y suave	0 a 3 mts	$1:1 = 1:1$
	3 a 7 mts	$\frac{1}{2}: 1 = 2 :1$
	Mas de 7 metros	$1/3 : 3:1$
Relleno		
Todo Material	0 a 3 mts	$2 : 1 = 1:2$
	Mas de 3 mts	$1 \frac{1}{2} : 1 = 2:3$

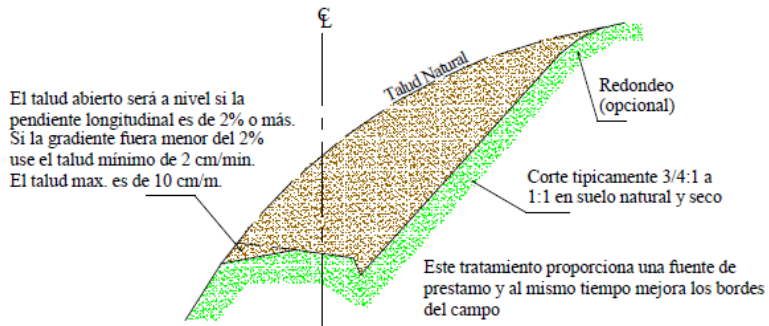
Fuente. Cabrera 2002

Figura 28. Corte Típico en Laderas



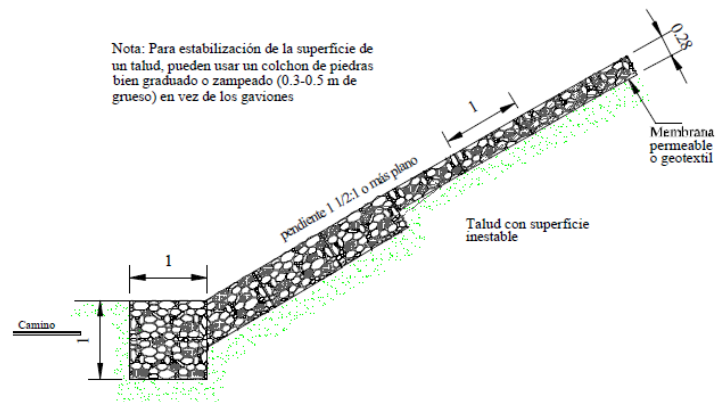
Fuente. Cabrera (2002)

Figura 29. Corte Típico en Cajón con un lado abierto



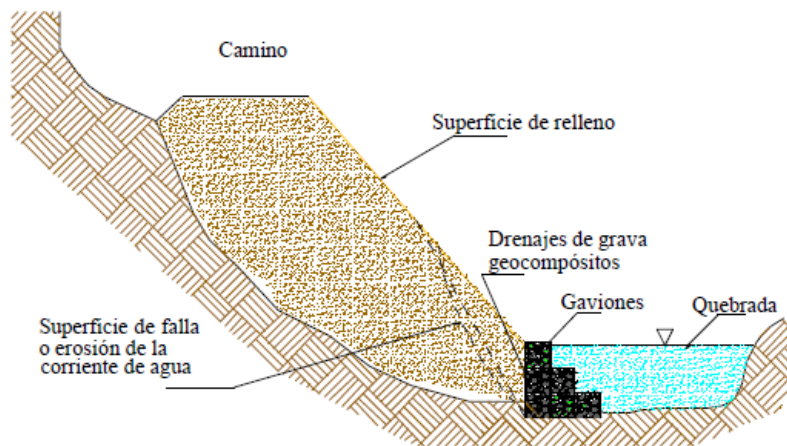
Fuente. Cabrera (2002)

Figura 30. Talud con Armamento de Gaviones



Fuente. Cabrera (2002)

Figura 31. Pie de Relleno Reforzado con Gaviones



Fuente. Cabrera (2002)

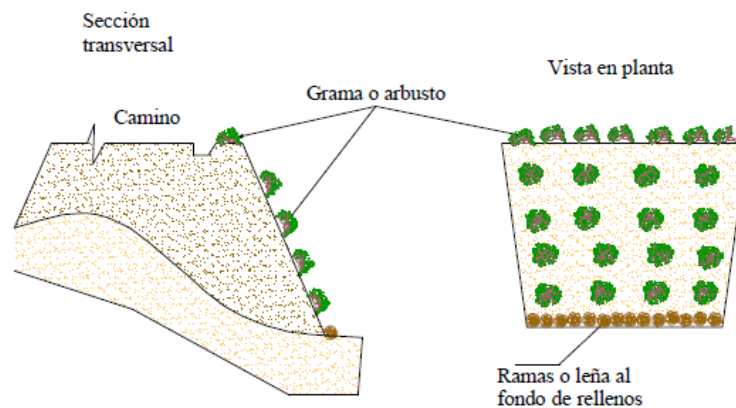
23. Estabilización de taludes y Control de Erosión con Vegetación

La estabilización de taludes con vegetación es muy recomendada en los proyectos de caminos por su efectividad y bajo costo. Las ventajas del uso de estos métodos para estabilizar taludes son: a) bajos costos iniciales, b) requieren mucha mano de obra, c) son visualmente agradables, d) utiliza sistemas naturales y biológicos y e) requiere menos mantenimiento a

largo plazo. Los métodos vegetativos pueden ser utilizados conjuntamente con otros métodos físicos, tales como contrafuertes de roca o gaviones, rellenos y taludes reforzados.

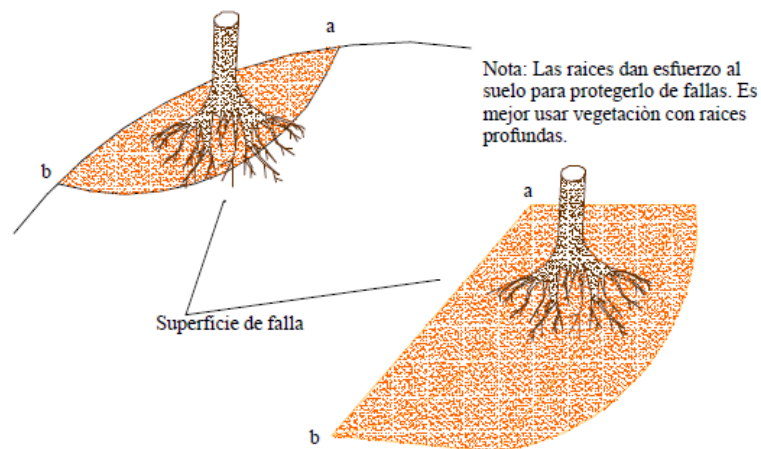
Se recomienda el uso de métodos de estabilización vegetativa en la mayoría de proyectos, pero se debe reconocer las limitaciones; las medidas vegetativas son apropiadas para el control de erosión superficial y en los casos de fallas poco profundas, tales como, deslizamientos traslacionales de detritos.

Figura 32. Uso de Gramíneas y Arbustos en la Estabilidad Superficial de Taludes



Fuente. Cabrera 2002

Figura 33. Uso de Raíces de vegetación para la Prevención de la Falla de la Superficie del Talud



Fuente. Cabrera (2002).

9.1. Estabilización de taludes y control de erosión por métodos físicos

El control de erosión ha sido tradicionalmente realizado por una combinación de medidas físicas y vegetativas.

Las medidas físicas se usan generalmente para el control de erosión en proyectos de construcción de caminos rurales y muchas actividades que perturban la tierra. La mayoría de los métodos o medidas físicas caen dentro de tres categorías generales.

23.1.1. Métodos que controlan o dirigen el agua

Estos incluyen las estructuras de control de drenaje tales como diques, canales de desagüe, drenajes revestidos, diques de contención, fardos de heno, protector de sedimento, barreras vegetativas.

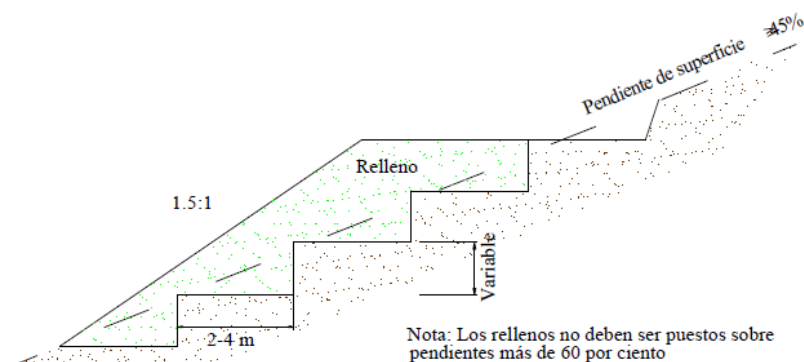
23.1.2. Métodos que modifican el suelo o superficie

Estas medidas cambian la superficie del suelo o el suelo mismo para hacer el material más resistente a la erosión; esto incluye compactación, uso de estabilizadores y selladores de suelo.

23.1.3. Métodos que proveen protección de superficie contra la erosión

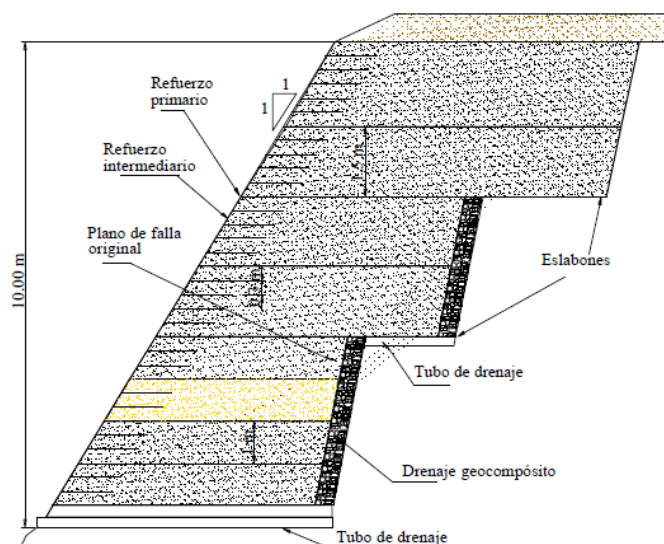
Las medidas de protección de superficie incluyen coberturas de suelo, tales como paja, grava, piezas de madera, cobertura retenedora de humedad, una amplia variedad de mallas, cubierta de plástico, etc.

Figura 34. Terrazas para Evitar Deslizamientos al fondo del Relleno



Fuente. Cabrera (2002).

Figura 35. Sección Transversal de Relleno Reforzado Usando Geotextil con terrazas y drenaje.



Fuente. Cabrera (2002).

24. Estructuras de Retención

En esta sección se describe una serie de recomendaciones, que permitirán reducir los efectos producidos por un deslizamiento de suelo. Asimismo, se recomienda medidas de mitigación tanto pasivas como activas, entre ellas se encuentra la construcción de estructuras de retención. Para lo cual se propone el diseño de dos tipos de estructuras de retención, bajo las condiciones del sitio de estudio. Esta sección incluye un análisis comparativo de ambos métodos enumerando los aspectos positivos y si existieran aspectos negativos de cada uno.

10.1. Diseño de Muro de retención en voladizo

Se realizó un análisis y posterior diseño de un muro de contención en voladizo, para los taludes con las características del área de estudio. Los datos requeridos para utilizar en el diseño son: Ángulo de fricción interna, Cohesión, Peso específico y Valor soporte del suelo. Estos datos fueron obtenidos del estudio de suelos realizado (ver anexo 1).

Los datos y representación gráfica del diseño, se indica de manera resumida a continuación, para una vista más amplia del cálculo, dirigirse a el apartado de los anexos:

CONCRETO

Peso específico (γ_c) = 2.4 T/m³

Resistencia (f'_c) = 281 kg/cm²

ACERO

f_y = 2810 kg/cm²

Inicialmente se han tomado en cuenta los valores de empuje pasivo y activo, los cuales son derivados del ángulo de fricción interna, establecido para este tipo de suelo.

EMPUJE ACTIVO Y PASIVO

$$\begin{array}{l} \text{Empuje} \\ \text{Pasivo (Kp):} \end{array} \quad Kp = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi} = 3 \frac{1}{7}$$

$$\begin{array}{l} \text{Empuje} \\ \text{Activo (Ka):} \end{array} \quad Ka = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{1 + \text{Sen } \phi} = 1/3$$

En el diseño se ha tomado en cuenta los chequeos por: estabilidad, deslizamiento, flexión cortante, estableciendo para este análisis un armado que tenga las consideraciones necesarias de estabilidad para su utilidad.

CHEQUEO POR ESTABILIDAD

Chequeo por Volteo

$$F_{sv} = \frac{\sum MR}{\sum MACT + M(sismo)} > 1.5$$

$$F_{sv} = 2.976251782$$

CHEQUEA

Fsv > 1.5 SI CHEQUEA POR VOLTEO

Chequeo por Deslizamiento

$$F_{SD} = \frac{PR}{\sum PACT + M(sismo)} > 1.5$$

$$F_{SD} = 1.628927498$$

CHEQUEA

FsD > 1.5 NO CHEQUEA POR VOLTEO

Presiones

Presión Máxima

$$P_{\max} = 2.429723992 \text{ T/m}^2$$

$$P_{\max} < V_s$$

$$2.43 < 10.89$$

$$P_{\max} < V_s \quad \text{CHEQUEA}$$

NO EXCEDE EL VALOR SOPORTE DEL SUELO

Chequeo por Cortante (VR)

$$W_{\text{suelo}} + \text{Cimiento} = 3.27 \text{ T/m}$$

$$W'_{ss} = 2.35 \text{ T/m}$$

$$W''_{ss} = 0.48 \text{ T/m}$$

El cortante es vertical y hacia arriba, por lo que la tensión se producirá en la parte inferior del del pie, allí se colocará el refuerzo.

$$\text{Peralte Efectivo (d)} = t - \text{REC} - \frac{\emptyset}{2} =$$

Varilla (#) diámetro (cm)

$$\text{Asumiendo } (\emptyset) \quad 6 \quad 1.905$$

$$\text{Recubrimiento (t)} \quad 7.5 \quad \text{cm}$$

$$d \quad 51.55 \quad \text{cm}$$

Chequeo por Cortante (VR)

$$\text{Banda unitaria} \quad 100 \quad \text{cm}$$

Cortante Resistente

$$VR = 38.93 \text{ Ton/m}$$

Cortante Actuante

$$V_u = - 0.75 \text{ T/m}$$

$$V_R > V_u$$

$$38.93 - 0.75 \text{ CHEQUEA}$$

CHEQUEO POR ESTABILIDAD

Chequeo por Volteo

$$> 1.5$$

$$F_{sv} = 2.976251782 \text{ CHEQUEA}$$

$$F_{sv} > 1.5 \text{ SI CHEQUEA POR VOLTEO}$$

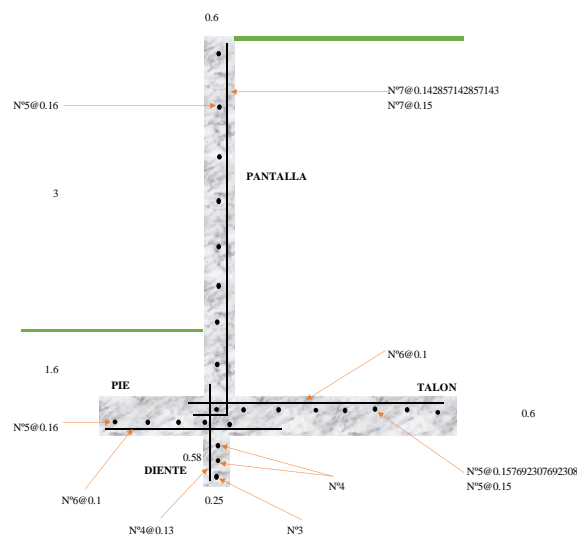
Chequeo por Deslizamiento

$$> 1.5$$

$$FSD = 1.628927498 \text{ CHEQUEA}$$

Del diseño estructural se ha obtenido el siguiente armado y dimensiones finales para el elemento de retención:

Figura 37. Dimensiones y Armado final de Muro de contención en voladizo.



Fuente. Elaboración propia.

