



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

**CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE
FEBRERO, GUATEMALA**

Andrea Sofía García de León

Asesorada por la Inga. Carla Deyanira Gordillo Barranco de Marchena

Guatemala, febrero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL
ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDREA SOFÍA GARCÍA DE LEÓN

ASESORADA POR LA INGA. CARLA DEYANIRA GORDILLO BARRANCO DE
MARCHENA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

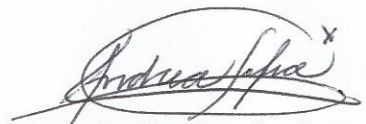
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL
ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 6 de junio de 2016.



Andrea Sofía García de León

Guatemala, 18 de septiembre de 2017

Ingeniero

Carlos Salvador Wong Davi

Director Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Wong:

Por este medio, me dirijo a usted con el propósito de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado "**CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA**", presentado por **Andrea Sofia García de León**, estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, que se identifica con CUI: 2490297230115 y carnet 201314180, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Respetuosamente,

Ing. Carla Gordillo de Marchena
GEOLOGO-MINERO
Colegiado 4992

Ing. Carla Gordillo Barranco de Marchena

Ingeniero Geólogo Minero

Colegiado No. 4,992



Guatemala, 24 de noviembre de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.053.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **008-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Andrea Sofía García de León**.
Identificada con número de carné: **2013-14180**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

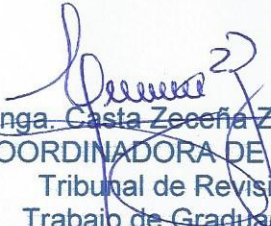
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Geólogo Minero: **Carla Deyanira Gordillo Barranco de Marchena**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


~~Inga. Casta Zeceña Zeceña~~
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería





Ref.EIQ.TG.001.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** del estudiante, **ANDREA SOFÍA GARCÍA DE LEÓN**, titulado: **"CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, febrero 2018

Cc: Archivo
CSWD/karen



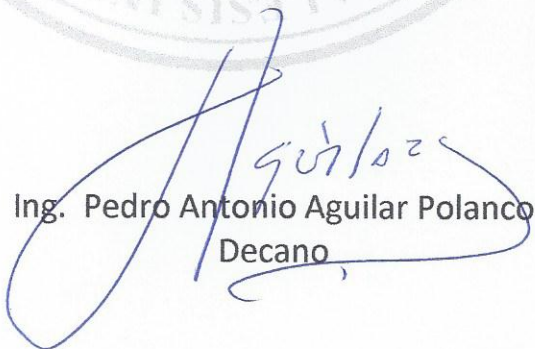
Agencia Costarricense de Acreditación de
Programas de Ingeniería y de Arquitectura





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EN EL SECTOR 3 DEL ASENTAMIENTO ANEXO 4 DE FEBRERO, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Andrea Sofía García de León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente de amor y sabiduría que ha guiado mis pasos a lo largo de mi vida.
- Mis padres** Emilio García y Malvina de León. Por ser mi ejemplo, mi inspiración y mi apoyo en cada momento; por sus consejos, sacrificios y enseñanzas; y por siempre creer en mí.
- Mis hermanos** Emilio, Diana y Karla. Por todos los momentos que hemos compartido, por ser las personas en las que más confío y por ser una motivación para dar lo mejor de mí.
- Mis abuelos** Carlos de León, Delia Méndez, Andrés García y Rosa Fuentes. Por ser las raíces de mi vida, por nunca perder la fe en mí y por su amor, su guía y sus oraciones.
- Mis tías** Delia y Susana de León. Por quererme como una hija, ser incondicionales y apoyar todos mis proyectos.

Guatemala

Porque con sus ríos, lagos, montañas y volcanes, con su flora, su fauna, su historia, su cultura y su gente, me da la inspiración para hacer lo que amo.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segunda casa y formarme con los principios de investigación y extensión universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por enseñarme los conocimientos técnicos necesarios para cumplir mis sueños.
Mi asesora	Inga. Carla Gordillo de Marchena, por ser una guía constante en esta investigación y un ejemplo para la vida.
El grupo de expertos	A los ingenieros Walter Bardales, Omar Flores, Juan Pablo Oliva y David LaPorte, por sus valiosos aportes a esta investigación.
Mi familia	Por acompañarme en este proceso y ser mi apoyo incondicional.
Mis amigos de la facultad	En especial a Beatriz Ortíz, Raúl Jó, Luis Carlos Hernández, Eddy Pérez, Mónica Salazar, Karla Santa María y Juan Carlos Rojas. Por ser mi familia y acompañarme en la misión de hacer una Guatemala mejor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	9
3.1. Definición.....	9
3.2. Delimitación.....	9
4. MARCO TEÓRICO.....	11
4.1. Asentamiento humano.....	11
4.1.1. Características.....	11
4.1.2. Origen de asentamientos humanos en Guatemala.....	13
4.1.3. Estado actual de asentamientos humanos en Guatemala.....	15
4.1.4. Generalidades del asentamiento Anexo 4 de Febrero.....	15
4.2. Desastre	19
4.3. Amenaza	19
4.4. Vulnerabilidad.....	20
4.5. Riesgo	22
4.5.1. Gestión de riesgos.....	23

4.6.	Deslizamientos	24
4.6.1.	Clasificación	26
4.6.2.	Arrastre.....	35
4.6.3.	Desencadenantes	36
4.6.4.	Indicadores de un deslizamiento	39
4.6.5.	Efectos	39
4.6.6.	Medidas de prevención y mitigación	40
4.7.	Sistemas de Información Geográfica	42
4.7.1.	Historia de los SIG	43
4.7.2.	Componentes de los SIG	44
4.7.3.	SIG para la gestión de riesgo	44
4.7.4.	Metodología de SIG para el análisis de deslizamientos.....	46
4.8.	Métodos utilizados.....	47
4.8.1.	Método Mora-Vahrson.....	47
4.8.2.	Método modificado de evaluación de vulnerabilidad	52
5.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	57
5.1.	Variables	57
5.1.1.	Variables independientes	57
5.1.2.	Variable dependiente	57
5.2.	Delimitación de campo de estudio	57
5.3.	Recursos humanos disponibles	58
5.4.	Recursos materiales disponibles.....	58
5.5.	Técnica.....	58
5.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	59
5.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	59
5.8.	Análisis de los resultados.....	59

5.8.1.	Métodos y modelos de datos	59
5.8.2.	Programas utilizados para el análisis de datos.....	60
6.	RESULTADOS	61
6.1.	Visita de campo	61
6.2.	Procesamiento de datos en sistemas de información geográfica.....	72
6.2.1.	Método Mora-Vahrson	72
6.2.2.	Método de evaluación de vulnerabilidad modificado	92
6.2.3.	Evaluación de riesgo de deslizamientos	99
6.2.4.	Opinión de expertos.....	100
7.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	109
7.1.	Tipos de deslizamiento	109
7.2.	Validación de los Sistemas de Información Geográfica.....	111
7.3.	Zonificación de amenaza y vulnerabilidad de deslizamiento en el área de estudio	113
7.4.	Caracterización de riesgo de deslizamientos	115
	CONCLUSIONES	119
	RECOMENDACIONES	121
	BIBLIOGRAFÍA	123
	APÉNDICES	131
	ANEXOS	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero	17
2.	Esquema de un deslizamiento	25
3.	Esquema de derribo.....	27
4.	Esquema de desprendimiento de roca.....	28
5.	Esquema de derrumbe de rotación	30
6.	Esquema de deslizamiento de traslación	31
7.	Esquema de corriente de escombros.....	32
8.	Esquema de corriente de tierra	34
9.	Esquema de un arrastre.....	36
10.	Tipos de medidas de mitigación ante deslizamiento.	42
11.	Recubrimiento de talud y muro de contención	62
12.	Muro de contención de llantas	63
13.	Revestimiento de talud.....	63
14.	Vista desde el punto más alto	64
15.	Ensayo de dilatancia del material del suelo del talud.....	65
16.	Segmento del talud	66
17.	Material de las viviendas	67
18.	Distribución de lotes.....	68
19.	Techo de las viviendas.....	69
20.	Láminas y piso dañados	70
21.	Accesibilidad al asentamiento Anexo 4 de Febrero	71
22.	Curvas de nivel del área de estudio	73
23.	Mapa del índice de pendientes para la ciudad de Guatemala	74

24.	Mapa del índice de pendientes para el área de estudio	75
25.	Litología de la ciudad de Guatemala	76
26.	Mapa del índice de litología para la ciudad de Guatemala	77
27.	Mapa del índice de litología para el área de estudio.....	78
28.	Valores reclasificados de precipitación en ciudad de Guatemala	79
29.	Precipitación media mensual en la ciudad de Guatemala	80
30.	Mapa de la humedad del suelo para la ciudad de Guatemala	81
31.	Mapa de humedad del suelo para el área de estudio	82
32.	Amenaza sísmica en la ciudad de Guatemala.....	83
33.	Parámetro de sismos para la ciudad de Guatemala	84
34.	Parámetro de sismos para el área de estudio	85
35.	Lluvia máxima diaria para período de retorno de 50 años	86
36.	Parámetro de lluvias para la ciudad de Guatemala	87
37.	Parámetro de lluvias para el área de estudio.....	88
38.	Amenaza de deslizamiento para la ciudad de Guatemala	89
39.	Amenaza de deslizamiento para el área de estudio	90
40.	Ubicación de viviendas en el área de estudio.....	91
41.	Viviendas del área de estudio según el nivel de susceptibilidad.....	92
42.	Vulnerabilidad física por ubicación de viviendas en laderas en el área de estudio.....	93
43.	Material de construcción de viviendas del área de estudio.....	94
44.	Vulnerabilidad por resistencia física de las viviendas	95
45.	Vulnerabilidad física en el área de estudio	96
46.	Vulnerabilidad política en el área de estudio	97
47.	Vulnerabilidad ideológica en el área de estudio.....	98
48.	Nivel de vulnerabilidad a deslizamientos en el área de estudio.....	99
49.	Nivel de riesgo de deslizamiento en el área de estudio	100
50.	Calificación del uso de sistemas de información geográfica para la gestión de riesgo	103

51.	Ahorro de tiempo y recursos económicos con el uso de Sistemas de Información Geográfica.....	103
52.	Obtención de datos precisos para toma de decisiones con el uso de Sistemas de Información Geográfica	104
53.	Evaluación de la aplicación del método Mora-Vahrson.....	105
54.	Valoración de la aplicación del método de evaluación de vulnerabilidad modificado.....	105
55.	Valoración de la combinación de los métodos utilizados para estimar el nivel de riesgo de deslizamiento	106