Como producto se ha obtenido un muro de contención con una altura de talud e 3 mts un desplante de 1.60 mts y un diente de 0.60 mts de altura, así mismo un espesor de muro de 0.60 mts, el armado para la pantalla corresponde a varilla de hierro corrugado de no.7 a cada 0.15 mts en ambos sentidos, para el talón se tiene un armado de varilla corrugada no.5 a cada 0.15 en ambos sentidos. Todo esto fundido de manera monolítica, con concreto tipo 280 $\text{kg/cm}^2 = 4000 \text{ PSI}$.

Mediante datos recolectados por el sistema GUATECOMPRAS, se pudo establecer que el me3 de construcción de un muro de contención de estas características, asciende a Q 4,500.00. Tomando en cuenta, mano de obra, materiales, excavación y formaleta.

10.2.Diseño de Muro de Retención por gravedad

Se realizo un análisis y posterior diseño de un muro de contención por gravedad, para los taludes con las características del área de estudio. Los Datos requeridos para utilizar en el diseño son: Ángulo de fricción interna, Cohesión, Peso específico y Valor soporte del suelo. Estos datos fueron obtenidos del estudio de suelos realizado (ver anexo 1).

Los datos y representación gráfica del diseño, se indica de manera resumida a continuación, para una vista más amplia del cálculo, dirigirse a el apartado de los anexos:

SOBRECARGA

$$\text{Sobrecarga (q)} = 0.45 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Peso específico suelo sobrecarga} = 0.98 \text{ T/m}^3$$

SUELO

$$\text{Peso Específico Suelo } (\gamma_s) = 0.98 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Peso Específico de Concreto Ciclópeo } (\gamma_{cc}) = 2.4 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Angulo de Fricción } (\phi) = 31.08^\circ$$

$$\text{Cohesión (C)} = 0.11 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Valor Soporte del Suelo } (V_s) = 10.89 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Coeficiente de rozamiento de suelo } (\mu) = 0.542486319 = 0.52$$

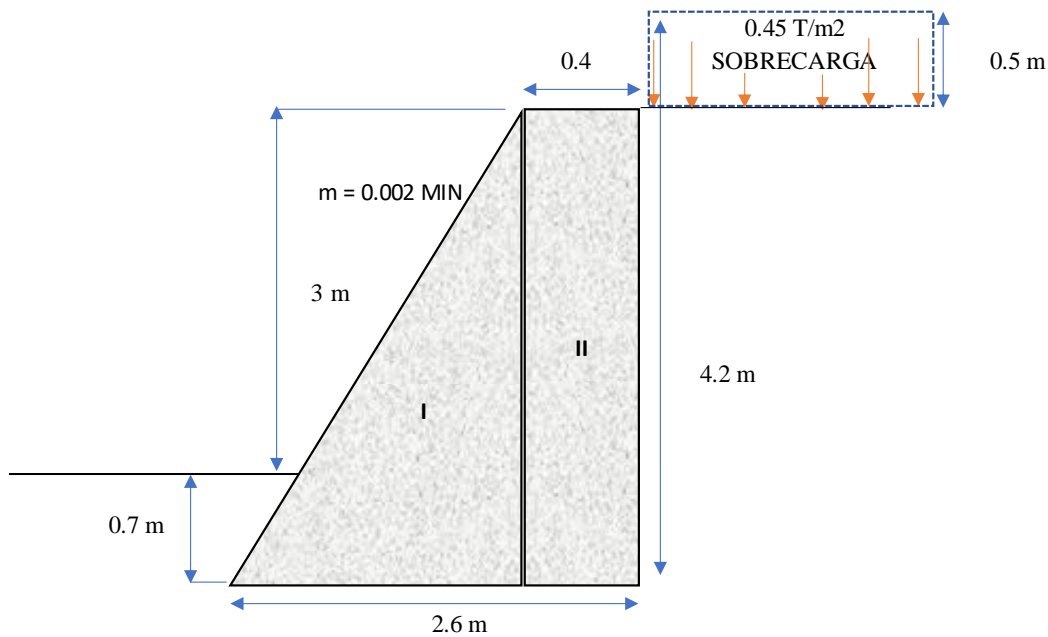
Por la teoría de Rankine podemos determinar los empujes activos y pasivos:

Empuje Activo (k_a) $K_a = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{1 + \text{Sen } \phi}$ 0.319057261

Empuje Pasivo (k_p) $K_p = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi}$ 3.134233637

Se realiza una representación gráfica del diseño del muro de contención por gravedad:

Figura 38. Dimensiones propuestas para diseño de muro de contención por gravedad.



Fuente. Elaboración propia

Se realizan los chequeos por distintos criterios de resistencia, entre ellos: estabilidad contra volteo, por deslizamiento, capacidad de suelo, presión actuante.

CHEQUEO DE ESTABILIDAD CONTRA VOLTEO

$FSV = MR > 1.5$

$M_{act} + M_{act} (sismo)$

$FSv \quad 4.5764024 \text{ m CHEQUEA}$

CHEQUEA ya que el valor de FSv es mayor a 1.5

CHEQUEO DE ESTABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

$Fr \quad 8.614929496 \text{ Ton/m}$

Fact 3.360821566 m Ton/m

$$FSD = FR > 1.5$$

Fact + Mact (sismo)

Fsd 2.186552379 CHEQUEA

CHEQUEA ya que el valor de FSD es mayor a

1.5

CHEQUEO POR CAPACIDAD DEL SUELO

ASENTAMIENTO

a 1.39 m

e 0.09

3a = 4.16 > 2.6 m Base

3a > Base = CHEQUEA CHEQUEA

CHEQUEA ya que el valor de 3a es mayor la dimensión base, por lo tanto, no existen presiones negativas.

PRECIONES ACTUANTES SOBRE EL TERRENO

PRESION MAXIMA

$$q_{max} = \frac{W}{B * (1 + 6e/B)} = 6.99721355 \text{ T/m}^2$$

$$q_{max} < V_s \text{ CHEQUEA}$$

$$6.99721355 < 10.89$$

CHEQUEA ya que qmax no excede Vs del suelo

PRESION MANIMA

$$q_{min} = \frac{W}{B * (1 - 6e/B)} = 4.633555681 \text{ T/m}^2$$

$$q_{max} > 3.134233637 \text{ CHEQUEA}$$

$$4.633555681$$

CHEQUEA ya que q_{min} es mayor a 0, por lo tanto, no existen presiones negativas.

El diseño del muro de contención por gravedad ha establecido las dimensiones y condiciones aceptables para un elemento óptimo y estable. Para lo cual se propone una altura de talud de 3 mts con un desplante necesario de 0.70 m, una base de 2.60 mts y un ancho de corona de 0.40 mts. Conformado por concreto ciclópeo.

Según el sistema GUATECOMPRAS, se estima que el costo de construcción por m³ de muros de contención de concreto ciclópeo asciende a Q. 1,900.00, este costo incluye mano de obra, materiales, formaleta, acarreo de materiales, etc.

10.3.Comentarios y comparación muros de contención:

Como se ha expuesto en el análisis anterior, ambos diseños exponen elementos de alta envergadura, que pretenden disminuir los eventos y el efecto que provocan los deslizamientos de tierra, a continuación, se enumeraran algunos aspectos a resaltar y a tomar en cuenta por a partir de la comparación lleva a cabo:

- Los muros por gravedad requieren un mayor espacio para su implementación, debido a la geometría del mismo, por otro lado, los muros en voladizo, producen el mismo efecto de retención, por medio de una geometría más austera.
- El muro en de contención en voladizo, refiere su resistencia principalmente en la resistencia producida por el concreto armado (varillas corrugadas y concreto), mientras muro por gravedad, lo hace por medio del peso propio, proporcionado por elementos de roca y concreto (concreto ciclópeo).
- El muro de concreto ciclópeo es un elemento de fácil de construcción porque no requiere, de planos detallados o especificaciones complicadas, únicamente las dimensiones y características del material a utilizar, por su contrario los muros en voladizo o de concreto armado requieren un mayor cuidado y detalle en experiencia, así misma supervisión de manera más exhaustiva y detallada.
- Para el área de estudio la ruta departamental RD QUE-03, es posible la implementación de cualquiera de estos métodos expuestos. Sin embargo, es necesario

adecuar el sistema al sitio específico debido al espacio físico que pudiera existir, para su construcción.

- Se ha indicado en el anexo no.15, los puntos más críticos de la carretera y donde existiría una mayor necesidad de implementación de muros de contención, para lo cual se hace referencia del kilómetro de necesidad en el mapa (anexo no.13) de la ruta RD QUE-03.

11. Acciones Recomendadas para la población

Posterior al análisis de la amenaza y vulnerabilidad, de los kilómetros 236+00 al 238+194 de la ruta RD QUE-03, del municipio de San Martín Sacatepéquez, es necesario poner acciones que puedan reducir los riesgos presenten en este lugar, para poder poner resguardar la vida de los vehículos que transitan por este sector, así como comunidades cercanas.

11.1. Acciones antes de un deslizamiento

- Es necesario tener en cuenta las medidas que puedan ser implementadas, antes, durante y después de emergencias, y poder tener preparada a la comunidad para disminuir o evitar desastres.
- Construir y habitar en zonas seguras.
- Identificar las áreas con susceptibilidad a deslizamientos y evitar permanecer en ese lugar.
- No permitir que el agua filtre en el interior de las montañas, por ejemplo, abrir canales que le permitan el desagüe de agua adecuado.
- No tapar las quebradas que rodean al sector.
- Realice un plan de emergencia familiar.
- Realizar reuniones con toda la comunidad y estudiar rutas alternativas de evacuación.
- Implementar en la comunidad un sistema de alerta temprana, que le permita a todo el sector estar comunicado.
- Solicitar a las autoridades competentes la implementación de un seguro de hogar que contenga cobertura para estructura y contenidos.

11.2. Acciones durante un deslizamiento

- Mantener la calma.
- Revisar su plan familiar de emergencia y ponerlo en acción.

- Buscar la mejor ruta de evacuación hacia los puntos seguros.
- Acatar las reglas que establecen los organismos de primera respuesta.
- Evitar dar comentarios que puedan alterar la salud mental de las personas.
- Eludir información falsa, solo escuchar de fuentes verídicas.
- Estar atentos a los boletines que emiten las autoridades a través de los medios de comunicación.
- Acciones después de un deslizamiento

11.3. Acciones Después de un deslizamiento

- Mantenerse lejos de las zonas afectadas.
- No caminar sobre los escombros.
- No retomar a su vivienda hasta que se autorice que es seguro regresar.
- Solicitar apoyo emocional.
- Si es posible colabore con las actividades de recuperación.

11.4. Medidas de Corrección

La creación de medidas correctoras, es de suma importancia, pues nos permite tomar acciones concretas, para reducir el riesgo en el área. Algunas pueden ser:

- Sembrar árboles en las partes bajas de las montañas, puesto que las raíces de las plantas ayudan a sostener la tierra y absorber el agua.
- Respetar la vegetación endémica de la comunidad.
- Evitar quemar la vegetación para el cultivo de la tierra, porque esta práctica produce daño en la capa vegetal del suelo.
- Cambiar periódicamente el ganado de un lugar a otro es decir evitar el sobrepastoreo, para así prevenir el desgaste de los terrenos.
- Elaborar campañas de concientización sobre la prevención de deslizamientos en instituciones educativas dirigidas para padres y niños.
- Es importante que las autoridades del sector capaciten a sus habitantes y formen brigadas para dar soporte en la emergencia.
- Realizar simulacros por lo menos dos veces al año.

- Impulsar actividades para cuidar el suelo y los bosques del sector porque estos favorecen tener un suelo firme.
- Realizar talleres participativos con todos los pobladores de los poblados cercanos a la ruta RD QUE-3 de San Martín Sacatepéquez, en el que se instruya técnicas de desegregación, reciclaje y reutilización de los desechos sólidos, para prevenir amenazas suscitadas por la acumulación de los mismos.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha estudiado la ruta departamental RD QUE-03, entre los kilómetros 236+000 al 238+194, del municipio de San Martín Sacatepéquez. Particularmente, se ha puesto atención especial a los factores desencadenantes a eventos de deslizamiento de suelo, incluyendo topografía del lugar (pendientes pronunciadas), la sismicidad, uso de suelo (deforestación), la geotecnia del sitio (Arena Limosa) y las condiciones socioeconómicas locales. Entre varios aspectos que enfatiza esta investigación, se enlistan a continuación, los aspectos que serán de mayor relevancia para la comunidad del Municipio de San Martín:

1. La población mayormente vulnerable por deslizamientos de tierra son los vehículos que utilizan este tramo (Camionetas, Pickups, motocicletas y camiones) debido a que en promedio transitan por este sector de manera diaria más de 4,000 vehículos.
2. Como resultado del análisis de estudio de suelos en laboratorio, se ha establecido que el material presente en los taludes ubicados entre los kilómetros 236+000 al 238+00 de la ruta RD QUE-03, municipio de San Martín Sacatepéquez, es Arena Limosa color café. El material posee una cohesión baja, condicionando la estabilidad de los taludes, haciéndolos más susceptibles a eventos de deslizamientos de suelo.
3. Mediante la zonificación por medio de la metodología MAGAN y la herramienta de la cuadrícula para el área de estudio, se ha establecido un nivel de riesgo medio en los kilómetros de estudio, en un nivel de riesgo MEDIO. La probabilidad de deslizamiento es menor al 50% en casos de eventos sísmicos de gran magnitud y lluvias de intensidad alta. Es necesario aplicar medidas correctivas y estudios de estabilidad a detalle.
4. Se estableció que los meses que tienen una mayor susceptibilidad a ocurrencia de eventos de deslizamiento de tierra se encuentra entre mayo, junio, agosto, septiembre y octubre, debido a una mayor precipitación pluvial.
5. El análisis realizado a nivel municipal, estima un riesgo MODERADO, sin embargo, el análisis a nivel local ha mostrado un nivel de riesgo MEDIO. El aumento en el nivel de riesgo se debe a que el análisis local ha tomado en cuenta parámetros geotécnicos más específicos del lugar (cohesión, ángulo de fricción interna,

porcentaje de humedad, etc.) En un nivel de riesgo moderado la probabilidad de deslizamiento es menor a un riesgo MEDIO y las medidas correctivas aplicables pueden ser de menor magnitud (ver tabla 59).

6. La metodología Mora Vahrson ha permitido establecer el nivel de susceptibilidad a riesgo de deslizamiento, de manera expedita y eficiente. Sin embargo, la falta de información en Guatemala hace imposible este análisis para áreas pequeñas, por lo que es necesaria la implementación de distintas herramientas, para la aplicación del mismo, como lo puede ser el método de la cuadrícula, la cual ha resultado una herramienta innovadora y eficiente.
7. El uso de la metodología MAGAN ha permitido adecuar el análisis al área de estudio, mostrando distintos factores que pueden ser de aporte y que pueden complementar información entre metodologías. Sin embargo, es importante que cuando se realice este tipo de combinaciones de metodologías se evite la duplicidad de información y se tenga cuidado en los criterios de las etapas de análisis. La búsqueda de bibliografía que respalde los criterios a seguir y asignar un valor jerárquico a las metodologías con base a los resultados esperados es crucial.
8. La deforestación y usos inadecuados de suelo, resultan ser un parámetro de importancia. Generan mayor susceptibilidad a que existan deslizamientos de suelo, debido a la cohesión del talud que la capa vegetal aporta, como se ha demostrado mediante el análisis del bloque deslizante.
9. Los taludes estudiados en esta investigación, entre los kilómetros 236+000 al 238+194 de la ruta departamental RD QUE -03, del municipio de San Martín Sacatepéquez, presentan un factor de estabilidad de entre 0.2 a 0.8 (ver grafica 6). Esto indica una estabilidad baja del talud ($FS < 1$), debido principalmente a las características geotécnicas del suelo en esta área, como se indica en el análisis realizado por el método del bloque deslizante.
10. El mapa de riesgo municipal realizado en esta investigación establece que el nivel de susceptibilidad a riesgo de deslizamiento de suelo para el municipio de San Martín Sacatepéquez es MODERADO (ver tabla 59).
11. La creación de mapas de riesgo es una herramienta de crucial uso y aplicación para establecer de manera eficiente e interactiva, el traslado de información y resultados

del análisis. A su vez, los beneficios permiten generar discusiones y la creación de herramientas y procesos que ayuden a disminuir el riesgo a futuro.