TABLAS

I.	Efectos de los deslizamientos	40
II.	Clasificación y valor del parámetro de pendiente	48
III.	Índice de litología y su valor	48
IV.	Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia	49
V.	Índice de humedad del suelo y los calificativos respectivos	50
VI.	Índice de sismicidad y su valor	50
VII.	Clasificación de los valores de lluvia máxima diaria	51
VIII.	Variables utilizadas para la estimación de la vulnerabilidad.....	52
IX.	Variable de asentamientos humanos en laderas.....	53
X.	Variable de resistencia física de las viviendas	53
XI.	Variable de apoyo municipal y estatal a proyectos comunales	53
XII.	Variable de participación comunal en la fase pre-desastre	54
XIII.	Caracterización de vulnerabilidad.....	55
XIV.	Clasificación del riesgo al deslizamiento	56
XV.	Materiales de las viviendas del asentamiento	67
XVI.	Nivel de susceptibilidad a deslizamientos	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amenaza
Hab/km²	Habitante por kilómetro cuadrado
MM	Intensidad sísmica en escala Mercalli modificada
km	Kilómetro
<	Mayor que
>	Menor que
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
N	Norte
O	Oeste
R	Riesgo
SH	Parámetro de humedad del suelo
SL	Parámetro de litología
DLL	Parámetro de lluvia máxima
SR	Parámetro de pendiente
DS	Parámetro de sismos
%	Porcentaje
V	Vulnerabilidad
VF	Vulnerabilidad física
VD	Vulnerabilidad ideológica
VP	Vulnerabilidad política
V1	Vulnerabilidad por viviendas ubicadas en laderas
V2	Vulnerabilidad por resistencia física de viviendas

GLOSARIO

CGIS	Sistema de Información Geográfica Canadiense.
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
Drenaje	Proceso por el cual se facilita la circulación de la excesiva humedad de un terreno, evitando que se acumule.
Falla	Fractura en el terreno a lo largo de la cual se han desplazado dos bloques.
Fase pre-desastre	Etapa de la gestión de desastres que incluye la prevención, preparación, mitigación y alerta para reducir la vulnerabilidad.
GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
Hardware	Componente físico de una computadora.
Humedad del suelo	Cantidad de agua presente en un volumen de tierra.
Intensidad sísmica	Medida cualitativa de los efectos de un terremoto.

Litología	Parte de la geología que estudia las rocas.
Lluvia máxima	Se refiere a la intensidad máxima de lluvia durante 24 horas.
OEA	Organización de Estados Americanos.
Pendiente	Nivel de inclinación de un terreno.
Período de retorno	Lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada.
QGIS	Sistema de Información Geográfica Quantum.
Resistencia física	Capacidad de una estructura de soportar un esfuerzo.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
Software	Componente intangible de datos y programas de una computadora.
Talud	Superficie inclinada con respecto a la horizontal.
UDEVIPO	Unidad de Vivienda Popular.
ZMG	Zona Metropolitana de Guatemala.

RESUMEN

El proyecto consistió en una caracterización de riesgo de deslizamiento en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, ubicado en la zona 7 de la Ciudad Capital. Se determinó el tipo de deslizamiento al que está expuesta el área. Se validó las herramientas de los sistemas de información geográfica que son útiles para la determinación de riesgo de deslizamiento. Además, se zonificó las áreas de riesgo en un mapa.

Se utilizó un enfoque mixto. Se aplicó el método de Mora-Vahrson y el método modificado de evaluación de vulnerabilidad, utilizando las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica. Se realizó una evaluación del área de estudio describiendo los componentes de riesgo. Para validar estos datos, un grupo de expertos brindó su criterio técnico sobre la correspondencia de los resultados con los componentes de riesgo a deslizamiento en la zona y sobre el uso de sistemas de información geográfica para este propósito.

Se determinó que, en promedio, el área de estudio tiene un nivel de riesgo de deslizamiento alto, siendo el arrastre el tipo de deslizamiento más probable. Al zonificar la vulnerabilidad se obtuvo que el 48,65 % de las viviendas se encuentra en una zona de muy alto riesgo. Las viviendas que presentan un nivel alto de riesgo equivalen a 18,92 %. Un 21,62 % de las viviendas está en una zona de riesgo medio. Únicamente el 10,81 % de las viviendas tienen un nivel del riesgo bajo.

Los expertos, al evaluar la combinación de los métodos utilizados para estimar el nivel de riesgo de deslizamiento, le asignaron una calificación entre

media y buena. Argumentaron que es necesario obtener mayor cobertura de la información y una mejor escala para alcanzar resultados más confiables y precisos, además se deben incorporar las diferentes vulnerabilidades que no fueron incluidas en esta metodología, y todo debe ir acompañado de análisis e interpretación.

OBJETIVOS

General

Evaluar el riesgo de deslizamientos en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, zona 7 de la Ciudad Capital, Guatemala, por medio de sistemas de información geográfica para la prevención de desastres.

Específicos

1. Determinar el tipo de deslizamiento al que está expuesta el área del asentamiento Anexo 4 de Febrero para el análisis de la magnitud de riesgo.
2. Validar las herramientas de los sistemas de información geográfica que son útiles para la determinación de riesgo de deslizamiento de tierras.
3. Zonificar la vulnerabilidad y la amenaza de deslizamiento en el asentamiento para la realización de un mapa de riesgo.

HIPÓTESIS

Las condiciones físicas del área en la que se encuentra el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero provocan alto riesgo de deslizamientos.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, en el territorio de Guatemala se han producido numerosos deslizamientos que han afectado la vida de muchos guatemaltecos en diferentes magnitudes: desde el desplome de las paredes hasta pérdida total de las viviendas, causando lesiones graves en las personas e inclusive muertes. Las consecuencias se magnifican cuando las áreas afectadas son asentamientos urbanos ubicados en zonas marginales, por sus altos niveles de amenaza y vulnerabilidad.

Uno de los propósitos de esta investigación es estudiar la aplicación de los sistemas de información geográfica para detectar riesgo de deslizamiento. A través de estas herramientas se pueden ubicar los puntos de alerta. Esto es útil para ahorrar recursos al momento de diagnosticar las áreas prioritarias. Los sistemas de información geográfica se han utilizado con anterioridad para zonificar diferentes tipos de riesgo, a través de mapas temáticos que integran información sobre amenazas naturales, población e infraestructura.

Se evaluó el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, ubicado en la zona 7 del Municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala. Dado que se ubica en una zona de barranco y que las viviendas no han sido construidas con materiales resistentes, se estimó que el asentamiento tiene un nivel alto de riesgo de deslizamientos. Para comprobarlo se utilizaron el método de Mora-Vahrson y el método modificado de evaluación de vulnerabilidad.

Al relacionar el nivel de amenaza y el nivel de vulnerabilidad se obtuvo el nivel de riesgo a deslizamientos, el cual se zonificó a través de un mapa de

riesgo. Además, al analizar las características físicas del lugar se determinó el tipo de deslizamiento que tiene mayor posibilidad de ocurrencia. Por último, se validaron las herramientas utilizadas a través del juicio de expertos, mismo que determinó la relevancia de la información obtenida.

En el primer capítulo se exponen los estudios previos, tanto nacionales como extranjeros, que han tratado el ámbito temático de esta investigación. En el segundo capítulo se presentan los hechos que justifican la importancia de conocer el riesgo de deslizamiento. En el tercer capítulo se realiza la determinación del problema de investigación. Por su parte, en el cuarto capítulo se muestra la fundamentación teórica que sustenta el estudio en todos los ámbitos temáticos. En el quinto capítulo se describe el diseño metodológico utilizado. Y en el sexto capítulo se presentan los resultados obtenidos, los cuales son discutidos e interpretados en el séptimo capítulo.

1. ANTECEDENTES

Según el censo nacional de población realizado en 2002, la tasa de crecimiento en Guatemala es cercana a 2,5 % anual. En el área urbana esta cifra llega a 3,4 %. Esto explica el hecho de que en el Departamento de Guatemala se concentre más de 22,6 % del total de la población nacional, generando altos niveles de hacinamiento, tanto en la Ciudad Capital como en los municipios de Mixco y Villa Nueva.¹

En el año 2001, el Gobierno de Guatemala “estima que existen aproximadamente 350 asentamientos precarios en el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala. En ellos se aloja una población aproximada de 425 mil personas, es decir cerca de 51 % de la población de la Ciudad de Guatemala. El crecimiento de estas áreas se acelerará, de no cambiar el tipo de desarrollo económico y social del país”.²

Según Yojana Miner, en la Ciudad Capital la creación de los asentamientos humanos se ha dado en tres grandes momentos de la historia³. El primero, después del terremoto del 1976 que causó migraciones hacia la ciudad. El segundo fue el resultado de las migraciones por el enfrentamiento armado interno en la década de 1980. Y, por último, el crecimiento en el

¹ ROMERO ALVARADO, Wilson. *Análisis y propuesta del gasto público en vivienda*. Guatemala: 2002. P.27

² Gobierno de Guatemala. 2001. *Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos*. Guatemala : Presidencia de la República, 2001.

³ MINER FUENTES, Yojana. *Determinación de vulnerabilidades temáticas en cuatro asentamientos humanos del área metropolitana de Guatemala ante la amenaza de deslizamientos*. Guatemala: Escuela de Historia, Universidad de San Carlos, 2002.

desarrollo económico que concentra los empleos en la ciudad, lo que hace que miles de personas migren para buscar trabajo y mejoras en su calidad de vida.

Los resultados de estas migraciones han sido el mal uso del suelo, crecimiento urbano desordenado, principalmente observable en el desarrollo de asentamientos en áreas de deslizamiento y viviendas construidas sin la aplicación de normas que garanticen su calidad. Según el estudio de la Asociación de Investigación y Estudios Sociales, hasta el 2002 los eventos que se registran con más frecuencia en los asentamientos humanos son deslizamientos, lluvias, inundaciones e incendios forestales⁴.

Según Edy Barillas y Maribel Carrera, la Zona Metropolitana de Guatemala (ZMG) está ubicada en un valle de 20 km de ancho y 30 km de largo. En los bordes se encuentran dos sistemas montañosos y en su interior una red de barrancos y laderas. Las altitudes oscilan entre 1 000 y 2 300 msnm. Las pendientes del terreno pueden llegar a ser de hasta 54°. Debido a estas condiciones topográficas, la ocurrencia de deslizamientos es común.

“Adicionalmente, la Zona Metropolitana de Guatemala está ubicada en una zona con altas probabilidades de impacto ante actividad sísmica. De hecho, durante el terremoto de 1976 esta zona experimentó Intensidades de Mercalli de VIII y IX con fuertes daños a edificios, viviendas y la ocurrencia de alrededor de 1 200 deslizamientos”.⁵

⁴ ZELAYA, Irma; KUESTERMANN, Arnoldo; ESCOBAR, Carlos. *Asentamientos precarios en la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Momento. Asíes, 2003, P. 5..