12. Las pérdidas generadas por deslizamientos de tierra en los kilómetros 236+000 al kilómetro 238+194, se pueden cuantificar en pérdidas de recursos tales como: transporte de mercadería (arena, legumbres, frutas, vehículos, etc.) con la movilización diaria de más de 1,000 vehículos de carga (Camiones, Pick Up y Camionetas) y traslado de recurso humano ya que, de manera diaria, en promedio se transportan más de 6,500 personas, considerando unidades de transporte colectivo (Camionetas y microbuses) y sin tomar en cuenta transporte particular.
13. La implementación de señales de tránsito alerta a los vehículos sobre la posible presencia de peligro o riesgo, creando un sentimiento de precaución. Esto sugiere la reducción de vulnerabilidad para los vehículos que transitan por el área de estudio.

RECOMENDACIONES

En la parte final de esta investigación realizada en el municipio de San Martín Sacatepéquez se recomienda del uso de la información generada para el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del municipio de San Martín Sacatepéquez.

A nivel Municipal se recomienda:

1. Desarrollar un plan de mitigación ante eventos de deslizamiento de tierra, para minimizar las pérdidas humanas y económicas con base en los criterios elaborados en este trabajo.
2. Establecer parámetros y códigos de construcción en el corte de taludes, para minimizar los riesgos de deslizamientos existentes.
3. Resaltar la importancia de la implementación de sistemas de alerta temprana ante deslizamientos de tierra como medida de mitigación ante la prevalencia de eventos latentes.
4. Promover la coordinación de las diferentes instituciones implicadas en la atención de riesgo y mantenimiento de este tramo carretero. Esto con la finalidad de generar estrategias que puedan agilizar la atención de trabajos de limpieza y retiro de material, minimizando las pérdidas humanas y económicas.
5. Incentivar el uso de la información generada a partir de esta investigación, tomando en cuenta los mapas de zonificación y riesgo. Considerar estos mapas dentro los planes de ordenamiento territorial y de desarrollo municipal. Esto se sugiere no solo a las entidades gubernamentales sino también a las privadas, relacionadas con el desarrollo urbano y de infraestructura.

A nivel local se recomienda:

1. Crear estrategias municipales que ayuden a reducir el riesgo latente que presenta esta investigación. Esto puede incluir campañas de socialización, construcción de la cultura del riesgo y de la prevención. La ausencia de implementación de estas medidas sin la vinculación con la comunidad puede traer consigo consecuencias más grandes a las actuales.

2. Generar un registro de los eventos de deslizamientos que emergen anualmente. Esto permitirá la una clasificación y tipología de emergencias y con ello establecer medidas para las zonas de ocurrencia, permitiendo utilizar de manera más eficiente y puntual del recurso humano y económico.
3. Realizar campañas de reforestación en la zona de estudio, con la finalidad de crear un aporte en la cohesión de los suelos mediante la implementación de capa vegetal.
4. Determinar las medidas necesarias para cada caso específico en los taludes del tramo carretero y las medidas correctivas para mitigar el riesgo latente.
5. Realizar una inspección frecuente bajo responsabilidad de la Municipalidad de San Martín Sacatepéquez y COMRED en las áreas cercanas a la carretera RD QUE-03 para monitorear el uso de suelo en este sector.
6. Definir el área entre los kilómetros 236+000 al kilómetro 238+194 como áreas de riesgo a deslizamientos de tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrantes, G., Barrantes, O. (2011). *Efectividad de la Metodología Mora-Vahrson Modificada en el caso de los Deslizamientos Provocados por el Terremoto de Cinchona, Costa Rica*. Costa Rica. Revista Geográfica de América Central N° 47. 141-162.
- Brajas M., D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ª. ed.). México: International Thomson.
- Cabrera, M. (2002). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos Rurales en Guatemala, Caminos Ambientales Compatibles*: Dirección General de Caminos.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2019). *Análisis de Deslizamientos de Laderas por Sismo*. Mexico: Subdirección de Riesgos Sísmicos.
- Chavarría, I. (2016). *Zonificación de la Susceptibilidad a Deslizamiento, por medio de la Mitología Mora-Vahrson, en la microcuenca del Rio Macho, San José Costa Rica*. Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal.
- CIV. (2010). *Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores de Carga y sus Combinaciones*. Guatemala. <https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Reglamentos/Reglamento%20para%20el%20Control%20de%20Pesos%20y%20Dimensiones.pdf>.
- Conlledo, P. (2007). *Análisis de Deslizamiento en la Ciudad Capital Utilizando Sistemas de Información Geográfica*. Guatemala. Revista.
- CONRED (2015). *Manual de gestión para la reducción del riesgo a los desastres en los procesos de desarrollo municipal*. <https://dipecholac.net/docs/herramientas-proyecto-dipecho/guatemala/8-MANUAL-DE-GESTION-PARA-LA-REDUCCION-DEL-RIESGO-A-LOS-DESASTRES-EN-LOS%20PROCESOS-DE-DESARROLLO-MUNICIPAL.pdf>
- CONRED. (2012). *La vulnerabilidad asociada a los Desastres*. Guatemala: https://www.conred.gob.gt/documentos/MARCO_CONCEPTUAL_DELAS_VULNERABILIDADES.pdf.

- Cruz, M. (2000). *Los Deslizamientos de la Carretera de cuota Tijuana Ensenada, Baja California*. México. Unión Geofísica Mexicana. A.C.
- García de León, (2018). *Caracterización de Riesgos de Deslizamientos por medio de Sistemas de Información Geográfica, en el Sector 3 del Asentamiento Anexo 4 de febrero, Guatemala*. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Guillen, C. (2004). *Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales*. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala.
- Guzmán, N. (2013). *La Gestión del Riesgo por Deslizamientos de laderas en el Estado de Veracruz, durante el 2013: Sistema Estatal de Protección Civil*.
- Hidalgo, C. (2011). *Evaluación Cuantitativa del Riesgo por Deslizamientos Detonados por lluvia en una Carretera Del Noroeste de Colombia*. Colombia. Facultad de Ingeniería Universidad de Medellín.
- INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (2011). *Reporte Impacto Meteorológico Temporal de lluvias octubre 2011*, Guatemala.
- INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (2006). *Distribución Espacial de Evento Sísmicos en Guatemala*. Periodo de registro: 1984-2005
- INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (2023), *Perspectiva Climática Mensual Mayo 2023*, Guatemala, Recuperado 08/11/2023, de https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/05/202305_perspectivaClimatica_insivumeh.pdf
- INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (2023), *Perspectiva Climática Mensual septiembre 2023*, Guatemala, Recuperado 08/11/2023, de https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/08/202309_perspectivaClimatica_insivumeh-1.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*. Perú. <https://www.indeci.gob.pe>.

- Mendoza, C. (s.f.). *Control de Aguas*. Geotecnia Universidad Nacional Sede Manizales. Colombia. Recuperado 06/11/2023, de https://geocrisithian.weebly.com/uploads/3/8/1/8/38184153/sistemas_de_control_de_aguas.pdf
- León, M. (2013). *Guía Técnica de Métodos Mecánicos para Retención de Taludes*: Universidad del Valle de Guatemala.
- López, R.E., Zuluaga, A.D., Gómez, F. & Tapia, L. (2020). *Aplicación del Método Mora-Vahrson para Evaluar la Susceptibilidad a Deslizamiento en el Municipio de Manaure, Cesar, Colombia*. Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER, 4(2), 57-70.
- MAGA, (2005). *Atlas Temático de la Republica de Guatemala*. Guatemala: UPGGR.
- Marín, R. (2016). *Evaluación de la estabilidad de taludes cuantificando el efecto de la vegetación*. Colombia. Universidad de Antioquia.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2021). *Boletín Informativo Centro de Información Estratégica Agropecuaria: Revista*.
- Monzón (2013). *Aplicación del Método de Zonificación de Mora-Vahrson en la Determinación de la Susceptibilidad a Deslizamientos. El caso del Proyecto RN-01-A, CA-01 Occidente KM. 127-Aldea Pixabaj*. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala.
- Mora, R. (2018). *Fundamentos Sobre Deslizamientos*. <https://studylib.es/doc/4440811/1.-fundamentos-sobre-deslizamientos.-m.-sc>.
- Municipalidad de San Martín Sacatepéquez. (2019). *Política Pública Municipal para la Prevención de la Violencia y el Delito*. Guatemala. Unidad para la Prevención Comunitaria de la Violencia.
- Municipalidad de San Martín Sacatepéquez. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial*. Guatemala. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/06/912_PDM-OT_SAN_MARTIN_SACATEPEQUEZ.pdf.

- Picado, J (2018). *Deslizamientos en Carreteras de montaña: Propuesta de Calculo del Bloque Deslizante*: Revista de la Universidad de Costa Rica.
- Quesada, A. (2018). *Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamiento en la Micro Cuenca del Río Macho, Costa Rica*. Costa Rica. Revista.
- Reyes, P. (2020). *Diseño de Investigación para la Estabilización de talud en el Relleno Sanitario del km 22 Carretera CA-9 al Pacífico*. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- Ríos, E. (2004). *Diagnostico Socioeconómico, Potencialidades Productivas y Propuestas de Inversión, Municipio de San Martin Sacatepéquez*: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Rodríguez, L., Rueda, P. (2014). *Aplicación de SIG para la zonificación y Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en la comuna 14 del municipio de Bucaramanga*. Colombia. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingeniería Fisicomecánica.
- Sánchez, J. (2019). *Análisis de Estabilidad de Talud Mediante Método de Equilibrio Limite para la Carretera Huancavelica- Lircay Entre las Progresivas del Km 02+700 al Km 02+800*. Perú. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Sánchez, C., Urrego, C., (2011). *Metodología para la evaluación de riesgo en corredores viales*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.
- Sánchez, M. (2023). *Análisis y Propuesta de Mitigación de Riesgo de Deslizamientos de Tierra en el Cantón Mariscal I y II, del Municipio de San Rafael Pie de la Cuesta*. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala.
- Trutmann, C. (2017). Humanitarian Needs Overview. Guatemala. www.unocha.org/rolac.
- Valerio, S. (2011). *Ensayos Triaxiales para Suelos*. Costa Rica. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/8391/7925>.
- Ven Te Chow. (1994). *Hidráulica de Canales*. Colombia. Mc Graw-Hill.

Villegas, K. (2013). *Medición de Aforos en Carreteras en México. Comparación los Resultados entre Aforo Automático y Aforo Manual*. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Wolf P., G. C. (2018). *Topografía*. México: Alfaomega.

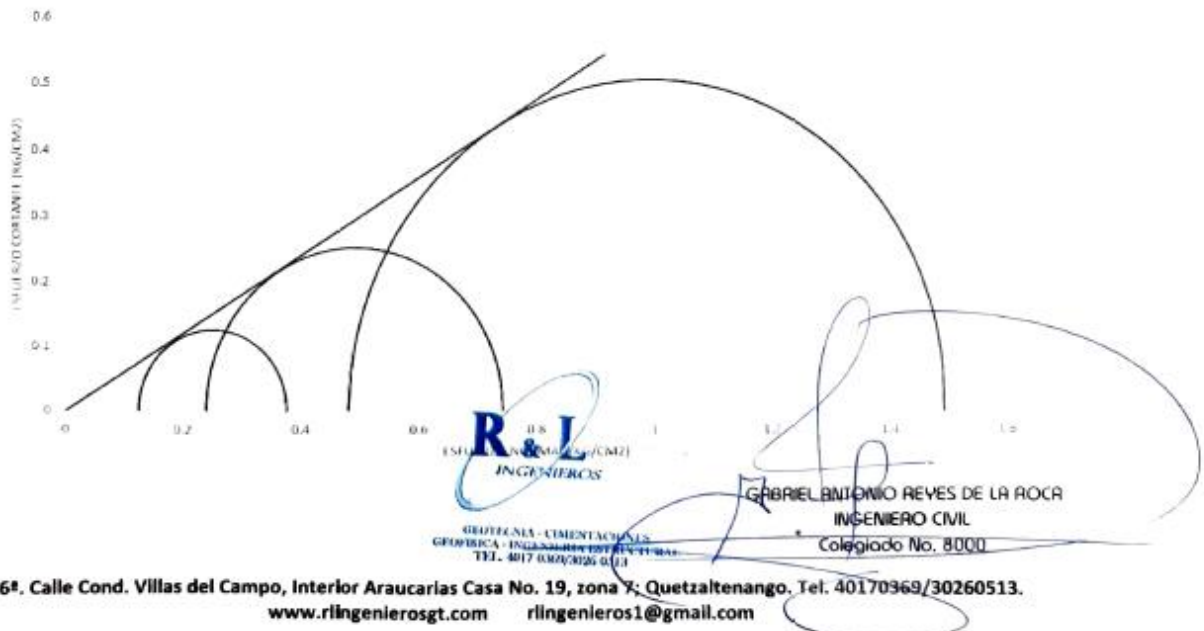
ANEXOS

Anexo No. 1



PROYECTO: Análisis y Gestión del Riesgo de Deslizamiento de Tierra.
UBICACION: Km. 236+000 al Km. 238+194 RD-QUE-03, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango.
SOLICITADO POR: Mario Aníbal García Aguillón.
PRUEBA: Compresión Triaxial, ASTM D2850-70.
No. POZO: P1-M1
PROFUNDIDAD: 2.10 metros.
FECHA: 18/07/2023.

PARAMETROS DE CORTE:			
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA: $\phi = 31.08^\circ$		COHESIÓN: $C_u = 0.01 \text{ Kg/cm}^2$	
TIPO DE ENSAYO:	No consolidado y no drenado.		
DESCRIPCION DEL SUELO:	Arena limosa color café.		
DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA:	4.00 X 8.00 cm		
OBSERVACIONES:	Muestra tomada por laboratorio.		
PROBETA No.	1	2	3
PRESION LATERAL (Kg/m²)	0.25	0.50	1.00
PRESION INTERSTICIAL u(Kg/m²)	x	x	x
DENSIDAD SECA (Gr/cm³)	0.62	0.62	0.62
DENSIDAD HUMEDA (Gr/cm³)	0.89	0.89	0.89
HUMEDAD (%W)	44.40	44.40	44.40





GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL

CALCULO DE PRESIÓN ADMISIBLE DEL SUELO.

Datos	
Df	2.10
B	1.00
L	1.00
ϕ	31.08
Cu	0.11
β	0
γ_1	0.68
γ_2	0.98
FS	3

Factores de Carga

Nc	Nq	Ny
20.03	9.03	4.83

Factores de Forma

Fcs	Fqs	Fys
1.45	1.60	0.60

Factores de Profundidad

Fcd	Fqd	Fyd
1.34	1.32	1.00

Factores de Inclinación

Fci	Fqi	Fyi
1.00	1.00	1.00

qu	32.67	T/m2
qa neta	10.89	T/m2
Módulo de Winkler:	1.98	Kg/cm3

Df = Profundidad de fundación de la cimentación (m).

B = Ancho cimentación (m).

L = Largo cimentación (m).

ϕ = Angulo de fricción interna (°)

Cu = Cohesión (Ton/m2).

β = Angulo inclinación cimentación

γ_1 = Peso específico seco (Ton/m3).

γ_2 = Peso específico material humedo (Ton/m3).

FS = Factor de seguridad

qa neta = Capacidad portante del suelo.



GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL
TEL. 4017 0370/026 0513

GABRIEL ANTONIO REYES DE LA ROCA

INGENIERO CIVIL

Colegiado No: 8000

6ª. Calle Cond. Villas del Campo, Interior Araucarias Casa No. 19, zona 7; Quetzaltenango. Tel. 40170369/30260513.

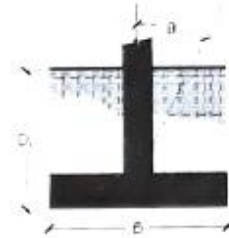
www.rlingenierosg.com rlingenieros1@gmail.com



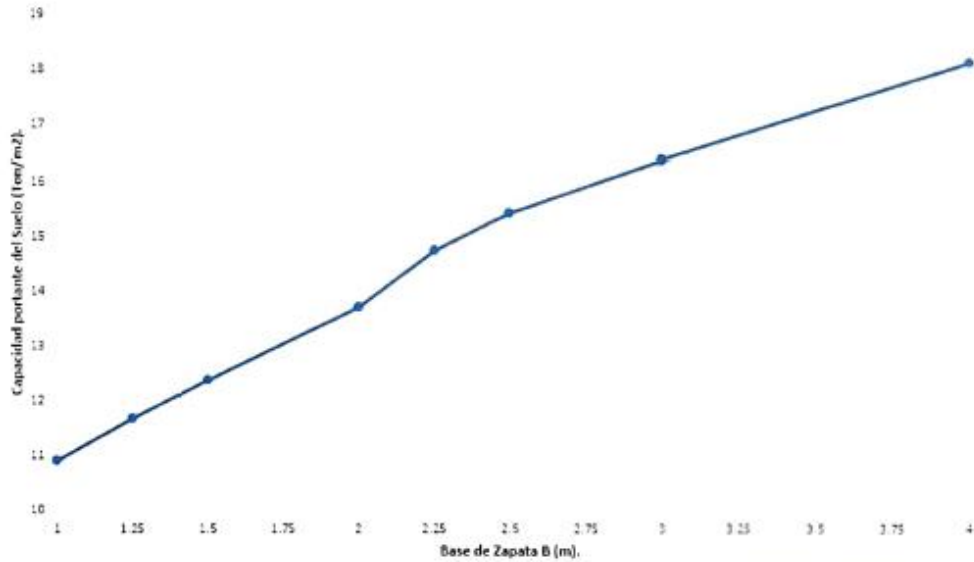
GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL

CAPACIDAD ULTIMA

Cohesión	0.11 Ton/m ²
Angulo de Fricción	31.08°
Peso Específico	0.68 Ton/m ³
Df	2.10 m
F.S.	3.00



Zapata



Nota: Base de zapata es el lado menor.



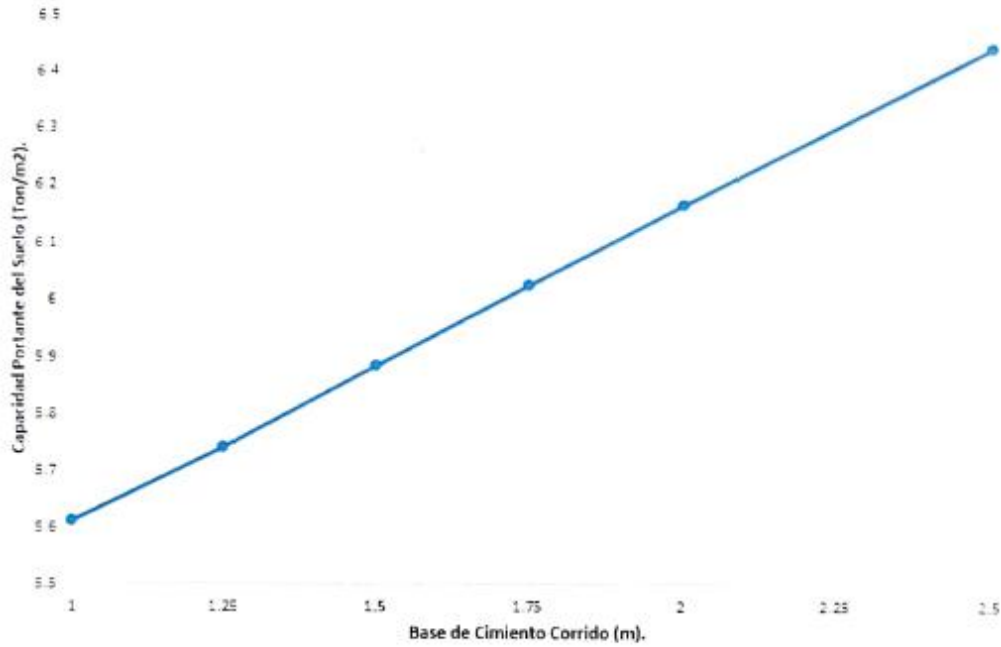
GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL
TEL. 4017 0369/3026 0513

GABRIEL ANTONIO REYES DE LA ROCA
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 8000



GEOECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL

Cimiento Corrido



Nota: Base de cimiento corrido es el lado menor.

Capacidad portante calculada con factores de capacidad de carga de Meyerhof.



GEOECNIA - CIMENTACIONES
GEOFISICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL
TEL. 4017 03069/30260 513

GABRIEL ANTONIO REYES DE LA ROCA
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 8000

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

AASHTO T 11 - AASHTO T 27 - AASHTO T 37



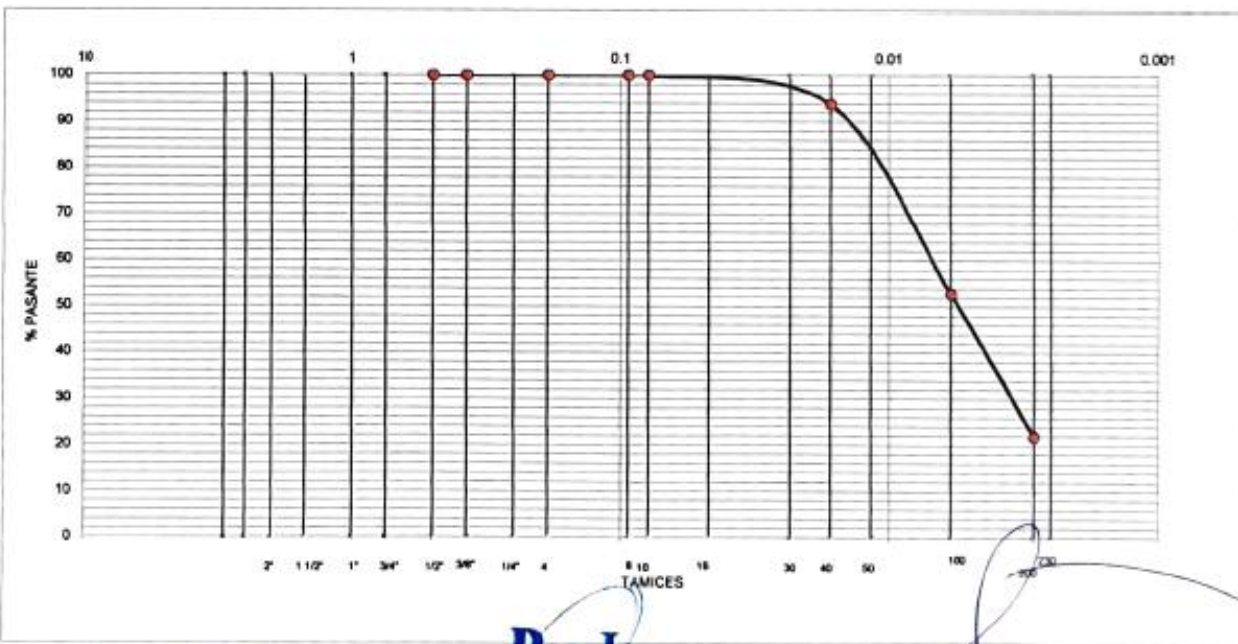
GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOMETRICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL

PROYECTO	ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA	POZO No.	1
UBICACIÓN	RM. 238+000 AL RM. 238+194 RD-QUE-03, SAN MARTÍN SACATEPEQUE, QUETZALTENANGO	MUESTRA No.	1 - h2.10m
MATERIAL Y USO	ARENA LIMOSA; SM A-2-4	FECHA	18/07/2023

Tamices ASTM Denominación	Abertura	Pesos Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Material Pasante (%)	Especificaciones % Pasante		Descripcion Del Material
						Min	Max	

3"	3							TMN.
2 1/2"	2.5							PESO BRUTO 362.00
2"	2							TARA 184.0
1 1/2"	1.5							PESO NETO 178.0
1"	1	184.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	0.75	184.0	0.0	0.0	100.0			% de Piedra: 0.0
1/2"	0.5	184.0	0.0	0.0	100.0			% de Arena: 78.1
3/8"	0.375	184.0	0.0	0.0	100.0			% P#200: 21.9
1/4"	0.25							
Nº 4	0.187	184.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 8	0.0937	184.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 10	0.0787	184.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 15	0.0469							
Nº 30	0.0234							
Nº 40	0.0165	195.0	11.0	6.2	93.8			
Nº 50	0.0117	207.0	23.0	12.9	87.1			
Nº 100	0.0059	268.0	84.0	47.2	52.8			
Nº 200	0.0029	323.0	139.0	78.1	21.9			
FONDO		361.0						

OBSERVACIONES



ELABORÓ:

R & L
INGENIEROS
GEOTECNIA - CIMENTACIONES
GEOMETRICA - INGENIERIA ESTRUCTURAL
TEL. 4017 0302/0306 0513

CALCULÓ:
GABRIEL ANTONIO REYES DE LA ROCA
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 8000

LIMITES DE ATTERBERG

AASHTO T 89 y AASHTO T 90

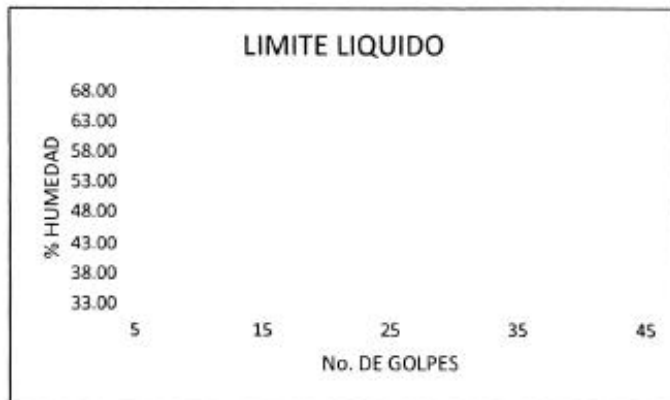


ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE

PROYECTO: **TIERRA** POZO N°: **1**
 UBICACIÓN: **KM. 236+000 AL KM. 238+194 RD-QUE-03, SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, QUETZALTENANGO** MUESTRA No: **1 - h2.10m**
 TIPO DE MATERIAL Y USO: **ARENA LIMOSA; SM A-2-4** FECHA: **18/07/2023**

LÍMITE LÍQUIDO

Capsula	N°	2	3	4			
Peso del Capsula	(gr)						
Capsula + Suelo Húmedo	(gr)	N.P.					
Capsula + Suelo Seco	(gr)						
Humedad	(%)						
Número de Golpes	N°						



LÍMITE LÍQUIDO:	0.00
LÍMITE PLÁSTICO:	0.00
ÍNDICE PLÁSTICO:	0

LÍMITE PLÁSTICO

Capsula	N°	5	6
Peso Capsula	(gr)		
Capsula + Suelo Húmedo	(gr)	N.P.	
Capsula + Suelo Seco	(gr)		
Humedad	(%)		

HUMEDAD NATURAL

	1		
	22.66		
	42.66		
	36.51		
	44.40		

OBSERVACIONES: **SUELO DE CIMENTACION**
N.P. = No Presenta

ELABORÓ:

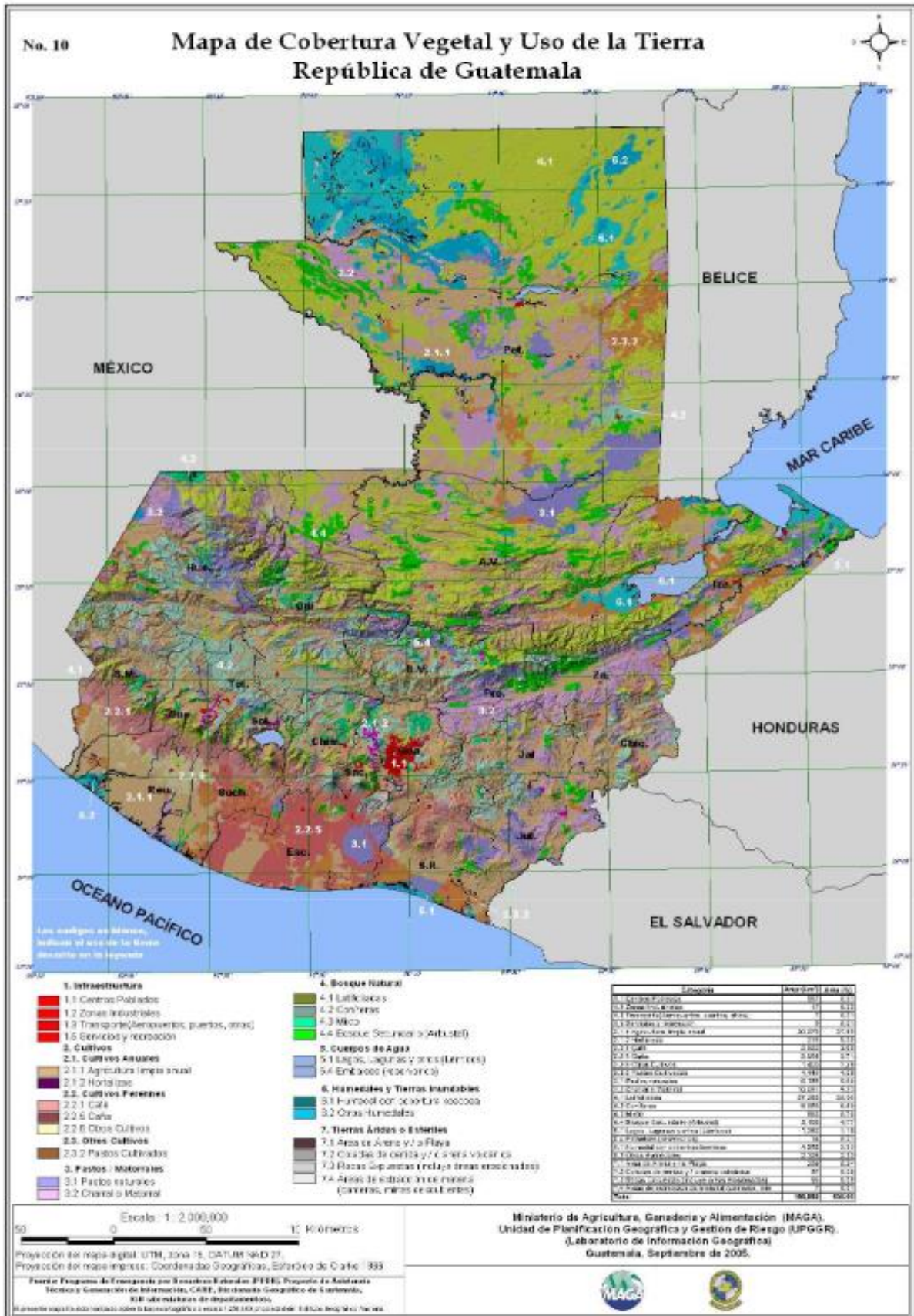


AUTORIZÓ:

GABRIEL ANTONIO REYES DE LA ROCA
INGENIERO CIVIL
 Colegiado No. 8000

6a calle Cond. Villas del Campo, Interior Araucarias casa No. 19, zona 7, Quetzaltenango. Tel.-40170369730260513.
www.rlingenierosgt.com