⁵BARILLAS, Edy; CARRERA, Maribel. *Preparación ante desastres en asentamientos precarios de la zona metropolitana de Guatemala*. Centro América. Guatemala: Oxfam. 2009.

Según Andrew Maskrey, desde hace mucho tiempo se ha usado el análisis de riesgos como una herramienta para su gestión.⁶ Los mapas de riesgo, además de brindar información sobre las amenazas, deben proporcionar datos sobre las vidas y propiedades vulnerables. Al hacerlo de esta forma, se pueden relacionar las pérdidas estimadas con los elementos afectados y la amenaza.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden retener datos geográficos e integrarlos con bases de datos en ilimitadas capas temáticas. Además, permiten representar esta información gráficamente. Tienen las ventajas de ser baratos, fáciles de actualizar y de mejor calidad. El uso de un SIG puede ahorrar tiempo y facilitar el análisis de diferentes estrategias respecto al uso de tierra. Existen varias técnicas inductivas para predecir riesgo en las que se construyen índices probabilísticos de riesgo o se combinan capas de elementos de riesgo con capas de amenaza. También hay técnicas deductivas como construcción de patrones históricos.

Según Gloria Muñoz Mendoza, el gobierno de Chile ha recopilado y georreferenciado la información relacionada a emergencias relacionadas con fenómenos naturales en los últimos años para determinar las zonas más sensibles a riesgos y caracterizar los puntos críticos.⁷ Los insumos necesarios son la información base y tablas de atributos cualitativos y cuantitativos. Las etapas que abarca la gestión de riesgos son planificación, evaluación, proyecto y actuación.

“En América Latina, el proyecto piloto de la OEA sobre evaluación de amenazas naturales y mitigación de desastres en América Latina y el Caribe ha sido pionero en la

⁶ MASKREY, Andrew. *Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina*. Lima: La Red, 1998.

⁷ MUÑOZ, Gloria. *Aplicaciones de SIG en Gestión de Riesgos y Emergencias en Infraestructura del MOP*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas, 2012.

promoción del uso del SIG para el análisis de riesgos. (...) Y hasta 1993, se habían implementado más de 200 aplicaciones en 20 países de la región, integrando datos sobre amenazas, recursos naturales, población e infraestructura”.⁸

Según Cees van Westen, Lorena Montoya de Horn y Rubén Vargas Franco,⁹ en el año 2000, un grupo de técnicos de algunos países centroamericanos fueron capacitados en la zonificación de amenazas y riesgos haciendo uso de los SIG. Tenían el compromiso de implementar un proyecto piloto en un área amenazada. Ellos realizaron un análisis de los deslizamientos provocados por el huracán Mitch en Honduras. Según la metodología que utilizaron, primero se georreferencian y digitalizan los datos, se generan tablas de atributos, se colectan datos de campo y se registran. Por último, se digitaliza un mapa de deslizamientos y se hace una evaluación estadística.

El método de Mora-Vahrson utiliza datos geológicos, topográficos y meteorológicos. Esta metodología permite tener una primera sobrevista de los posibles niveles de amenaza de deslizamiento en una región determinada.

Al aplicar esta metodología en el Departamento de Guatemala, “los resultados del análisis sugieren que alrededor del 88 % del área metropolitana estaría catalogada como de baja a moderada amenaza ante deslizamientos. En contraste, el 10 % del área corresponde a la categoría de alta amenaza y el 2 % se catalogaría como zona de muy alta amenaza”¹⁰. Sin embargo, la información digital necesaria es limitada y no es uniforme en calidad, escala y fecha.

⁸ MASKREY, op. cit.

⁹ VAN WESTEN, Cees; MONTOYA DE HORN, Lorena; VARGAS FRANCO, Rubén. *Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras*. Tegucigalpa: UNESCO-RAPCA, 2003.

¹⁰ BARILLAS, Edy. *Estudio hidrogeológico para la implementación de un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos en asentamientos urbanos del departamento de Guatemala, Centro América*. Guatemala: Oxfam GB–ESFRA–ISMUGUA, 2007. 40 p.

Posterior a Mora-Vahrson, deberían ser aplicadas otras metodologías de análisis para obtener resultados de mayor detalle en las áreas de interés.

Según Reyes y otros autores, la vulnerabilidad es el único componente del riesgo que puede ser modificado, por lo que es importante su análisis. Su metodología la aplicó a la microcuenca del río Talgua, en Honduras. En ella evalúa los parámetros críticos que son indicadores de vulnerabilidad a deslizamientos, de acuerdo con las siguientes categorías: físicos, sociales, ecológicos, económicos, políticos, técnicos, ideológicos, culturales, educativos e institucionales. La metodología puede adaptarse a “otras áreas de mayor o menor criticidad de gestión de riesgo para establecer prioridades de acción y asignación de recursos (...). Sin embargo, es importante mencionar que a medida que se incrementa el número de variables, el análisis espacial se vuelve más complejo”.¹¹

¹¹ REYES, Wilmer; et al., *Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras*. CATIE, Revista Recursos Naturales y Ambiente. 2006, núm, 48, p. 103-110.

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la Ciudad Capital y sus alrededores han experimentado aumento en su población. Esto se ha reflejado en un cambio en el uso del suelo de muchas áreas de barranco y ladera. Dichas áreas comenzaron a poblarse a pesar de que se ven amenazadas por todo tipo de deslizamientos. Las laderas de la zona metropolitana de Guatemala pueden ser de 54° de inclinación o mayores. Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Guatemala, las pendientes de terreno mayores a 40° se consideran un factor de riesgo para áreas urbanizadas¹². Por otro lado, Astrid Mues propone como criterio de habitabilidad evitar pendientes mayores a 15 % porque pueden ser susceptibles a deslizamiento¹³.

Entre los eventos recientes, se puede analizar el caso de El Cambray 2, un asentamiento ubicado en Santa Catarina Pinula. En octubre de 2015 toneladas de tierra cayeron sobre aproximadamente 450 viviendas. Esto causó más de 280 muertos y pérdidas millonarias. La teoría de los expertos de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred) consiste en que el asentamiento se encontraba en un área de ladera de más de 60° de inclinación. En ocasiones anteriores ya se habían presentado deslizamientos en la zona, por lo que se construyeron muros de contención y gaviones que desviaron el cauce del río Pinula que pasa por el sector. El agua interaccionó con el suelo del cerro, causando inestabilidad, lo que provocó el derrumbe.

¹² Dirección de Planificación Urbana. *Áreas de conservación natural y de alto riesgo*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala. [Consulta: 6 de enero de 2017]. Disponible en web: http://pot.muniguate.com/docts_soporte/13_areas_de_consevacion.php

¹³ MUES ZEPEDA, Astrid. *Habitabilidad y desarrollo urbano sostenible*. Atizapán de Zaragoza: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2011. P. 64

Eventos como el mencionado han aumentado las alertas de las instituciones como la Unidad de Vivienda Popular (UDEVIPO) y las municipalidades. Antes de legalizar viviendas en asentamientos ubicados en áreas de barranco es necesario un profundo análisis de riesgo de deslizamiento, acompañado de la implementación de las medidas de mitigación necesarias.

Sin embargo, el proceso del análisis de riesgos resulta complicado por la inseguridad social que se vive en los asentamientos, llegando incluso a exponer la integridad física de los evaluadores. Además, es un proceso tardado si se visita cada vivienda y se determinan sus vulnerabilidades.

Por esto es necesaria la utilización de herramientas que permitan realizar el análisis de riesgo a distancia, ahorrando tiempo y recursos materiales. Estas herramientas deben brindar información precisa y gráfica sobre las condiciones físicas de los asentamientos y, a partir de estas, evaluar y zonificar las áreas de riesgo. Los sistemas de información geográfica cumplen estas características, por lo que se deberían aprovechar los beneficios que brindan para agilizar la toma de decisiones y determinar el riesgo con un criterio técnico.

El software que se utilizará es QGIS. Se escogió por ser un software libre, lo que significa que cualquier persona puede tener acceso a él sin ningún costo. Es una herramienta amigable con el usuario y tiene acceso a suficientes bases de datos.

3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Definición

Muchos asentamientos humanos de Guatemala están ubicados en áreas de ladera que se ven amenazadas por deslizamientos de tierra, mismos que causan pérdidas materiales y humanas. Los deslizamientos pueden pronosticarse por medio de una gestión adecuada de riesgos.

En ocasiones, las labores de gestión de riesgos de deslizamientos no pueden realizarse como se requiere porque estos asentamientos son considerados zonas rojas en cuanto a inseguridad social. Por ello es necesario utilizar herramientas que permitan monitorear los riesgos desde puntos ubicados a distancia por medio de información georreferenciada

3.2. Delimitación

El estudio tiene los siguientes alcances y límites:

- Geográfico: se realizó en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, en el sector final de la colonia 4 de Febrero de la zona 7 de Guatemala, en una ladera de barranco.
- Personal: la población que reside en el lugar de la investigación es de bajos recursos económicos.
- Temporal: se realizó durante los meses de noviembre de 2016 a junio de 2017.

- Temático: los temas relevantes que se abordarán en la presente investigación son: asentamientos en Guatemala, riesgos de deslizamientos en los asentamientos y uso de SIG para la gestión de riesgos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Asentamiento humano

Un asentamiento humano es un conglomerado de personas que se establecen en un determinado territorio, considerando además su sistema de convivencia, los elementos naturales y las obras materiales que la integran.

4.1.1. Características

Cada asentamiento tiene atributos propios. Sin embargo, hay algunos que los caracterizan de forma general. Entre estos están su distribución espacial, su organización y su nivel de integración con el sistema. Además, se pueden analizar su estructuración y funcionamiento, la población y recursos laborales y las condiciones de vida.

4.1.1.1. Estructuración y funcionamiento

Esto se refiere a la morfología del sistema y a las relaciones que establecen los asentamientos entre sí, el patrón de poblamiento y la determinación de zonas funcionales. Los asentamientos han surgido por el aumento de la población en las ciudades y por la falta de planes de ordenamiento territorial. Se ubican usualmente en zonas de laderas y barrancos.

La ocupación territorial de las zonas de ladera causa impactos medioambientales como erosión superficial, contaminación local, degradación

de la calidad de los recursos hídricos y de los sistemas receptores. Las mencionadas condiciones ponen en riesgo la habitabilidad de estos lugares.

Usualmente, las organizaciones de los asentamientos son excluidas de la toma de decisiones, generación de propuestas, entre otros procesos de desarrollo.

4.1.1.2. Población y recursos laborales

Los asentamientos se componen por familias que migraron desde el área rural hacia el área urbana y que buscaron dónde instalarse. La mayoría ocupó esos terrenos sin tener un título de propiedad. La mayor parte de esta población es de bajos recursos económicos. No tienen mucha preparación educativa, por lo que sus principales fuentes de trabajo son el subempleo o empleo informal. Además, las condiciones de vida mínimas han provocado que se asocien los asentamientos con organizaciones criminales como maras y narcotráfico. A consecuencia de ello, los índices de violencia de algunos suelen ser altos.

4.1.1.3. Condiciones de vida

Abordan el estudio de las dimensiones relacionadas con actividades sociales como educación, salud, recreación, comunicación, entre otras.

Las condiciones de las viviendas de los asentamientos suelen ser precarias en los inicios y las más elaboradas no respetan las normas de construcción, poniendo en riesgo la habitabilidad. La mayoría de las casas son autoconstruidas y usan materiales inadecuados. Generalmente, no existen calles sino pequeños callejones o graderíos entre viviendas. Esto dificulta la entrada de personal de socorro y ambulancias en caso de emergencia.

“Las condiciones mínimas de vida se limitan a calles construidas con costales rellenos de tierra, drenajes provisionales construidos sin ninguna orientación técnica, las viviendas por lo general constan de paredes y techos de lámina, pedazos de madera y nylon, en pocas ocasiones se encuentran casas construidas de *block*”.¹⁴

En los asentamientos, usualmente no hay espacio suficiente para la instalación de servicios de salud ni escuelas. Los entes del gobierno han apoyado a algunos de estos proyectos habitacionales dándoles servicio de electricidad, agua potable y drenajes. Sin embargo, la mayoría sigue teniendo un acceso limitado a estos servicios.

4.1.2. Origen de asentamientos humanos en Guatemala

A partir de la década de 1940 terrenos públicos y privados comenzaron a ser ocupados. A partir de entonces, la ciudad ha crecido a un ritmo acelerado. Las áreas precarias forman parte de la dinámica de la ciudad y cada vez hay más de ellas.

Los primeros lugares provisionales de vivienda de la actualidad se formaron después del terremoto de 1917. Como consecuencia, surgieron barrios como El Gallito, Gerona y la Palmita. En este contexto se forman las primeras ocupaciones en barrancos alrededor del barrio El Gallito.¹⁵

¹⁴ MINER FUENTES, Yojana Suseth. *Determinación de vulnerabilidades temáticas en cuatro asentamientos humanos del área metropolitana de Guatemala ante la amenaza de deslizamientos. Un aporte a la Antropología Urbana*. Guatemala: Escuela de Historia, Universidad de San Carlos, 2002.

¹⁵ SANTIZO RODRÍGUEZ, Karla Dessiré. *Los acuerdos de paz, asentamientos humanos. Limitaciones y avances*. Guatemala: Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, 2006. 97 p.

Según Yojana Miner¹⁶, en la ciudad capital la creación de los asentamientos humanos se ha dado en tres grandes momentos de la historia:

- Después del terremoto del 1976, que causó migraciones hacia la ciudad. Además, en 126 campamentos provisionales se permitió la apropiación de la tierra.
- Migraciones por el enfrentamiento armado interno en la década de 1980.
- Durante el crecimiento en el desarrollo económico que concentra los empleos en la ciudad, lo que hace que miles de personas migren para buscar trabajo y mejoras en su calidad de vida.

Los resultados de estas migraciones han sido el mal uso del suelo, crecimiento urbano desordenado, principalmente observable en el desarrollo de asentamientos en áreas de deslizamiento y viviendas construidas sin la aplicación de normas que garanticen su calidad. “Las ocupaciones ilegales de áreas de los barrancos que rodean la ciudad y otras áreas desvalorizadas o no aptas para uso habitacional, se convirtió en una de las formas como las familias pobres han logrado sobrevivir en la ciudad”.¹⁷

Este proceso de ocupaciones ilegales trató de frenarse por medio del desalojo o traslado de las personas, pero el gobierno no lo logró, ya sea por su incapacidad de brindar vivienda popular a todas las personas, por las gestiones que realizaron los pobladores para evitarlo o por las circunstancias políticas y sociales de la época.

¹⁶ MINER FUENTES, op. cit.

¹⁷ SANTIZO RODRÍGUEZ, op. cit., p. 97

4.1.3. Estado actual de asentamientos humanos en Guatemala

Guatemala es la capital más grande de Centroamérica. Es una región que se ve afectada por amenazas naturales y antrópicas. La zona metropolitana de Guatemala abarca ocho municipios y es el núcleo de desarrollo económico e industrial del país. Según estimaciones, en ella hay más de 200 asentamientos humanos. Sin embargo, no se cuenta con datos actuales ni precisos sobre las condiciones de estos.

“En el municipio de Guatemala se estableció que la población asciende a 942 348 personas. La inmigración hacia la ciudad capital ha crecido continuamente. Esto se verifica con las diferencias de densidad poblacional, que en 1981 era de 4 099 hab/km², en el 2000 llegaba a 5 518 hab/km² y en 2020 se estima que alcanzará 5 870 hab/km²”.¹⁸

Los asentamientos se han formado por pobladores de la propia ciudad y por otros cuya migración no es reciente. Los nuevos asentamientos se han formado por el empobrecimiento de diversos grupos sociales y por migraciones.¹⁹

4.1.4. Generalidades del asentamiento Anexo 4 de Febrero

El área de interés de este estudio se encuentra en el asentamiento humano Anexo 4 de Febrero, específicamente en el sector 3, cuyas características se presentan a continuación.

¹⁸ MARÍN QUAN, Ronald Arturo. *Prevención de riesgos en asentamientos humanos, ubicados en la ciudad de Guatemala, para la reducción de desastres*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2015. 166 p.

¹⁹SANTIZO RODRÍGUEZ, op. cit., p. 97

4.1.4.1. Nombre del proyecto

El nombre del asentamiento humano es “Anexo 4 de Febrero, sector 3, Municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala”.

4.1.4.2. Fecha de Inicio

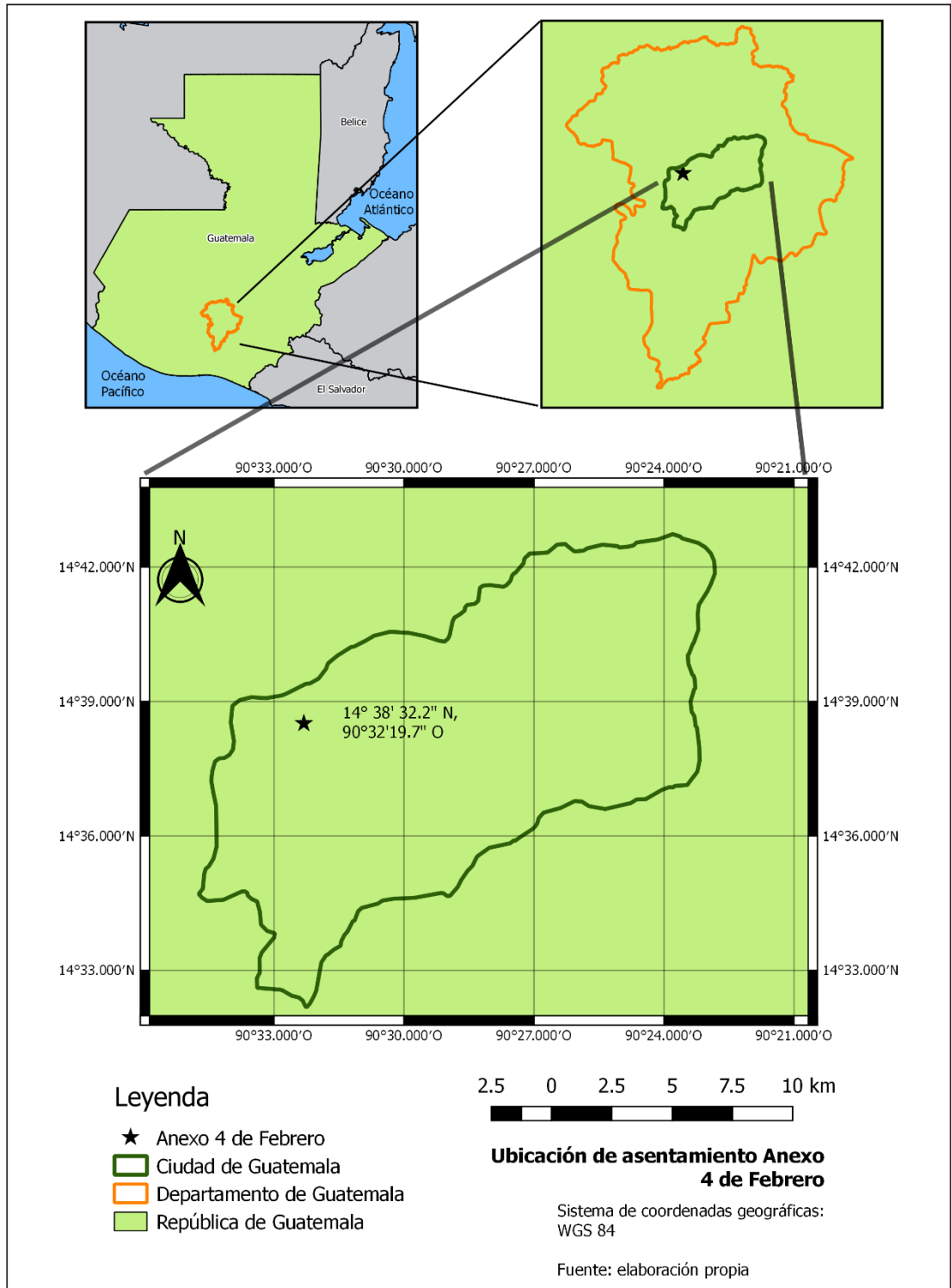
El asentamiento fue establecido hace aproximadamente 20 años, la demanda de vivienda en el sector aumentó con el paso del tiempo. La mayoría de sus habitantes provienen de varias regiones del Departamento de San Marcos, Guatemala.

4.1.4.3. Ubicación

El proyecto de habitabilidad Anexo 4 de febrero, sector 3, se localiza en la latitud 14° 38' 32.2" N y la longitud 90°32'19.7" O. Se encuentra al final de la Colonia 4 de Febrero, zona 7 del Municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala, en la región metropolitana de la República.

Colinda al Noroeste con la Colonia 4 de Febrero, al Este con el sector 2 del mismo asentamiento y al Oeste con el sector 4. Forma parte de la microcuenca del río Las Vacas. La ubicación se muestra en la figura 1:

Figura 1. **Ubicación del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4.4. Uso de los lotes

Todos los lotes son usados como vivienda. En algunos de los lotes se utiliza una pequeña área para tiendas o tortillerías. Otros aprovechan el terreno para la siembra de cultivos comestibles.

4.1.4.5. Accesibilidad

La vía de acceso al área de estudio es desde el parque central, tomando la sexta calle hasta el Anillo Periférico. Se retorna y se ingresa por la colonia 4 de Febrero.