Anexo No. 2



**CLASIFICACION DE PARAMETRO SP, MORA VAHRSON
MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ**

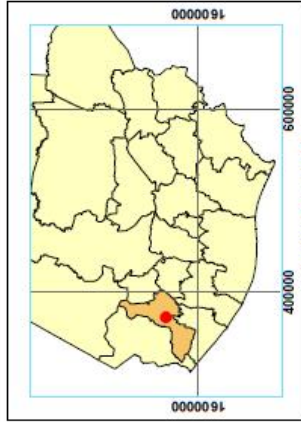
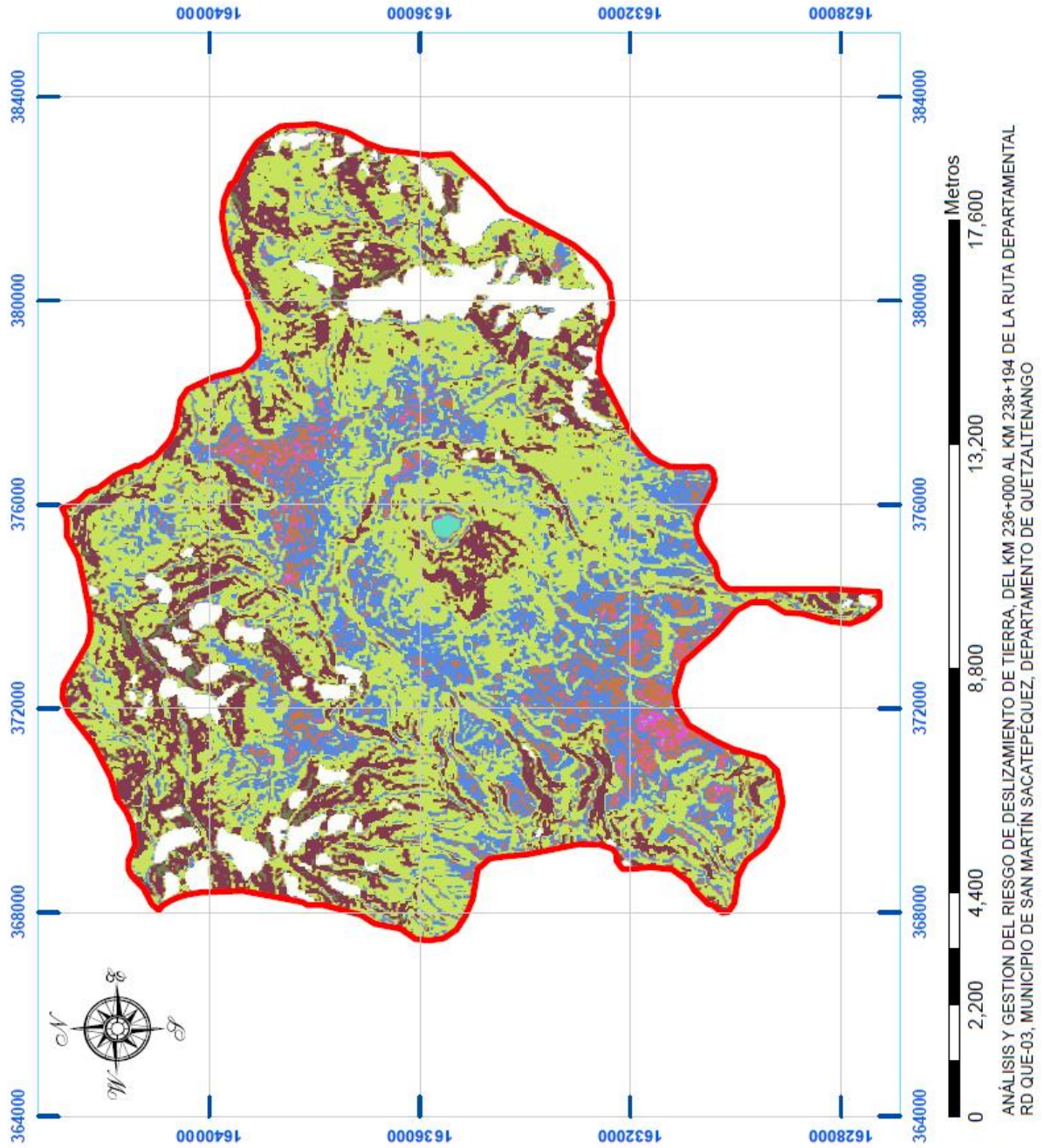


IMAGEN SATELITAL
AREA DE ESTUDIO

san_martin_sacatepequez

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---

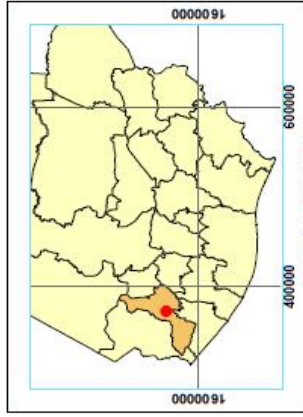
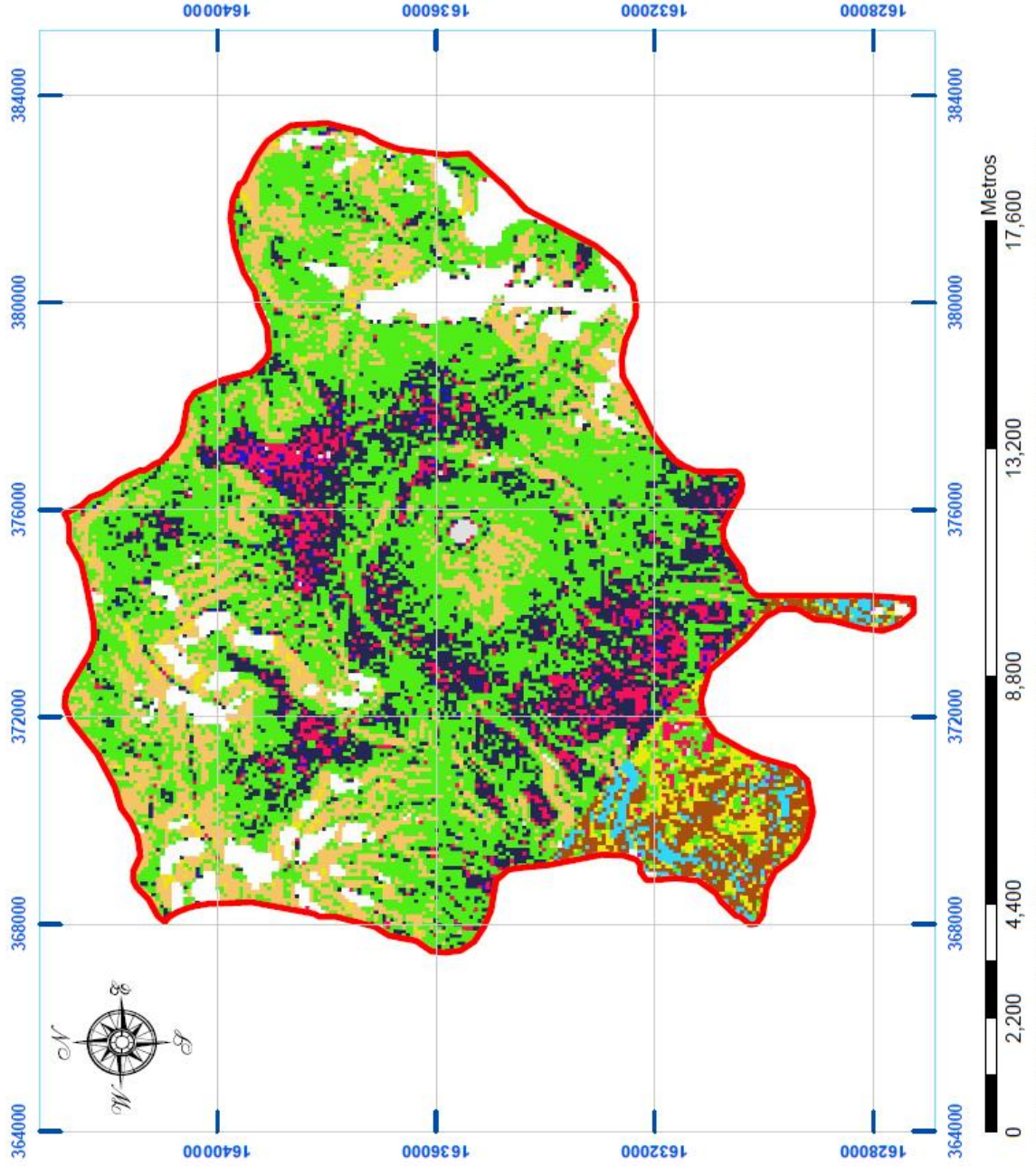
Clasificación
Parametro
SP

Universidad De San Carlos de Guatemala Centro Universitario de Occidente -CUNOC- División de Ciencias de la Ingeniería	
CONTENIDO:	MAPA DE PENDIENTES
FUENTE:	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
AUTOR:	MARIO ANIBAL GARCIA AGUILON
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE DEL 2023
MAPA No.	1 / 4

Anexo No. 4

ANEXO No. 4

MAPA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ



Universidad De San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Occidente
-CUNOC-
Division de Ciencias de la Ingenieria

CONTENIDO: MAPA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO
FUENTE: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
AUTOR: MARIO ANIBAL GARCIA AGUILON
ESCALA: INDICADA
FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2023

MAPA No. **2 / 4**

ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

**MAPA RIESGO A DESLIZAMIENTO
MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ**

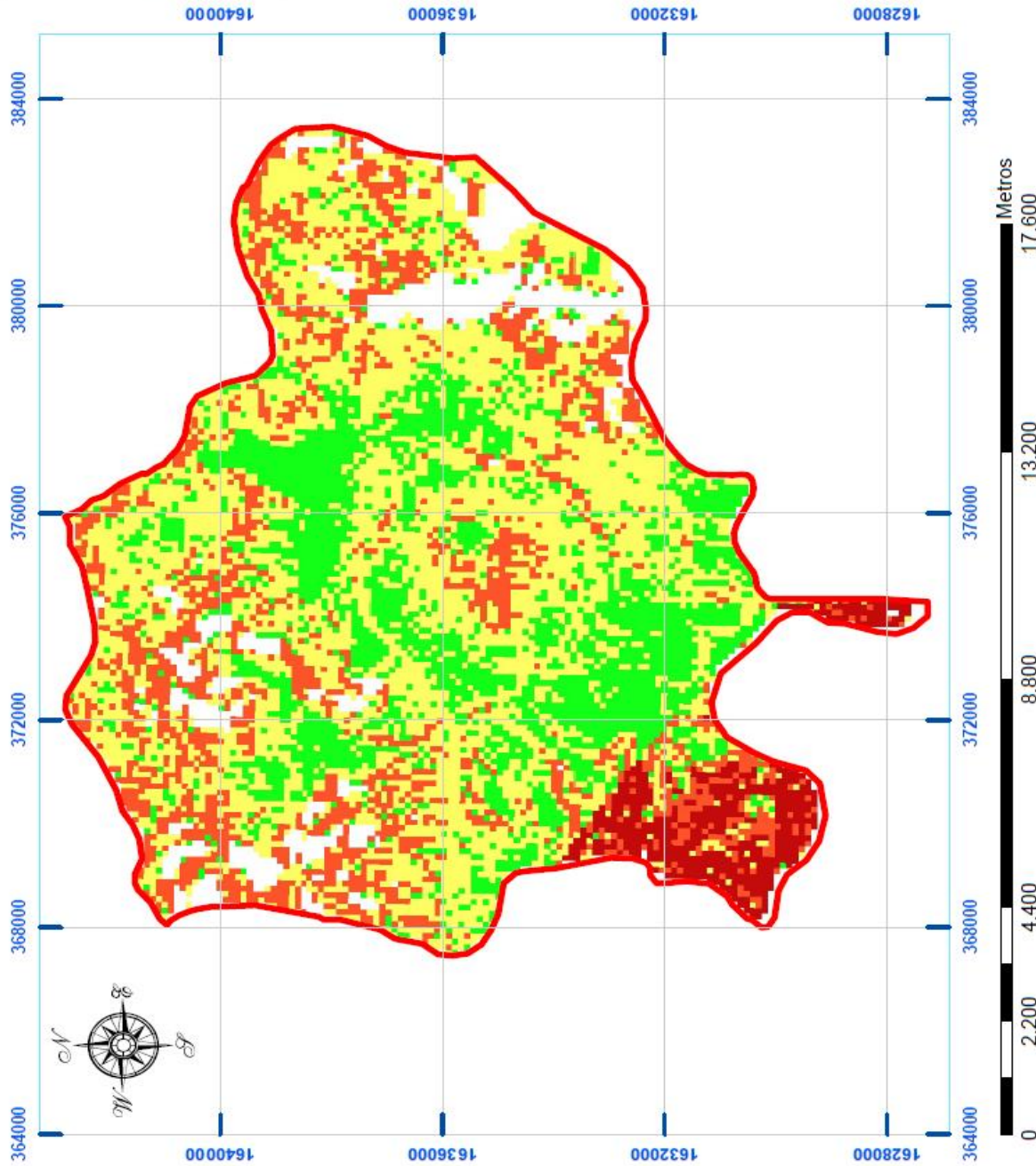


IMAGEN SATELITAL
AREA DE ESTUDIO



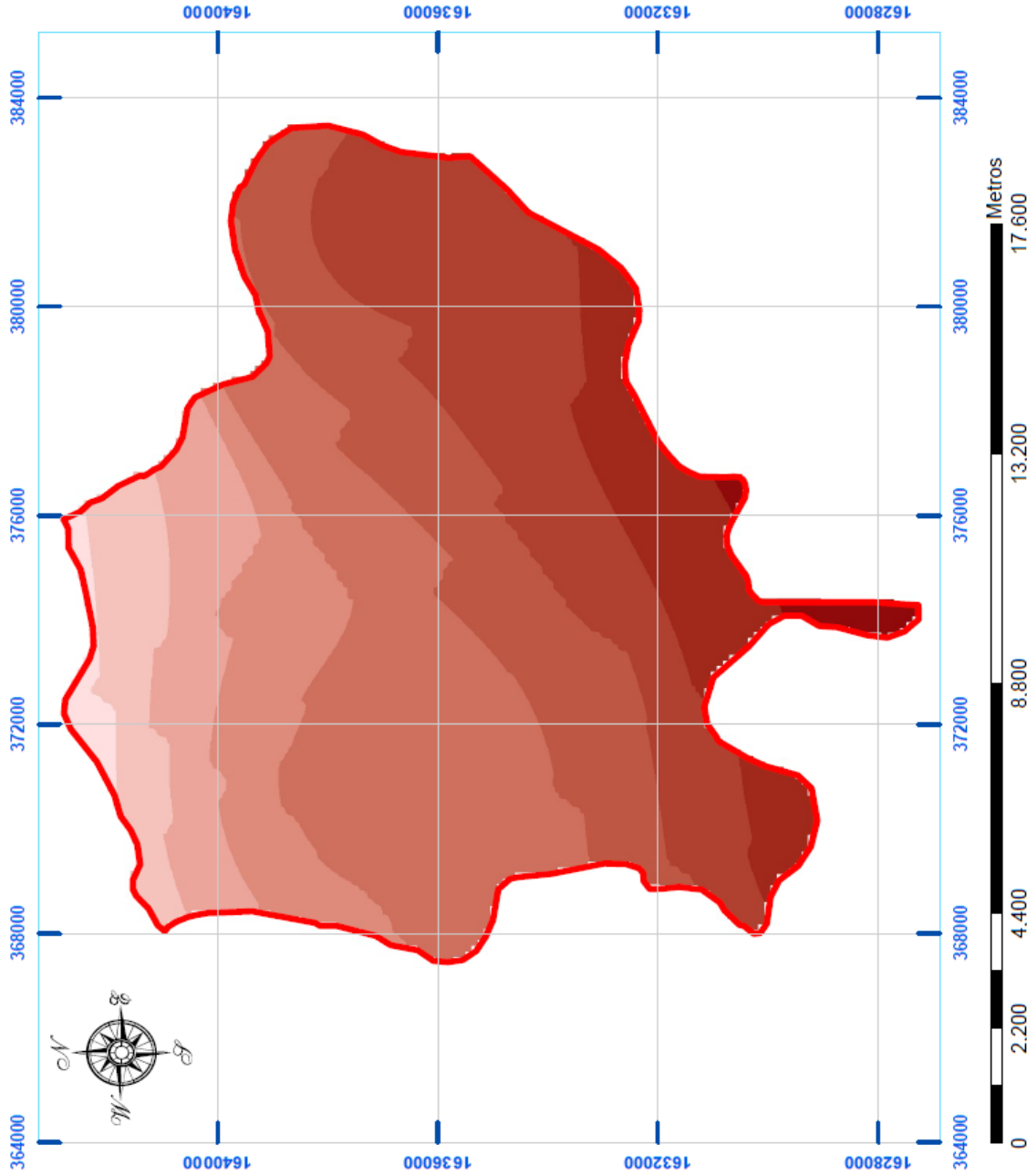
CLASIFICACION
RIESGO A
DESLIZAMIENTO

Universidad De San Carlos de Guatemala Centro Universitario de Occidente -CUNOC- Division de Ciencias de la Ingenieria	
CONTENIDO:	MAPA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO
FUENTE:	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
AUTOR:	MARIO ANIBAL GARCIA AGUILON
ESCALA:	INDICADA FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2023
MAPA No.	3 / 4