4.1.4.6. Infraestructura y equipamiento urbano

La infraestructura de las viviendas es variada. Algunas están construidas de *block* y otras utilizan materiales como lámina y madera. Dos casas utilizan partes de los taludes de tierra como paredes. Algunas tienen piso de tierra, otras de concreto y otras de tipo cerámico. Tienen gradas fundidas con barandales que fueron construidas por la Municipalidad de Guatemala. Cuentan con sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, aunque con deficiencias.

4.1.4.7. Topografía

La topografía del lugar es escarpada en la parte que se encuentra en la ladera con pendientes superiores al 30 %. En la parte superior del asentamiento la pendiente es menos pronunciada, es decir, el terreno es casi plano con una inclinación de 10 %.

4.2. Desastre

Es el daño originado por una amenaza, dependiendo de las condiciones físicas, sociales, ambientales y/o económicas en las que se da el fenómeno. Es mayor o menor según el nivel de vulnerabilidad. También se define como la interrupción de las funciones de una sociedad por la acción de un fenómeno que causa pérdidas de cualquier tipo, a tal magnitud que no pueden recuperarse usando sus propios recursos.

4.3. Amenaza

Según el Centro Regional de Información en Desastre -CRID-, una amenaza es la “probabilidad de que un fenómeno de origen natural o humano se produzca en un determinado tiempo y espacio”²⁰. Una amenaza es la posibilidad de que ocurra un evento que puede ocasionar daño sobre los elementos de un sistema. Es un factor externo de riesgo. Tiene una magnitud y duración determinadas. Puede causar distintos grados de daños y pérdidas si no se tienen las condiciones para enfrentarlas. Según Ronald Marín, una amenaza se puede descomponer en la probabilidad de ocurrencia y en la gravedad del fenómeno.²¹

Las amenazas se pueden dividir en tres categorías según su origen:

- Naturales: surgen por las dinámicas propias de la naturaleza. Se refieren principalmente a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos que pueden afectar las condiciones de vida del ser humano.

²⁰ GORDILLO, Carla; FLORES, Omar. 2007. *Gestión de desastres*. Guatemala : CESEM, 2007

²¹ MARÍN QUAN, Ronald Arturo. *Prevención de riesgos en asentamientos humanos, ubicados en la ciudad de Guatemala, para la reducción de desastres*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2015. 166 p.

- Socionaturales: son fenómenos que aparentan ser naturales pero que son consecuencia de las acciones humanas en los ecosistemas. Ponen en evidencia el impacto de ciertas prácticas culturales. Las actividades como tala de vegetación, deposición de desechos, contaminación, entre otras, aumentan la posibilidad de que se generen este tipo de amenazas. Algunos ejemplos son: hundimientos de tierra, inundaciones, sequías y deslizamientos.
- Antrópicas: provocadas totalmente por la acción humana sobre la naturaleza o sobre una población. Los principales tipos de amenazas antrópicas son las de origen tecnológico y las de violencia social. El primer tipo se refiere a las que se dan por la transformación de los recursos naturales, incluyendo la contaminación y las fallas en infraestructura. El segundo tipo se refiere tanto a guerras como a la violencia que generan grupos terroristas o tribus urbanas.

4.4. Vulnerabilidad

“La vulnerabilidad se entiende, sobre todo en las ciencias aplicadas (ingeniería, salud, entre otros) como un vector de pocos componentes, generalmente referidos a los aspectos infraestructurales.”²² La vulnerabilidad es una predisposición intrínseca de un objeto, sujeto o sistema a absorber los efectos de los cambios en un ambiente. Se da cuando la habilidad para adaptarse al cambio se ve disminuida.

Al hablar de una comunidad, la vulnerabilidad abarca el conjunto de condiciones que hacen que sea susceptible ante una amenaza de cualquier tipo. El resultado es la falta de respuesta adecuada ante un riesgo específico, lo que tiene como consecuencia un desastre. Según Ronald Marín, para conocer

²² MARÍN QUAN, op. cit.

la probabilidad de que una comunidad quede expuesta a una amenaza, se deben analizar diversas vulnerabilidades específicas que interactúan entre sí y permiten evaluar la vulnerabilidad global.²³ Los tipos de vulnerabilidad son los siguientes:

- Física: abarca los factores como la ubicación de las comunidades, el tipo de materiales y la calidad de las técnicas utilizadas para la construcción de las viviendas y para el aprovechamiento del ambiente.
- Económica: este tipo de vulnerabilidad se relaciona tanto con la ausencia de recursos económicos, como con su mal aprovechamiento para una adecuada gestión de riesgo.
- Social: involucra las formas de interacción entre las personas de una comunidad, el grado de organización y las conductas individuales y colectivas que modifican el nivel de exposición frente a una amenaza.
- Política: corresponde al nivel de autonomía para la toma de decisiones y al nivel de capacidad de las comunidades para crear y presentar propuestas propias para reducir la dependencia con actores externos como el gobierno o la cooperación internacional.
- Técnica: abarca los métodos aplicados para disminuir el riesgo en las zonas amenazadas, así como el equipo y maquinaria para prevención y atención de emergencias.
- Ideológica: se relaciona con las ideas individuales y colectivas sobre fenómenos naturales y cómo afectan a su comunidad. En muchos casos, estas ideas limitan la capacidad de actuar frente a un desastre.
- Cultural: se refiere a cómo las personas construyen su identidad individual y colectiva y al sentido de pertenencia de las personas hacia su comunidad y al ecosistema donde están ubicadas, incluyendo la percepción del desastre.

²³ MARÍN QUAN, op. cit., págs. 36-40.

- Educativa: corresponde a la calidad de educación respecto a la gestión desastres que manejan las comunidades. Esto incluye el dominio de conceptos elementales, métodos y prácticas de vida para poder enfrentarse a situaciones de desastre.
- Ecológica: se relaciona con la manera en que una comunidad explota los elementos de su entorno afectando al ecosistema y a sí misma. Esto da como resultado la degradación ambiental y el debilitamiento de las comunidades.
- Institucional: involucra a los obstáculos formales como la burocracia, politización, rigidez institucional y la corrupción en los servicios públicos, que impiden que una comunidad se adapte y responda rápidamente ante un desastre.

4.5. Riesgo

A la contingencia o probabilidad de que una amenaza se convierta en desastre y se generen daños se le llama riesgo. Es el cálculo matemático del potencial de daños que relaciona la vulnerabilidad (factor interno) con la amenaza (factor externo) en una región y período determinado. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = A * V$$

Donde:

R = riesgo

A = amenaza

V = vulnerabilidad

“Es necesario considerar las fuentes y la naturaleza del riesgo, con el fin de integrar la información relacionada con las vías de exposición y la probabilidad a dicha exposición”.²⁴

4.5.1. Gestión de riesgos

El Ministerio de Salud de Argentina define la gestión de riesgos como “la acción integral para el abordaje de una situación de desastre. Permite determinar los riesgos, intervenir para modificarlos, disminuirlos, eliminarlos o lograr la preparación pertinente”.²⁵ La gestión de riesgos es el conjunto de acciones orientadas a que las comunidades desarrollen las capacidades necesarias para identificar, localizar, eliminar o atenuar las causas de los desastres antes de que estos ocurran. También busca que, si los desastres se producen, la recuperación sea eficiente. Este enfoque busca la identificación y análisis de los factores y causas de los desastres en una localidad, lo cual se hace de manera integral.

Sus objetivos son disminuir el nivel de riesgo potencial, prevenir el desarrollo de una cadena de desastres, mitigar las consecuencias de un desastre y manejar los riesgos preservando la seguridad y sostenibilidad de los procesos de desarrollo de las comunidades. También se toma en cuenta la identificación de las zonas expuestas a un desastre. La inversión de los recursos se destina a la prevención de los riesgos.

²⁴ RAMÍREZ, Mariana. *Red Sanitaria. Metodología para evaluar riesgos a los que está expuesta la población: un abordaje de la Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos*. [en línea] http://189.254.115.246/RevistaRED/portada2006mABRIL/num5_art_15.htm. [Consulta: 20 de abril de 2016.]

²⁵ Ministerio de Salud. *Salud en emergencia y desastres. Conceptos básicos de la gestión de riesgos*. [en línea] <http://www.msal.gov.ar/salud-y-desastres/index.php/informacion-para-comunicadores/conceptos-basicos-de-la-gestion-de-riesgos>. [Consulta: 21 de abril de 2016.]

La gestión de riesgos incluye varias etapas:

- Gestión de Amenazas y Vulnerabilidades: incluye acciones orientadas hacia la prevención, mitigación, preparación y alerta.
- Gestión de la Emergencia o Respuesta Inmediata: acciones llevadas a cabo ante un desastre que buscan salvar vidas y disminuir las pérdidas.
- Gestión de la Rehabilitación y Reconstrucción: es la etapa final, su objetivo es arreglar los daños que produjo el desastre.

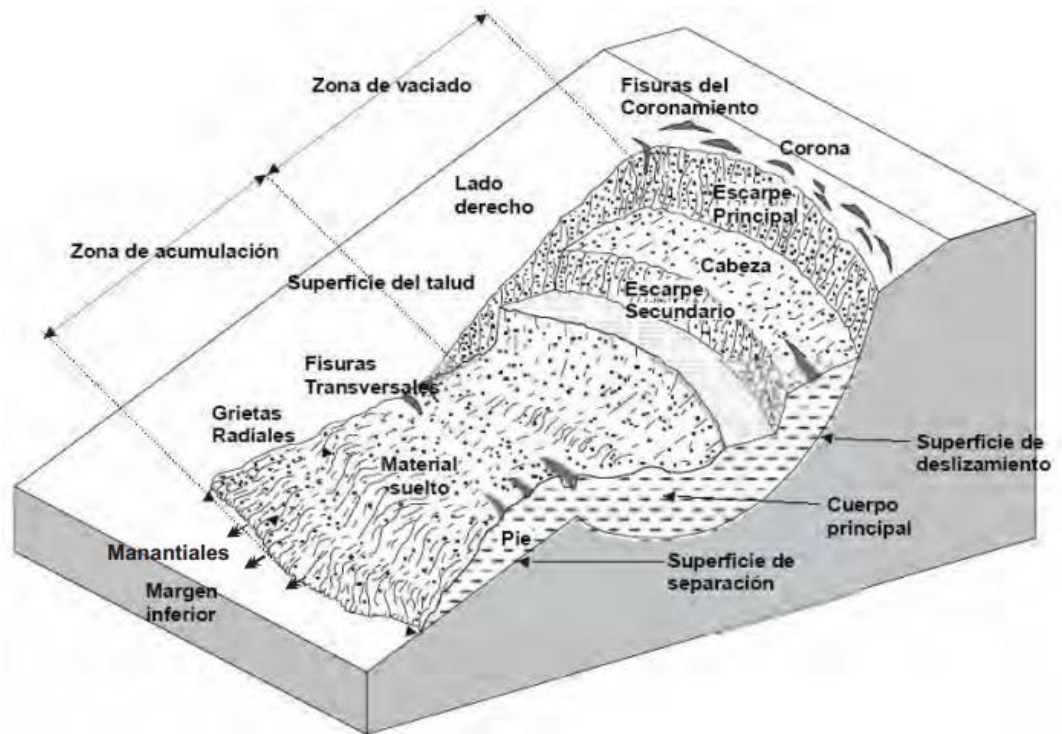
4.6. Deslizamientos

Los deslizamientos son ejemplos de procesos gravitacionales. Los procesos gravitacionales son los movimientos de roca y suelo pendiente abajo por la acción de la gravedad. Estos procesos son propios de las regiones montañosas y de los acantilados, pero también ocurren en barrancos, cortes, taludes, minas, cavernas y canteras.

Es un término general para nombrar el movimiento descendente de rocas, suelo y material orgánico a causa de la gravedad y de las características del terreno o, en ocasiones, por causas antrópicas. “Se presentan como flujos masivos de rocas y suelos que movilizan importantes volúmenes de materiales ladera abajo, primero lentamente, después a gran velocidad. Pueden ocurrir en paredes artificiales cortadas a lo largo de las carreteras”.²⁶

²⁶ ITURRALDE VINENT, Manuel. *Prevención de desastres de origen geológico*. La Habana: Ciencias de la Tierra al Servicio de la Sociedad, 2013. 24 p.

Figura 2. Esquema de un deslizamiento



Fuente: ITURRALDE, Manuel. 2013. *Prevención de desastres de origen geológico*. La Habana : Ciencias de la Tierra al Servicio de la Sociedad, 2013.

Un deslizamiento es un movimiento descendente que ocurre principalmente en una ruptura o falla. Puede ser lento o súbito. En estos movimientos actúan tres tipos de fuerzas: gravedad, rozamiento y cizalla. Los deslizamientos pueden ser:

- Rotacional: la superficie de ruptura en la que tiene lugar es cóncava o curva.
- Traslacional: la superficie de ruptura en la que tiene lugar es ondulada o plana.

4.6.1. Clasificación

Existen diferentes tipos de deslizamientos que se clasifican según el material que se desplome, el tipo de movimiento y la forma en que se interrelacionan los factores que los desencadenan. Es importante conocer las características del tipo específico de deslizamiento que puede amenazar una región para planificar y adoptar las medidas de mitigación adecuadas para disminuir el riesgo. A continuación se detallan los tipos de movimientos más comunes²⁷.

4.6.1.1. Derribo

Es la rotación de una masa de suelo de roca que se desprende de la ladera. A veces es inducido por el peso ejercido por el material que se encuentra pendiente arriba o por filtración de agua o hielo. Puede conformarse de roca, material grueso o material fino. Son frecuentes en tierras volcánicas y a lo largo de cauces de ríos con riberas empinadas. Pueden ser extremadamente destructivos si la velocidad es alta.

- Previsibilidad

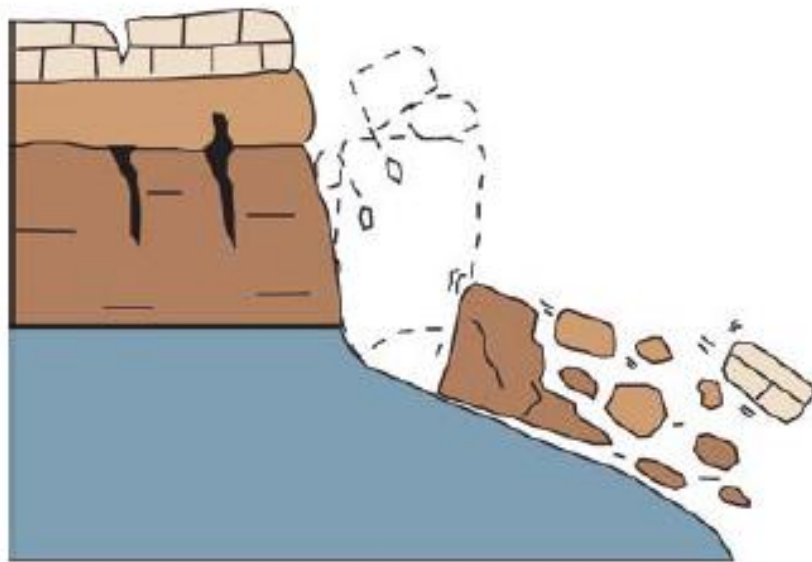
Se pueden aplicar inventarios de incidencia en la región de estudio. Además, se puede aplicar el control de las zonas propensas a caerse por medio de inclinómetros. Se registran los cambios de inclinación de las laderas y se activa un sistema de alerta según el nivel de movimiento.

²⁷ TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. *Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad*. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005., págs. 425-444

- Mitigación

Se puede estabilizar las zonas con rocas propensas a caerse por medio de anclajes mecánicos o pernos. También se debe tomar en cuenta un adecuado drenaje para evitar la inestabilidad del terreno por filtración. En la figura 3 se muestra el esquema de un derribo.

Figura 3. **Esquema de derribo**



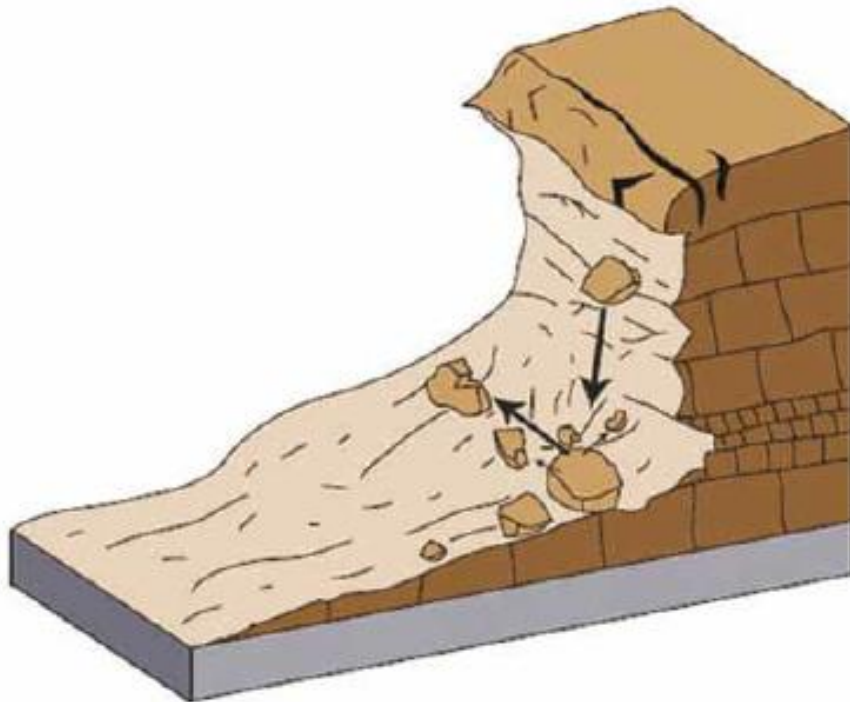
Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

4.6.1.2. Desprendimientos de roca

Es un deslizamiento descendente de masas de rocas o material no consolidado a lo largo de una ladera empinada o acantilado. Es una caída libre rápida. Son de los eventos más rápidos y destructivos. Se producen cuando las rocas se sueltan y se deslizan pendiente abajo. Una de las condiciones para

que sucedan es un ambiente geológico con estratos rocosos inclinados, otra son las diaclasas y fracturas paralelas a la pendiente. En la figura 4 se observa un ejemplo de este tipo de movimiento.

Figura 4. **Esquema de desprendimiento de roca**



Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

Uno de los desencadenantes puede ser el socavamiento de la pendiente por intemperización o arroyos. Estos también pueden ser desencadenados por terremotos, excavaciones, construcciones y vibraciones intensas. Un evento de este tipo puede ser potencialmente mortal y puede causar daños a la infraestructura.

- Previsibilidad

Se puede prever por medio de la zonificación de caídas de rocas. Los indicadores incluyen terrenos con rocas salientes o fracturadas y pendientes pronunciadas.

- Mitigación

Se puede utilizar cubiertas de laderas, muros de contención que impidan la rodadura, eliminación de la fuente con explosivos en las zonas de peligro y remoción de rocas. Es recomendable colocar carteles de advertencia.

4.6.1.3. Derrumbe rotacional

En este tipo de deslizamiento la superficie de rotura se curva hacia arriba y el movimiento es de rotación alrededor de un eje. Son asociados con pendientes que varían entre 20 y 40 grados. Son desencadenados por lluvias intensas o terremotos. También por el aumento del nivel de los cuerpos de agua que causan erosión en la base de la ladera. El movimiento puede ser lento y no mortal, pero puede ser perjudicial para estructuras y carreteras. Se muestra un ejemplo de este tipo en la figura 5.

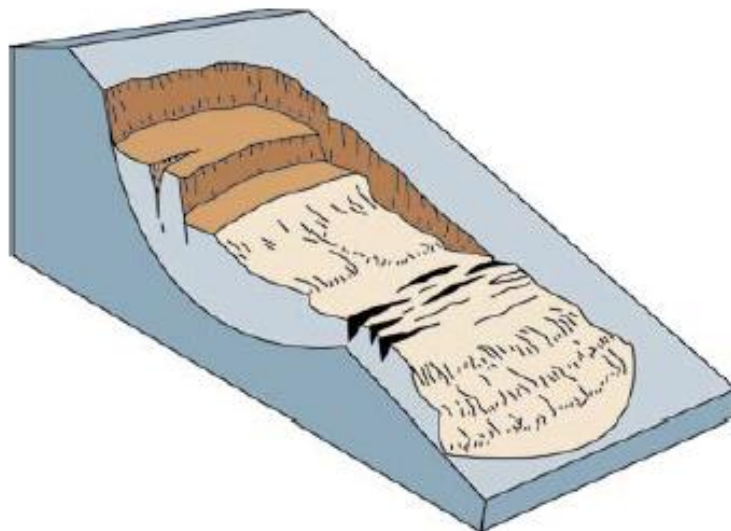
- Previsibilidad

Las grietas en las cimas de las laderas son buenos indicadores. Se debe tomar en cuenta que los deslizamientos históricos se pueden reactivar.

- Mitigación

Se puede reducir el riesgo por medio del control instrumental para la detección del movimiento y de una clasificación adecuada y el control de las pendientes. La construcción de muros de contención puede retrasar o desviar el deslizamiento, aunque pueden ser rebasados dependiendo de la magnitud del derrumbe.

Figura 5. **Esquema de derrumbe de rotación**



Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

4.6.1.4. Derrumbe de traslación

Es uno de los tipos más comunes de deslizamiento. El movimiento se da hacia afuera a lo largo de superficies planas. El material del deslizamiento puede ser una mezcla de suelos sueltos y placas de rocas. Puede avanzar distancias considerables dependiendo de la inclinación del terreno. La velocidad

inicialmente es lenta pero después aumenta. Sus principales desencadenantes son las lluvias intensas, inundaciones, fugas en la tubería, terremotos o perturbaciones antropogénicas. Pueden causar daños a propiedades y comunicaciones, inundaciones por formar presas en ríos, e incluso la muerte.