ANÁLISIS Y GESTION DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

ANEXO No. 6

**MAPA PARAMATRO DE SISIMISIDAD
MUNICIPIO DE SAN MARTIN SACATEPEQUEZ**



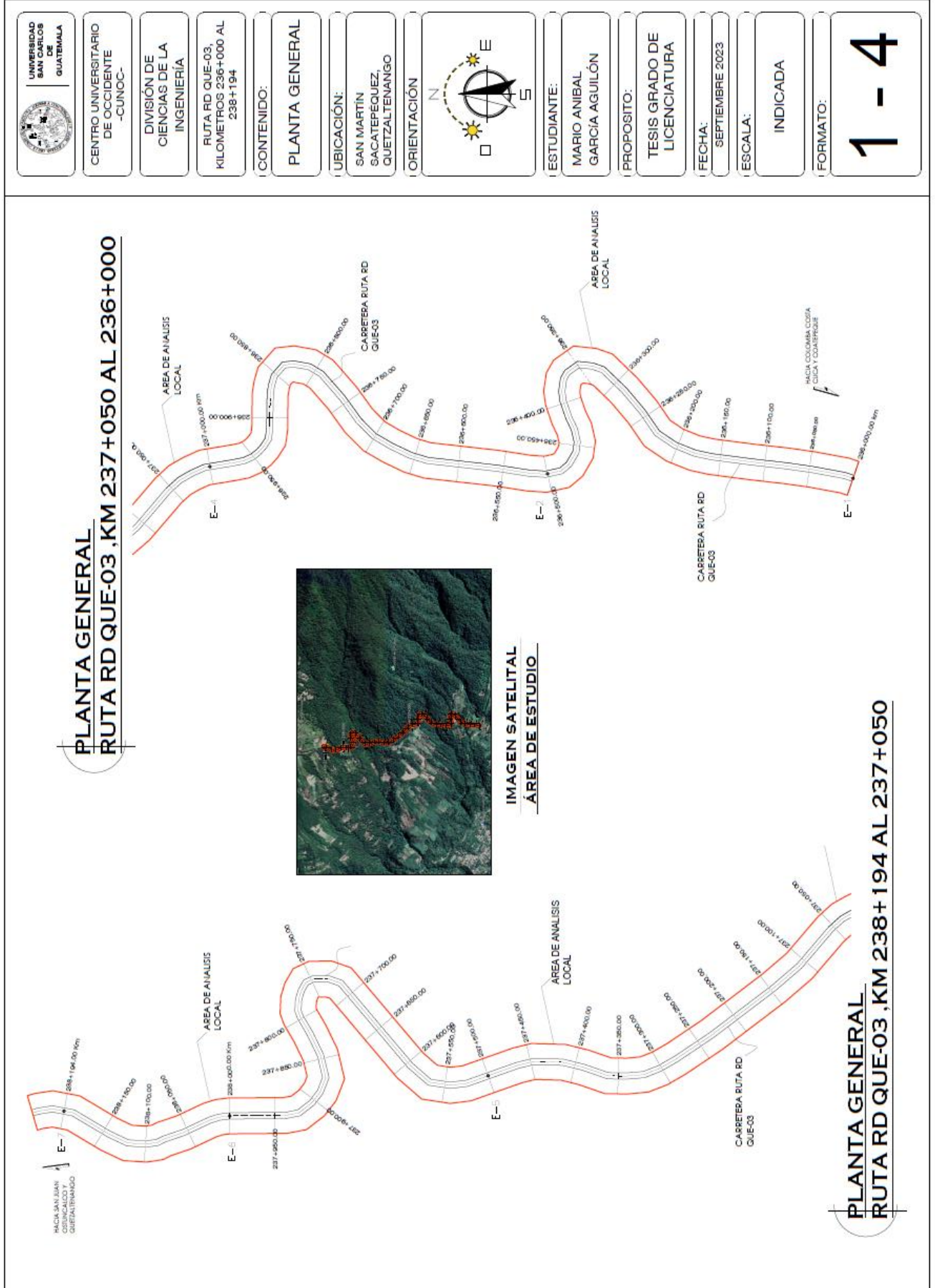
Sismicidad	
4.897071891 - 5.0265012883	
5.0265012884 - 5.0228537715	
5.0228537716 - 5.0403846657	
5.0403846658 - 5.0589355599	
5.0589356 - 5.0774862	
5.07748623 - 5.094717344	
5.094717345 - 5.112658226	
5.112658227 - 5.130599129	
5.130599129 - 5.14854002	

**CLASIFICACION
PARAMETROS DE
SISIMISIDAD**

Universidad De San Carlos de Guatemala Centro Universitario de Occidente -CUNOC- Division de Ciencias de la Ingenieria	
CONTENIDO:	PARAMETRO DE SISIMISIDAD
FUENTE:	MODELO DIGITAL DE ELEVACION
AUTOR:	MARIO ANIBAL GARCIA AGUILON
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE DEL 2023
MAPA No.	4 / 4

ANÁLISIS Y GESTION DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA, DEL KM 236+000 AL KM 238+194 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL RD QUE-03, MUNICIPIO DE SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

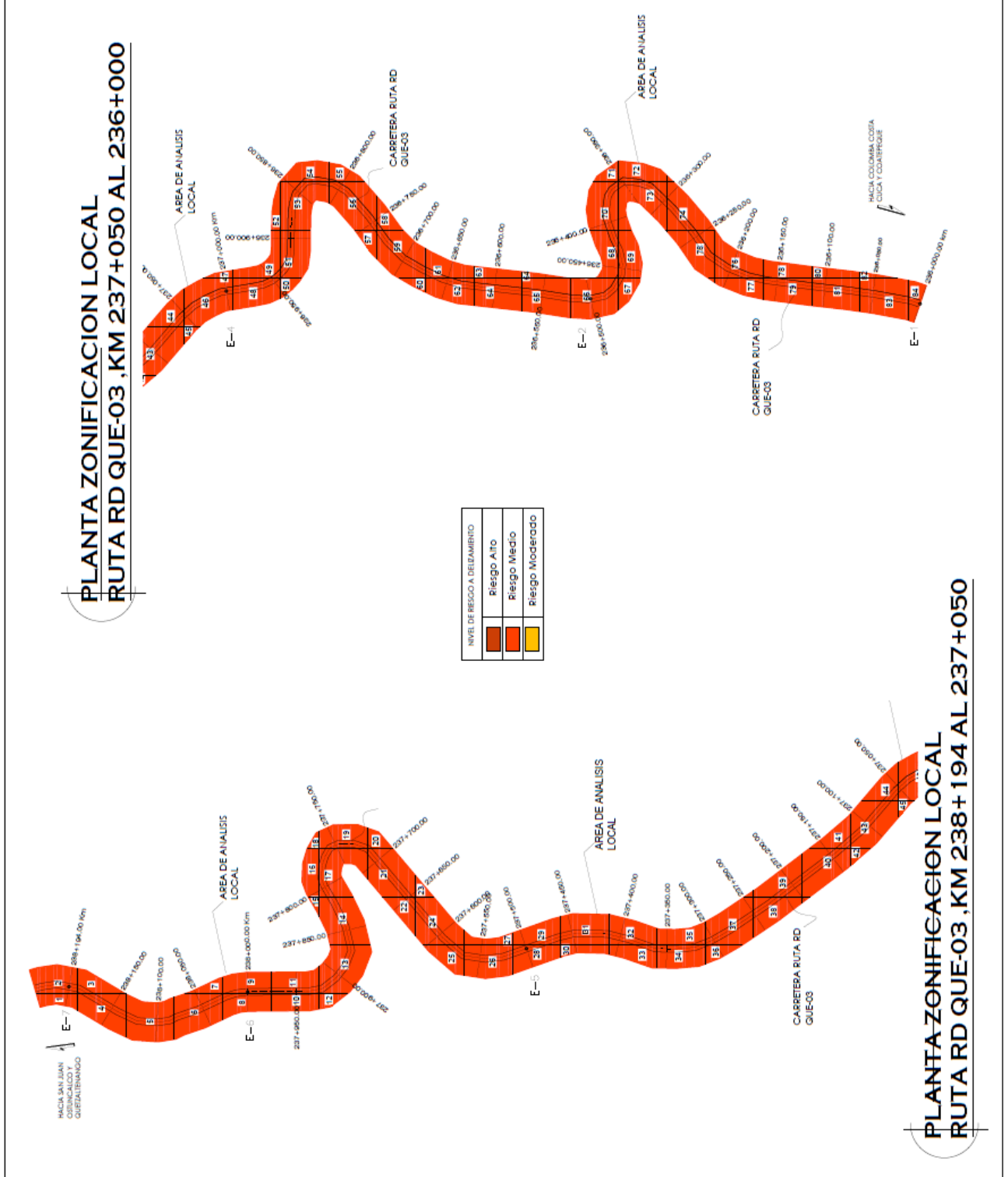
Anexo No. 7





<p>UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>	<p>CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-</p>	<p>DIVISION DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</p>	<p>RUTA RD QUE-03, KILOMETROS 236+000 AL 238+194</p>	<p>CONTENIDO: PLANTA GENERAL</p>	<p>UBICACIÓN: SAN MARTIN SACATEPEQUEZ, QUETZALTENANGO</p>	<p>ORIENTACIÓN</p>	<p>ESTUDIANTE: MARIO ANIBAL GARCÍA AGUILÓN</p>	<p>PROPOSITO: TESIS GRADO DE LICENCIATURA</p>	<p>FECHA: SEPTIEMBRE 2023</p>	<p>ESCALA:</p>	<p>INDICADA</p>	<p>FORMATO: 1 - 4</p>
--	--	--	--	---	---	--------------------	--	--	-----------------------------------	----------------	-----------------	----------------------------------

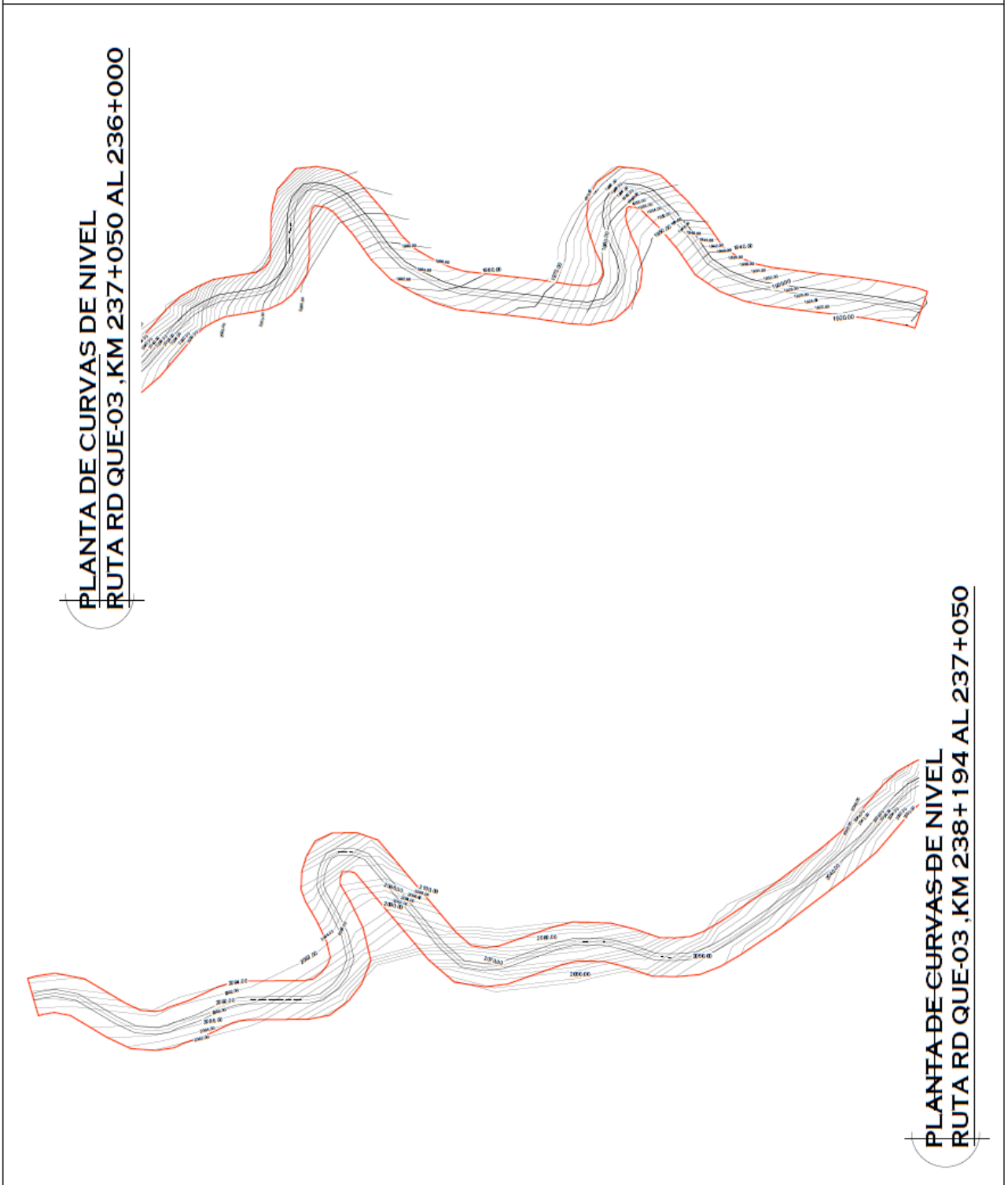
Anexo No. 8

	UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
	CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-
	DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
	RUTA RD QUE-03, KILOMETROS 236+000 AL 238+194
	CONTENIDO: MAPA DE RIESGO A DESPLAZAMIENTO ZONIFICACION LOCAL
	UBICACIÓN: SAN MARTÍN SACATEPEQUEZ, QUETZALTENANGO
	ORIENTACIÓN:
	ESTUDIANTE: MARIO ANIBAL GARCÍA AGUILÓN
	PROPOSITO: TESIS GRADO DE LICENCIATURA
	FECHA: SEPTIEMBRE 2023
	ESCALA: INDICADA
	FORMATO: 2 - 4