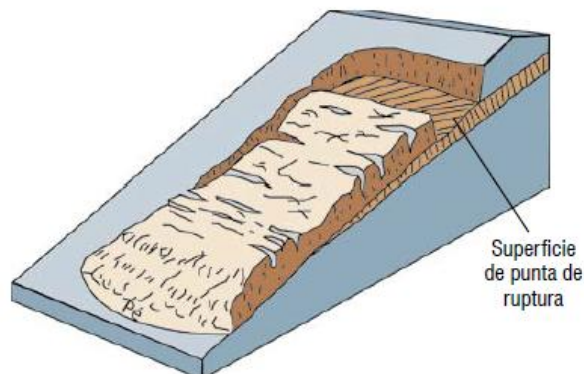
- Previsibilidad

Hay una alta probabilidad de que eventos de este tipo se repitan en zonas donde ya han ocurrido, especialmente las que están propensas a terremotos fuertes. Las grietas en la ladera pueden servir como indicador.

- Mitigación

Como medida preventiva se requiere un buen drenaje. Como medidas correctivas se pueden utilizar la nivelación, anclajes en las rocas, muros de contención. Este tipo de deslizamiento es difícil estabilizarlo permanentemente.

Figura 6. **Esquema de deslizamiento de traslación**

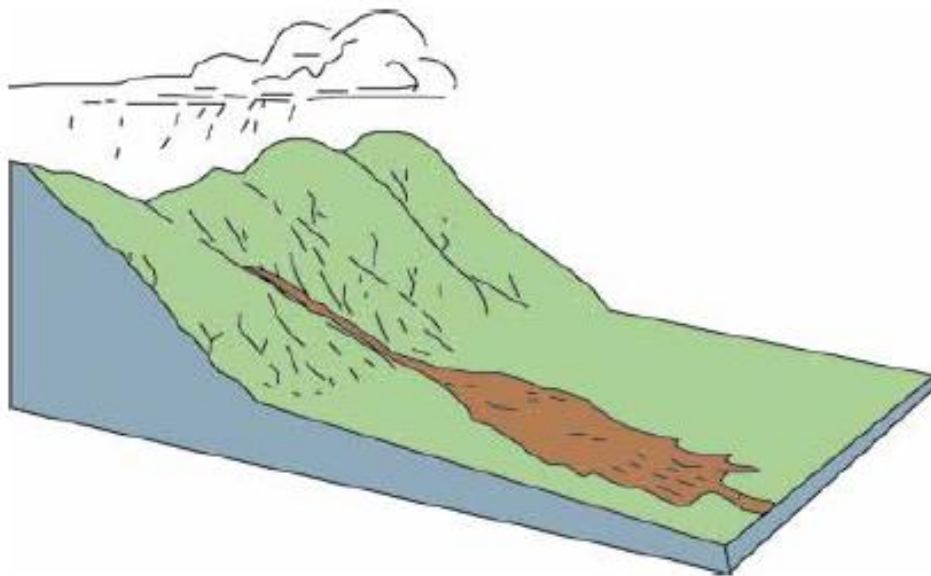


Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

4.6.1.5. Corriente de escombros

Es un movimiento espacialmente continuo y rápido en el que una mezcla de agua, tierra, roca y materia orgánica fluye ladera abajo. Estas corrientes son también conocidas como deslaves. Se producen en barrancos muy empinados, principalmente cuando se ha quitado la vegetación del lugar, por incendios forestales o tala. Son comunes en regiones volcánicas. Pueden ser mortales por su velocidad y tamaño, y mover rocas de gran tamaño e incluso casas. Suelen ser causadas por un flujo intenso de agua superficial que erosiona y moviliza la tierra o las rocas. En la figura 7 se muestra un ejemplo de una corriente de escombros.

Figura 7. Esquema de corriente de escombros



Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

- Previsibilidad

Se pueden elaborar mapas de los peligros potenciales de las corrientes de escombros. Pueden ser frecuentes en regiones de pendientes fuertes y lluvias torrenciales, especialmente donde se ha eliminado la vegetación recientemente.

- Mitigación

Por lo general no se pueden evitar, por lo que no se deben construir casas en barrancos con historial de corrientes de escombros, que sean propensos por la incidencia de incendios forestales o por el tipo de suelo, entre otros factores. Se pueden crear cuencas de arrastre para desviar nuevas corrientes de las estructuras. Se puede detectar los niveles de lluvia a los que ocurren las corrientes para activar un sistema de alerta. El mejor método para evitar pérdidas es la evacuación, la prevención y el reasentamiento.

4.6.1.6. Corrientes de tierra

La masa de suelo se mueve como una corriente viscosa con deformaciones internas. Estas corrientes pueden variar desde muy lentas a rápidas y catastróficas. Están formadas principalmente de arcillas o limos ubicados sobre un manto rocoso. Los desencadenantes son la saturación del suelo por precipitación intensa o prolongada, la erosión de los cauces en la parte inferior de las pendientes, la excavación y actividades de construcción, terremotos o vibraciones antrópicas. Pueden dañar propiedades e infraestructura, también generar sedimentación y presas en ríos que pueden desencadenar inundaciones aguas arriba. En la figura 8 se muestra un esquema de las corrientes de tierra.

Figura 8. **Esquema de corriente de tierra**



Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

- Previsibilidad

El mejor indicador es la ocurrencia de este tipo de movimiento en el pasado. También se puede zonificar la presencia de arcilla con probabilidades de licuefacción. Las grietas en la parte superior de la ladera son un indicador.

- Mitigación

Se pueden aplicar medidas correctivas como mejorar el drenaje, la clasificación de las laderas y la protección de la base del talud de erosión o excavación.

4.6.2. Arrastre

Probablemente es el tipo más común de deslizamiento. Arrastre es el nombre común de un deslizamiento de tierras insensiblemente lento y constante. Se produce cuando la tensión cortante interna no es suficiente para provocar una falla, pero sí para causar deformación. Algunas de las causas son intemperización química o física, fugas en las tuberías, drenaje deficiente, tipos de construcción desestabilizantes. Se dan tres tipos de movimiento:

- De temporada: el movimiento se da dentro de la profundidad del suelo afectado por los cambios estacionales en la humedad del suelo y temperatura.
- Continuo: el esfuerzo cortante supera la resistencia continua del material.
- Progresivo: las pendientes alcanzan el punto de falla por otros tipos de movimientos.

El arrastre puede abrir lentamente las tuberías, los edificios, las carreteras, y puede llevar a fallas más drásticas del suelo que son más destructivas y más rápidas. A veces no se reconoce cuando se evalúa la idoneidad de un sitio para una obra de construcción. La figura 9 muestra un esquema de un arrastre.

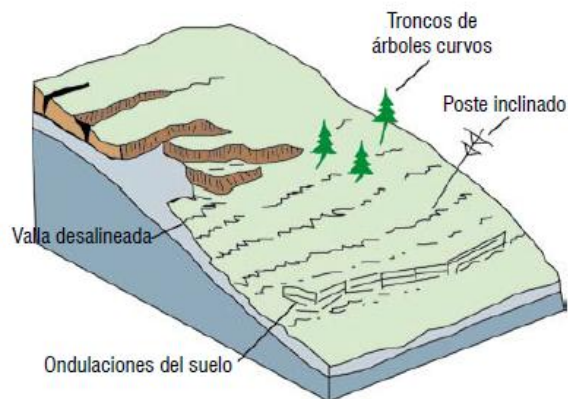
- Previsibilidad

El principal indicador es la presencia de árboles curvos, vallas o muros de contención doblados, cercas o postes inclinados. La velocidad de arrastre se puede medir con inclinómetros.

- Mitigación

La medida más común es asegurar un drenaje adecuado del agua, especialmente para el tipo estacional. Se puede intentar modificar las pendientes o construir muros de contención.

Figura 9. **Esquema de un arrastre**



Fuente: TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005, págs. 425-444

4.6.3. **Desencadenantes**

Para romper la inercia e iniciar los movimientos descendentes existen diversos factores que desatan la inestabilidad de la pendiente. Varios procesos actúan sobre los suelos para debilitar el material de la ladera y hacerlos susceptibles a la fuerza de gravedad, pero hasta que no ocurre un evento que rompa la estabilidad, no se produce el deslizamiento. A estos acontecimientos se les denomina desencadenantes.

4.6.3.1. Saturación del suelo

En algunas ocasiones el desencadenante de un proceso gravitacional es un período de fuertes lluvias. Este es el caso del huracán Mitch en Centroamérica en 1998.

Las partículas de suelo tienen poros entre ellas que pueden llenarse de agua, disminuyendo la cohesión. Esto facilita que se deslice una sobre otra. “La saturación reduce la resistencia interna de los materiales, los cuales son puestos fácilmente en movimiento por la fuerza de gravedad”.²⁸ Por otro lado, el peso del agua se suma al peso del material. Esto puede ser suficiente para que el suelo deslice.

4.6.3.2. Exceso de inclinación

Un exceso de pendiente puede tener causas naturales y antropogénicas que convierten las laderas en zonas principalmente vulnerables a deslizamientos. Un ángulo demasiado grande produce inestabilidad y movimientos de masa en suelos cohesivos y rocas. Un ángulo adecuado puede estar entre 25 y 40 grados, dependiendo del material del suelo, la forma y el tamaño de las partículas. El ángulo de reposo es el ángulo más empinado al cual las partículas granulares se mantienen estables. “Los granos mayores y más angulosos mantienen las pendientes más empinadas. Si se aumenta el ángulo, los derrubios de roca se ajustarán desplazándose pendiente abajo”.²⁹

Las características geométricas de las laderas pueden sobrepasar los límites de estabilidad generando muchos movimientos de laderas. Sin embargo,

²⁸ TARBUCK y LUTGENS, op. cit.

²⁹ *Ibíd.*

el ángulo de reposo depende del tipo de material por el que están formadas las laderas.

4.6.3.3. Eliminación de la vegetación

Una de las funciones de la vegetación es proteger los suelos contra la erosión, especialmente la producida por las gotas de lluvia. También contribuyen a la estabilidad de las laderas por medio de las raíces que sujetan el terreno. Cuando se eliminan las plantas, el suelo se vuelve seco y tiende a descender por las pendientes empinadas. “Cuando se elimina el anclaje de la vegetación, como consecuencia de los incendios forestales o de la actividad del hombre (tala de árboles para agricultura o urbanización), los materiales de superficie suelen desplazarse pendiente abajo”.³⁰

4.6.3.4. Vibraciones del suelo

Los movimientos sísmicos suelen ser los desencadenantes de deslizamientos más importantes. Las vibraciones provocadas por los terremotos y sus réplicas pueden desplazar grandes volúmenes de rocas y material no consolidado. Estas vibraciones también pueden ser causadas por el uso de maquinaria pesada en los taludes o por explosiones realizadas en la construcción de carreteras o en minas.