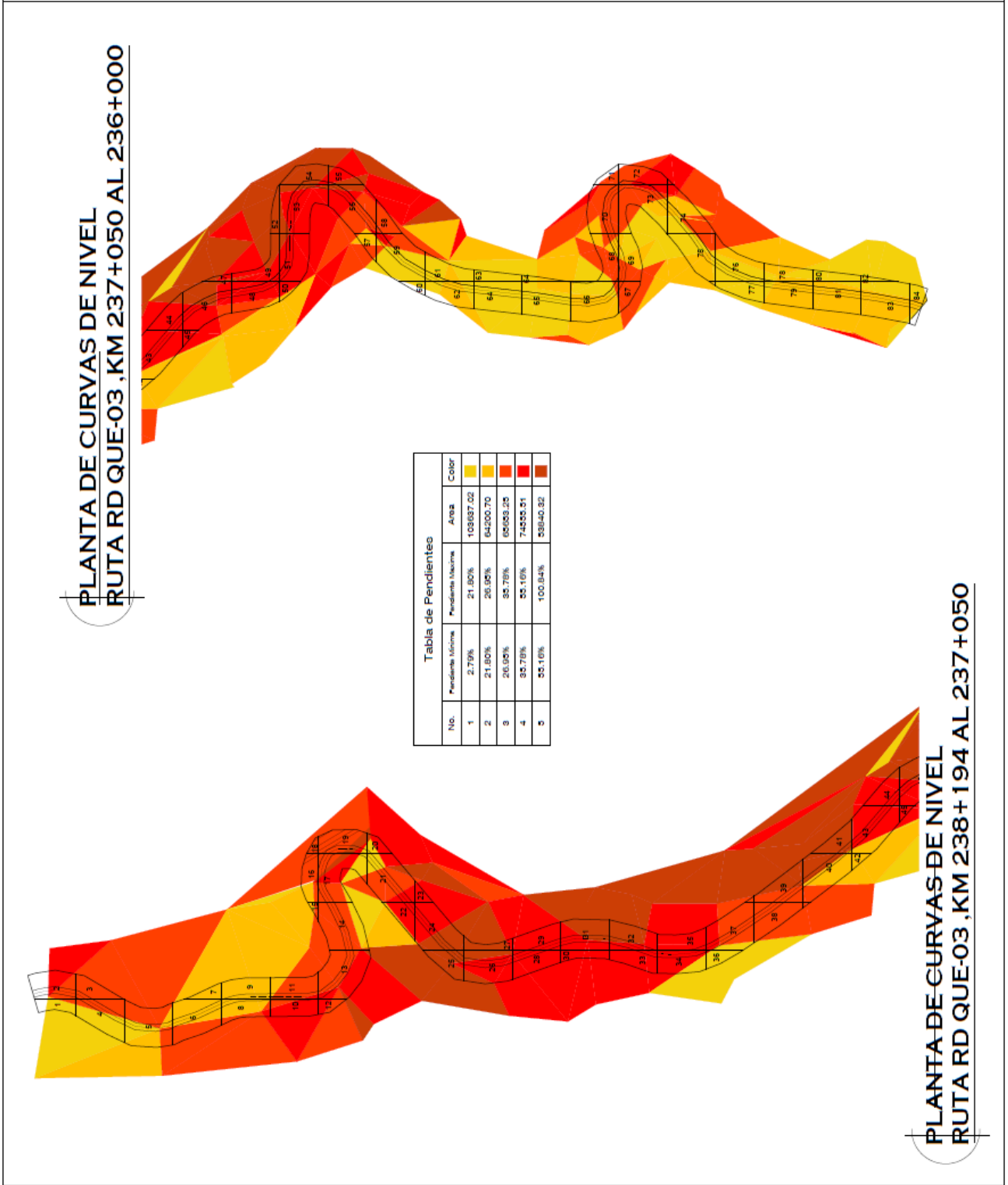
Anexo No. 9

 UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA	CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOC-	DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA	RUTA RD QUE-03, KILOMETROS 236+000 AL 238+194	CONTENIDO: MAPA DE CURVAS DE NIVEL	UBICACIÓN: SAN MARTIN SACATEPÉQUEZ QUETZALTENANGO	ORIENTACIÓN 	ESTUDIANTE: MARIO ANIBAL GARCÍA AGUILÓN	PROPOSITO: TESIS GRADO DE LICENCIATURA	FECHA: SEPTIEMBRE 2023	ESCALA:	INDICADA	FORMATO: 3 - 4
---	---	---	---	--	--	--	---	--	---------------------------	---------	----------	--------------------------



Anexo No. 10

	UNIVERSIDAD SAN CARLOS GUATEMALA
	CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE -CUNOCC-
	DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
	RUTA RD QUE-03, KILOMETROS 236+000 AL 238+194
	CONTENIDO:
	MAPA DE CURVAS DE NIVEL
	UBICACIÓN:
	SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, QUETZALTENANGO
	ORIENTACIÓN
	
	ESTUDIANTE:
	MARIO ANIBAL GARCÍA AGUILÓN
	PROPOSITO:
	TESIS GRADO DE LICENCIATURA
	FECHA:
	SEPTIEMBRE 2023
	ESCALA:
	INDICADA
	FORMATO:
	4 - 4



Anexo No. 11

CARACTERÍSTICAS:

SUELO		
peso específico (γ_s):	0.98	Ton/m ³
ángulo de fricción interna (ϕ):	31.08	°
Coefficiente de rozamiento de suelo (μ):	0.38	
Cohesión:	0.11	Ton/m ²
Valor soporte del suelo (γ_s):	10.89	Ton/m ²
SOBRECARGA		
sobrecarga: (q)	0.45	T/m ²
peso específico de sobrecarga	0.98	T/m ³
Factor de Carga Última (FU)	1.5	
CONCRETO		
peso específico (γ_c):	2.4	T/m ³
resistencia (F_c):	281	kg/cm ²
ACERO		
Fy:	2810	kg/cm ²
tipo:	***	

DIMENSIONAMIENTO:



Elemento	Parametro	Calculo (M)	Utilizar (M)
Talud (L)			3
Desplante (h)	1	1	1
Altura Sc (h)	$(CV+5CM)/W$		2
Espesor Zapata (tz)	$0.1(L+h+h)$	0.6	0.6
Altura Total (H)	$L+h+h+tz$	6.6	6.6
Cortina (t)	$(H/10 \text{ y } H/12)$	0.605	0.6
Base (b)	$(0.5 \text{ a } 0.7)H$	3.96	4
Pie (s)	$b/3$	1.333333333	1.35
Talón (T)		2.05	2.05

EMPUJE ACTIVO Y PASIVO

Empuje Pasivo (K_p):

$$K_p = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi}$$

3 1/7

Empuje Activo (K_a):

$$K_a = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{1 + \text{Sen } \phi}$$

1/3

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Presiones Horizontales:

$$Pph: Kp \cdot Ys \cdot h \quad 4.914478342 \text{ T/m}^2$$

$$Pah: Ka \cdot Ys \cdot H \quad 2.063662365 \text{ T/m}^2$$

$$Pas: Ka \cdot q \quad 0.143575768 \text{ T/m}^2$$

Fuerzas debido a presiones Horizontales:

$$Fph: Pph \cdot 0.5 \cdot h \quad 3.931582674 \text{ T/m}$$

$$Fah: Fah \cdot 0.5 \cdot H \quad 6.810085806 \text{ T/m}$$

$$Fas: Pas \cdot H \quad 0.947600066 \text{ T/m}$$

Momentos al pie del muro:

$$Mph: Ppv \cdot x \cdot h/3 \quad 2.096844093 \text{ Ton-m/m}$$

$$Mah: Ppv \cdot x \cdot H/3 \quad 14.98218877 \text{ Ton-m/m}$$

$$Mas: Ppv \cdot x \cdot H/2 \quad 3.127080217 \text{ Ton-m/m}$$

Fuerzas Equilibradoras y momentos resistentes:

Figura	Area (m ²)	peso especifico (T/m ³)	W (T/m)	Brazo (m)	Momento (T-m/m)
1	1.35	0.98	1.323	0.675	0.893025
2	2.4	2.4	5.76	1.65	9.504
3	8.2	0.98	8.036	2.975	23.9071
4	2.4	2.4	5.76	2	11.52
5	2.05	0.98	2.009	2.975	5.976775
Σ			22.888	Σ	51.8009

CALCULO DE FUERZA SISMICA

$$FA = \frac{Y_s \cdot H^2 \cdot K_a}{2} \quad 13.62017161$$

$$F_{sismo} = 10\% FA \quad 1.362017161 \quad \text{Ton/m}$$

$$Y_{sismo} = H/2 \quad 3.3 \quad \text{m}$$

$$M(\text{sismo}) = F \cdot Y \quad 4.494656632 \quad \text{T-m/m}$$

CHEQUEO POR ESTABILIDAD

Chequeo por Volteo

$$F_{sv} = \frac{\sum MR}{\sum PACT + M(\text{sismo})} > 1.5$$

$$F_{sv} = 2.976251762 \quad \text{CHEQUEA}$$

$F_{sv} > 1.5$ SI CHEQUEA POR VOLTEO

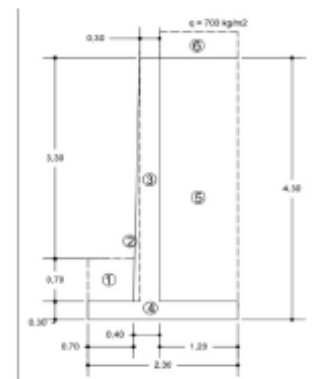
Chequeo por Deslizamiento

$$F_{sd} = \frac{PR}{\sum PACT + M(\text{sismo})} > 1.5$$

$$F_{sd} = 1.628927498 \quad \text{CHEQUEA}$$

$F_{sd} > 1.5$ NO CHEQUEA POR VOLTEO

solucion:
SI NO CHEQUEA - Aumentar dimensiones de muro o colocar diente.



Presiones: $a = \frac{\sum M_0}{w}$

Presion Maxima

$$P_{max} = \frac{w}{3 \cdot ab}$$

$P_{max} = 2.429723992 \text{ T/m}^2$

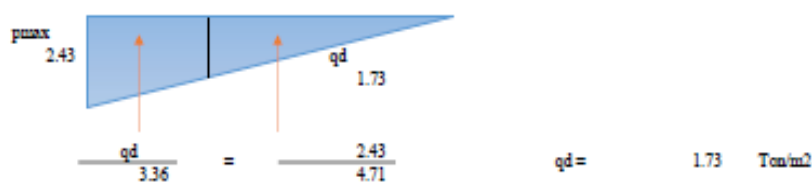
$P_{max} < V_s$
 $2.43 < 10.89$

CHEQUEA

$P_{max} < V_s$ NO ENCEDE EL VALOR SOPORTE DEL SUELO

DISEÑO DE DIENTE

Por triangulos semejantes



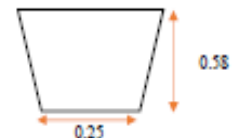
CARGAS TOTALES

$W_{ss} = 2.81 \text{ T/m}$
 $W_{sc} = 2.91 \text{ T/m}$
 $WT = 5.72 \text{ T/m}$

Altura de Diente (C)

1	11.64
2	1.11
3	1.69
4	1.54
1.1	2.40

C =	0.8 m
C elegido	0.58 m



DISEÑO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS

1 DIENTE

Presion Posiva 7.367065568 T/m²
 Presiones y cargas sobre el Diente:
 $P_{pvD} = 1.42 \text{ T/m}$
 $P'P_vD = 2.85 \text{ T/m}$
 $W_{ssTagD} = 1.69 \text{ T/m}$

Chequeo por Cortante

	t (m)	Rac (m)	d (m)
Espesor de Diente (t)	0.25	0.075	0.175

$Vu_{Rostro} = Vu_{Rostro} = 1.7(P'pvD \times P'pvD + W_{ss} \cdot \tan \theta)$
 $Vu_{Rostro} = 10.14 \text{ T/m}$

Chequeo por Cortante Resistente (VR)

$VR = VR = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{f'cx} \cdot b \times d$ $b = \text{franja unitaria, } 1.00 \text{ m}$

$$VR = 13.22 \text{ Ton/m}$$

$$VR > Vu_{\text{rostro}}$$

$$13.22 > 10.14$$

CHEQUEA

CHEQUEA SI $VR > Vu_{\text{rostro}}$, El espesor del del diente chequea por corte.

Chequeo por Flexión de Diente (MnACT)

$$MnACT = M_{uACT} = (W_{ss} T g \delta c + P' p v D + c/2 + P' p v D (2/3)c) \cdot 1.7$$

$$MnACT = 4.01 \text{ T-m/m}$$

Calculo de Acero de Refuerzo:

MnACT =	4.01	T-m/m
b =	100	cm
ϕ =	4	cm
d =	16.87	cm
f_c =	281	Kg/cm ²
f_y =	2810	Kg/cm ²
t =	25	cm
c =	58	cm

Acero

As _{min} =	8.46	cm ²
As _{req} =	9.73	cm ²

	No Varilla	@	Cantidad	Area	Area Total
Calculo	N°4	0.13	8.00	1.29	10.32

Acero Por Temperatura

$$As_{tem} = 2.9 \text{ cm}^2$$

	No Varilla	Area	Cantidad	Area Total
Calculo	N°3	0.71	1	0.71
	N°4	1.29	2	2.58

$$\text{TOTAL} = 3.29 \text{ cm}^2$$

2 PIE

Chequeo por Cortante (VR)

$$W_{\text{vuelo}} + \text{Cimiento} = 3.27 \text{ T/m}$$

$$W'_{\text{sa}} = 2.35 \text{ T/m}$$

$$W'_{\text{sa}} = 0.48 \text{ T/m}$$

El cortante es vertical y hacia arriba, por lo que la tension se producira en la parte inferior del del pie, alli se colocara el refuerzo.

Peralte Efectivo (d)	$t - REC - \phi/2 =$
	Varilla (#) diametro (cm)
Asumiendo (ϕ)	6 1.905
Recubrimiento (t)	7.5 cm

$$d = 51.55 \text{ cm}$$

Chequeo por Cortante (VR)

$$\text{Banda unitaria} = 100 \text{ cm}$$

Cortante Resistente

$$VR = 38.93 \text{ Ton/m}$$

Cortante Actuante

$$Vu = 0.75 \text{ T/m}$$

$$VR > Vu$$

$$38.93 > 0.75$$

CHEQUEA

Chequeo por Flexion

Murostro = - 0.32 T-m/m

Refuerzo:

Mu =	- 0.32	T-m/m
d =	51.55	cm
b =	100	cm
fc =	281	Kg/cm ²
fy =	2810	Kg/cm ²
f' =	80	cm
ts =	60	cm

Acero

Asmin =	25.87	cm ²
Asreq =	- 0.25	cm ²

	No Varilla	@	Varillas xm	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N°6	0.10	10.00	2.84	28.40

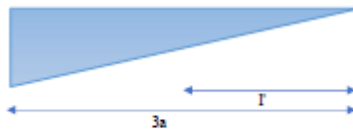
Acero Longitudinal

Acero Por Temperatura

As _{tem} =	9.6	cm ²
---------------------	-----	-----------------

	No Varilla	@	Varillas xm	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N°5	0.16	5.00	1.99	9.95

3 TALON



$$\frac{qd}{2.76} = \frac{2.43}{4.71} \quad qd = 1.42 \text{ T/m}^2$$

q_t+c+q = 5.81 T/m²

W_s = 1.96 T/m

W_s+c+q = q_t+c+q + L talon = 11.91 T/m

Chequeo por cortante

V_u rostro: 1.7(W_s+c+q - W_s) = 16.91 T/m

Utilizar valor de "d" d = 51.55 cm

VR = $VR = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$ = 38.93 T/m b = franja unitaria 100 cm

VR	>	V _u
38.93	>	16.91

CHEQUEA

Chequeo por flexion

M_u rostro =

M_u rostro = 17.68 T-m/m

Calculo de acero

Mu =	17.68	T-m/m
b =	100	cm
d =	51.55	cm
fc =	281	kg/cm ²
fy =	2810	kg/cm ²
T =	205	cm
t =	60	cm

Acero Mínimo y requerido

As min =	25.87	cm ²
As req =	13.78	cm ²

	No Varilla	@	Varillas xm	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N°6	0.10	10.00	2.84	28.40

Acero Longitudinal

Acero Por Temperatura

As _{tem} =	24.6	cm ²
---------------------	------	-----------------

	No Varilla	@	Varillas xm	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N°5	0.16	13.00	1.99	25.87

4 PANTALLA

$$P_1 Y_1 = K_a \cdot Y \cdot H$$

$$P_1 Y_1 = 1.250704464 \text{ T/m}^2$$

$$P_{aq} = K_a \cdot q$$

$$P_{aq} = 0.14 \text{ T/m}^2$$

$$P_2 Y_2 = P_1 Y_1 \cdot H/2 =$$

$$P_2 Y_2 = 2.51 \text{ T/m}$$

$$P'_{aq} = P_{aq} \cdot H =$$

$$P'_{aq} = 0.56 \text{ T/m}$$

Chequeo por cortante

$$V_u \text{ rostro} = 1.7(P_2 Y_2 + P'_{aq})$$

$$V_u \text{ rostro} = 5.21 \text{ T/m}$$

$$\text{Peralte Efectivo (d)} = t - \text{REC} - \text{Ø}/2 =$$

Varilla (#)	diametro (cm)
8	2.54
Recubrimiento (t)	7.5 cm

$$d = 51.23 \text{ cm}$$

$$VR = VR = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$VR = 38.69 \text{ Ton} \quad \text{Banda unitaria (b)} = 100 \text{ cm}$$

VR	>	Vu
38.69	>	5.21

CHEQUEA

Chequeo por flexion

$$M_u \text{ rostro} = 1.7(P_1 Y_1 \cdot 1/3 \cdot H + P'_{aq} \cdot H/2)$$

$$M_u \text{ rostro} = 7.59 \text{ T-m/m}$$

Calculo de acero

Mu =	7.59 T-m/m
b =	100 cm
d =	51.23 cm
fc =	281 kg/cm ²
fy =	2810 kg/cm ²
H =	400 cm
t =	60 cm

Acero Mínimo y requerido

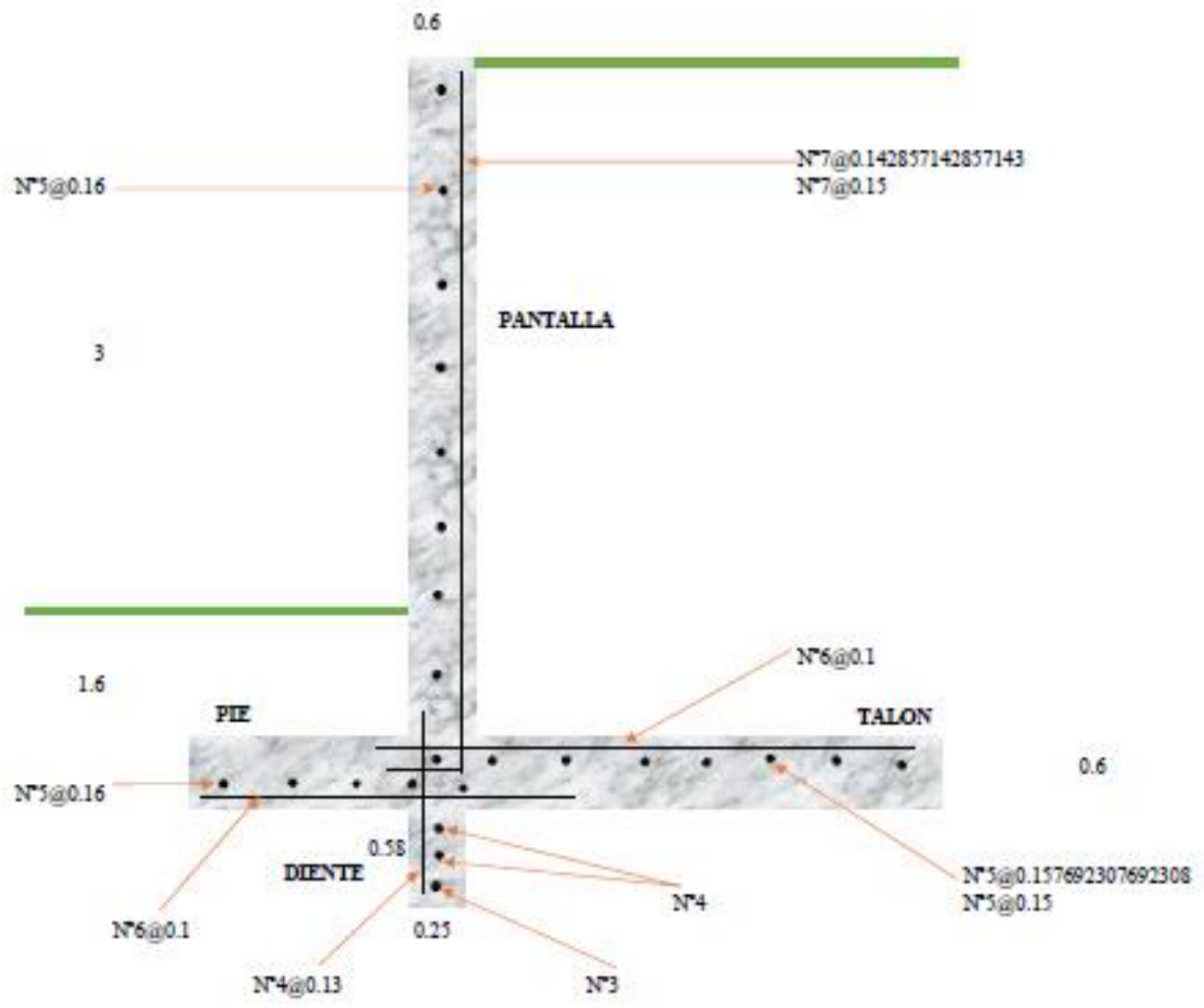
Asmin =	25.71 cm ²
As req =	5.90 cm ²

	No Varilla	@	Varillas x m	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N7	0.14	7.00	3.87	27.09 cm ²

Acero Longitudinal

Acero Por Temperatura	48 cm ²
-----------------------	--------------------

	No Varilla	@	Varillas x m	Area (cm ²)	Area Total
Calculo	N5	0.16	25.00	1.99	49.75 cm ²



Anexo No. 12

MURO DE CONTENCIÓN POR GRAVEDAD

SOBRECARGA		
Sobrecarga (q)	0.45	T/m ²
Peso específico suelo sobrecarga	0.98	T/m ³

SUELO		
Peso Especifico Suelo (γ's)	0.98	T/m ³
Peso Especifico de Concreto Ciclopeo (γ'cc)	2.4	T/m ³
Angulo de Friccion (φ)	31.08	°
Cohesion (C)	0.11	Ton/m ²
Valor Soporte del Suelo (Vs)	10.89	Ton/m ²
Coefficiente de rozamiento de suelo (μ)	0.542486319	0.52
Angulo de talud (δ)		°

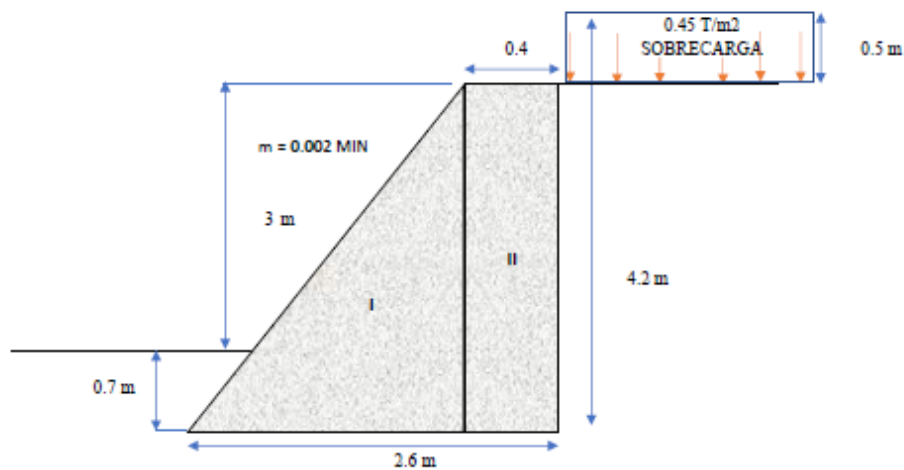
TEORIA DE RANKINE EMPUJE ACTIVO Y PASIVO

Empuje Activo (ka)	0.319057261	$Ka = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{1 + \text{Sen } \phi}$
--------------------	-------------	--

Empuje Pasivo (kp)	3.134233637	$Kp = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi}$
--------------------	-------------	--

DIMENSIONAMIENTO DE MURO POR GRAVEDAD

ELEMENTO	PARAMETRO	CALCULO (m)	UTILIZADR (m)
Talud (L)			3
Desplante (h)	min 0.60	0.6	0.7
Altura Sc (h')	(CV+SCM)/W	0.459183673	0.5
Total (H)	L+h+h'	4.2	4.2
Base (b)	(0.5 a 0.7)H	2.52	2.6
Corona (c)	min 0.30	0.3	0.4
Talon	(0.12 a 0.17)H	0.145	
Pie	(0.12 a 0.17)H	0.145	



CALCULO DE CARGAS HORIZONTALES

Pph	2.15 Ton/m ²	$P_{ph} = K_p + \gamma_s + h$
Pah	1.31 Ton/m ²	$P_{ah} = K_a + \gamma_s + H$
Pas	0.14 Ton/m ²	$P_{as} = K_a + q$

CALCULO DE FUERZAS DEBIDAS A LAS PRESIONES HORIZONTALES

Fph	0.752529496 Ton/m	$F_{ph} = 0.50 + P_{ph} + h$
Fah	2.757803343 m Ton/m	$F_{ah} = 0.50 + P_{ah} + H$
Fas	0.603018224 m Ton/m	$F_{as} = P_{as} + H$

CALCULO DE LOS MOMENTOS AL PIE DEL MURO

Mph	0.175590216 m Ton-m/m	$M_{ph} = F_{ph} + h/3$
Mah	3.86092468 m Ton-m/m	$M_{ah} = F_{ah} + H/3$
Mas	1.26633827 m Ton-m/m	$M_{as} = F_{as} + H/2$

CALCULO DE FUERZAS Y MOMENTOS DEBIDO AL MURO DE GRAVEDAD

No. Figura	Area (m ²)	Peso Especifico (Ton/m ³)	W (Ton/m)	Brazo (m)	Momento (Ton-m/m)
1	4.62	2.4	11.09	1.47	16.26
2	1.68	2.4	4.03	2.40	9.68
			Wt = 15.12	Mr =	25.94

CALCULO DE FUERZA SISMICA

F sismico	10%FA	0.275780334	Ton/m
Y sismo	H/2	2.1	m
M(sismos)	F*Y	0.579138702	T-m/m

$$\frac{Y_s \cdot H^2 \cdot K_a}{2}$$

CHEQUEO DE ESTABILIDAD CONTRA VOLTEO

$$FSV = \frac{MR}{Mact + Mact(sismo)} > 1.5$$

FSv	4.5764024 m	CHEQUEA
-----	-------------	---------

CHEQUEA ya que el valor de FSv es mayor a 1.5

CHEQUEO DE ESTABILIDAD POR DESLIZAMIENTO

Fr	8.614929496	Ton/m	Pps + uW
Fact	3.360821566 m	Ton/m	

$$FSD = \frac{FR}{Fact + Mact(sismo)} > 1.5$$

Fsd	2.186652379	CHEQUEA
-----	-------------	---------

CHEQUEA ya que el valor de FSD es mayor a 1.5

CHEQUEO POR CAPACIDAD DEL SUELO

ASENTAMIENTO

a	1.39	m
e	0.09	

$$3a = 4.16 > 2.6 \text{ m Base}$$

3a > Base = CHEQUEA CHEQUEA

CHEQUEA ya que el valor de 3a es mayor la dimension base por lo tanto no existen presiones negativas

PRECIONES ACTUANTES SOBRE EL TERRENO

PRESION MAXIMA

$$q_{max} = \frac{W}{B * (1+6e/B)} = 6.99721355 \quad T/m^2$$

$$q_{max} < V_s$$

$$6.99721355 < 10.89$$

CHEQUEA

CHEQUEA ya que qmax no excede Vs del suelo

PRESION MANIMA

$$q_{min} = \frac{W}{B * (1-6e/B)} = 4.633555681 \quad T/m^2$$

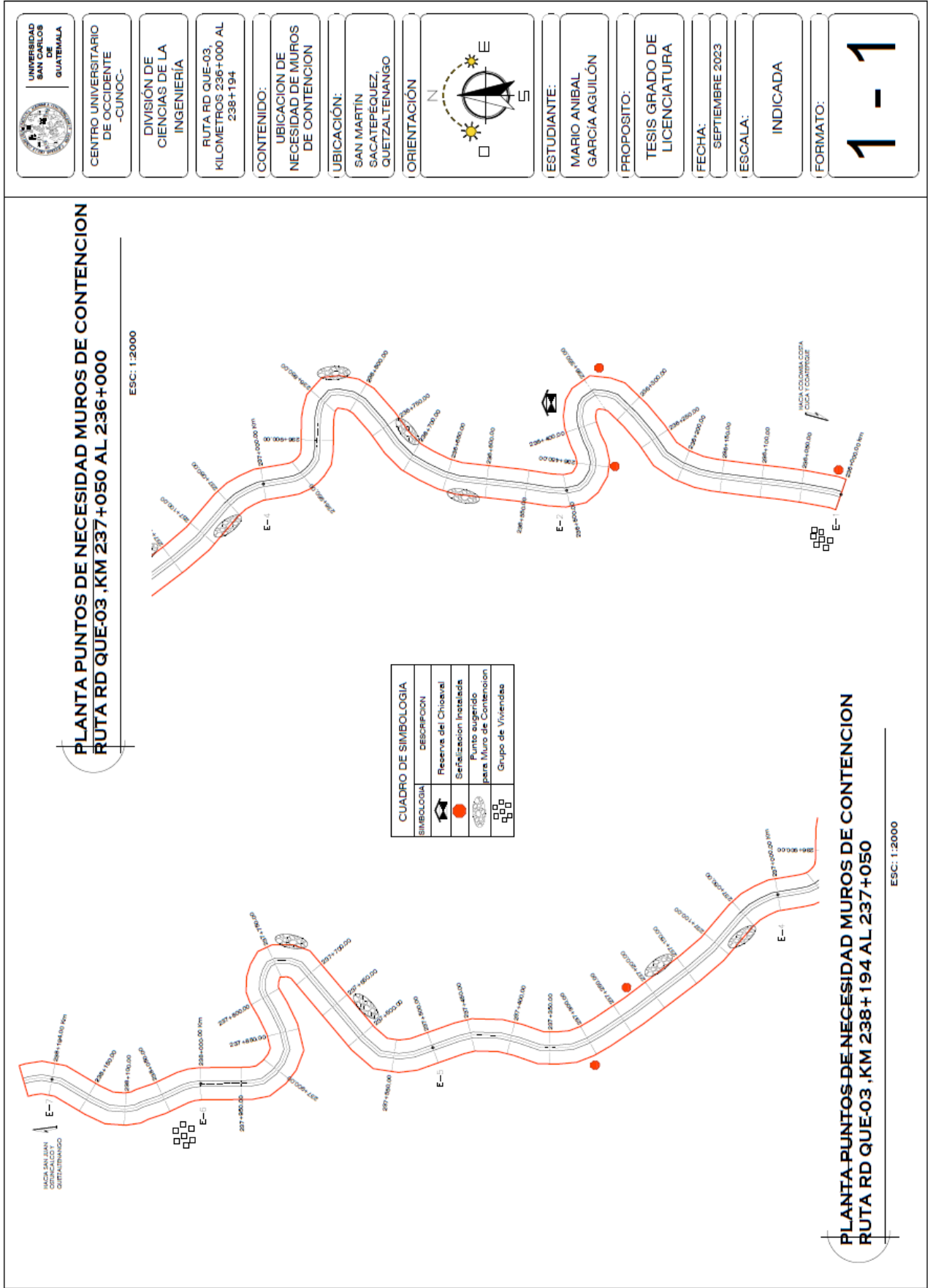
$$q_{min} > 3.134233637$$

$$4.633555681 > 3.134233637$$

CHEQUEA

CHEQUEA ya que qmin es mayor a 0
por lo tanto no existen presiones negativas

Anexo No. 13



Anexo No. 14



Oficio: No 008-2023
CLASIF: D-Puentes

REF: BGMB/jafm

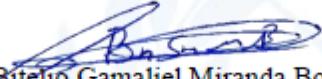
Quetzaltenango, 04 de septiembre de 2023

ING. EDWIN GERARDO LOPEZ BARRIOS
Jefe de ZV5.

El motivo de la presente es para informar que el día viernes 1 de septiembre se hizo la colocación de los 4 rótulos de zona de derrumbe que solicito el joven Mario Aníbal García Aguilón como parte de las medidas de mitigación de riesgo en San Martín Sacatepéquez, dichos letreros fueron colocados de manera estratégica en los kilómetros de estudio, alertando a los vehículos que transitan en el sector; personal de Puentes de la ZV5 hizo la instalación con la ayuda de él joven Mario García Estudiante de Ingeniería de la Universidad de San Carlos y Eduardo de León Personal de COMRED.

Adjunto fotografías.

Atentamente:


Bitelio Gamaliel Miranda Bonilla
ENCARGADO SECCION DE PUENTES ZV5



c.c Archivo Puentes ZV5
c.c Admin ZV5