³⁰ *Ibíd.*

4.6.4. Indicadores de un deslizamiento

Existen algunas características generales que pueden tener varias causas, pueden ser útiles para detectar que en un área existe una alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. Entre estas se encuentran³¹:

- Manantiales, filtraciones o suelos húmedos en zonas que antes eran secas.
- Grietas en la tierra de la parte alta de la ladera.
- El suelo se aleja de los cimientos.
- Aceras o losas se alejan de las estructuras.
- Protuberancias o cambios de elevación del suelo.
- Inclinación de postes, árboles, muros de contención, cercas, etc.
- Inclinación excesiva o grietas en pisos de concreto o cimientos.
- Atascamiento de puertas y ventanas.
- Chirridos o crepitaciones en edificios o árboles.
- Carreteras o caminos hundidos.
- Rotura de tuberías de agua u otros servicios subterráneos.

4.6.5. Efectos

Los deslizamientos pueden tener diversos efectos nocivos en los factores del entorno, como se indica en la Tabla I.

³¹ HIGHLAND, L.; BOBROWSKY, P. *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 2008, p. 129.

Tabla I. **Efectos de los deslizamientos**

Factores	Efectos
Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Represamiento de ríos. • Desviaciones de cauces. • Contaminación de aguas. • Invasión de aguas en zonas cercanas. • Pérdida de zonas de cultivo y bosques.
Infraestructura y vivienda	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de vivienda e instalaciones industriales. • Destrucción y daños en las vías de comunicación. • Cambios en las pendientes afectan los flujos de aguas en tuberías y alcantarillado. • Grietas en edificios. • Pérdida de asentamiento en muros y cimientos.
Humano	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de vidas humanas. • Lesiones. • Riesgo de enfermedades por descomposición de cadáveres.

Fuente: IES Albert Einstein. *Riesgos geológicos externos causados por movimientos del terreno*. [en línea] http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS_DE_LADERAS.pdf. [Consultado el: 24 de abril de 2016.]

4.6.6. Medidas de prevención y mitigación

Estas medidas buscan la reducción de riesgos. La mejor forma de abordar el riesgo de deslizamiento es evitar construir en laderas escarpadas. Pero esto no siempre es posible, por lo que se puede regular el urbanismo para que las construcciones no desestabilicen la ladera. Se pueden usar controles físicos con los que se busca mejorar la geometría de las laderas y las condiciones de drenaje de las aguas de escorrentía. De esta forma se reduce la capacidad de infiltración y la erosión. Algunas de las medidas se enumeran a continuación.

4.6.6.1. Medidas de prevención

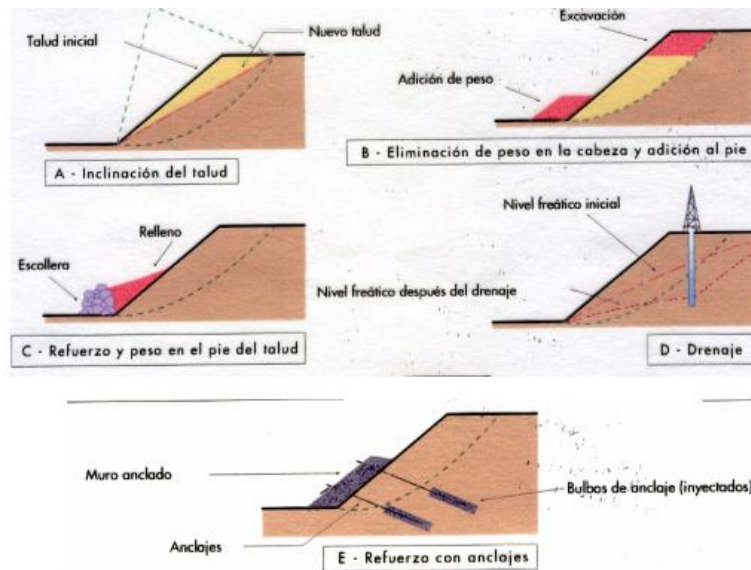
- Evitar construir en laderas
- Observación de huellas, incisiones o grietas en el terreno
- Elaboración de mapas de riesgo
- Realización de estudios geológicos
- Realización de ordenamiento territorial

4.6.6.2. Medidas de mitigación

A continuación se listan algunas medidas de mitigación y en la figura 10 se muestran algunas medidas de control de taludes:

- Modificar la inclinación de los taludes.
- Eliminar el peso en la parte alta de las laderas.
- Reforestar.
- Construir obras de contención.
- Estabilización de taludes.
- Reforzar con anclajes, muros, redes, mallas o pilotes.
- Encauzar agua lejos de la superficie de deslizamiento.
- Construir drenajes para recoger la escorrentía superficial y de las aguas subterráneas.
- Reforzar el pie de los taludes.

Figura 10. Tipos de medidas de mitigación ante deslizamiento



Fuente: IES Albert Einstein. *Riesgos geológicos externos causados por movimientos del terreno*. [en línea] http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS_DE_LADERAS.pdf. [Consultado el: 24 de abril de 2016.]

4.7. Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que tiene la función de leer, editar, almacenar y analizar datos espaciales, y a partir de esta información generar resultados como informes o gráficos. “Un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos”.³² Es un sistema de base de datos que tiene las herramientas para trabajar con datos georreferenciados ya sean vectoriales o raster. Es un integrador de información, de tecnologías y de personas.

³² OLAYA, Víctor. *Sistemas de Información Geográfica*. 2010.

4.7.1. Historia de los SIG

Los SIG se han popularizado y han llegado a tener un gran alcance. En 1959, Waldo Tobler realizó la primera experiencia relativa a los SIG por medio de la definición de los principios de un sistema que tenía el objetivo de adaptar el campo de la cartografía en las computadoras.

El primer Sistema de Información Geográfica fue desarrollado a principios de la década de 1930 en Canadá por Roger Tomlinson. Fue llamado CGIS (Canadian Geographical Information Systems). Su objeto era el manejo de los datos del inventario geográfico y su análisis para la gestión del territorio rural.

En 1964, se desarrolló SYMAP en Harvard Laboratory. Esta aplicación permitía la entrada de información con forma de puntos, líneas o áreas, que corresponde a lo que se conoce actualmente como información vectorial. En 1969 se desarrolla el programa GRID que almacenaba la información con forma de cuadrículas, dando inicio a la información ráster. Se genera un área de conocimiento con gran futuro y se crean aplicaciones más amigables con los usuarios para que puedan generalizarse. Poco a poco, los paquetes SIG comienzan a distribuirse en toda la comunidad cartográfica.

“A partir de este punto, el campo de los SIG recorre sucesivas etapas hasta nuestros días, evolucionando muy rápidamente ante la influencia de numerosos factores externos.”³³ Hoy en día esta herramienta ha facilitado el manejo de la información y simplifica la toma de decisiones en diversos campos de la ciencia.

³³ OLAYA, op. cit.

4.7.2. Componentes de los SIG

Los elementos básicos que componen un SIG son:

- Datos: son la materia prima de un SIG, contienen la información geográfica. Pueden ser vectores, ráster o matrices. También pueden incluir información sobre el sistema de coordenadas.
- Procesos: formulaciones o métodos que se aplican a los datos para obtener resultados e información nueva y analizarla.
- Visualización: métodos para la representación de datos.
- Software: aplicación informática que trabaje los datos y aplique métodos.
- Hardware: equipo físico para ejecutar el software.
- Personas: encargadas de utilizar el software, ingresar los datos y aplicar los procesos.

4.7.3. SIG para la gestión de riesgo

Las tecnologías de la información geográfica están presentes en todas las fases de la gestión de riesgos. El uso de la información geográfica y las geotecnologías (teledetección, SIG, GNSS, cartografía) juegan un papel fundamental en las diversas fases de la gestión de riesgos:

- Prevención, planificación y preparación
- Mitigación
- Recuperación temprana³⁴

³⁴ Nosolosig. *El uso de tecnologías de la información geográfica en la gestión de riesgos naturales*. [en línea] <http://www.nosolosig.com/articulos/259-el-uso-de-tecnologias-de-la-informacion-geografica-en-la-gestion-de-riesgos-naturales>. [Consulta: 24 de abril de 2016.]

En la mayoría de los casos, la gestión de riesgos está relacionada con fenómenos en los que es importante su disposición espacial y su ubicación geográfica. Este tipo de análisis se realiza cada vez más frecuentemente con la ayuda de los SIG. Por medio de estos se puede modelar con mayor detalle y precisión la información.

Estos métodos se enfocan en la prevención, que busca el análisis general de los eventos de riesgo en un área determinada, y en la modelización, que busca reproducir el comportamiento de un fenómeno causante de riesgo. Se puede evaluar cualquier tipo de riesgos naturales por medio de los SIG, si se tiene la información base para realizar el análisis. Los principales riesgos estudiados mediante estos métodos son:

- Climáticos: se analizan riesgos como sequías, precipitaciones o huracanes. Implica estudiar los patrones del clima. Es útil para el análisis de otros tipos de riesgos.
- Hidrológicos: en ese tipo de análisis el componente espacial es importante. El más usado es la delimitación de zonas de inundación. También incluye los riesgos de aludes y de desplazamiento de contaminantes.
- Incendios: los SIG simplifican la obtención de modelos de zonas de propagación de fuego. Brindan tanto datos numéricos como patrones espaciales de los incendios.
- Deslizamientos: se producen por las condiciones del terreno. Las características más importantes para este tipo de análisis son el tipo de suelo y su contenido de humedad, las cuales pueden recogerse en capas de datos y analizarse por medio de SIG. Se pueden calcular nuevas capas de tipo cualitativo que indiquen el riesgo de deslizamientos.

4.7.4. Metodología de SIG para el análisis de deslizamientos

Existen diversas metodologías para la zonificación de deslizamientos. Entre ellas están el método heurístico y el estadístico.

4.7.4.1. Método heurístico

Se puede realizar por medio del análisis geomorfológico o por la combinación cualitativa de mapas. En este método se clasifica la susceptibilidad según el criterio del experto. La información base para determinar el grado de amenaza es la cartografía de los deslizamientos previos y el contexto geomorfológico.

4.7.4.1.1. Análisis geomorfológico

El experto determina el grado de susceptibilidad en el campo. El proceso se basa en su experiencia, por lo que los criterios que utiliza son difíciles de definir. También se conoce como método de cartografía directa.

4.7.4.1.2. 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.

4.7.4.2. Enfoque estadístico

Este enfoque está basado en la relación entre cada factor y los registros históricos de la distribución de deslizamientos. Es más objetivo, por medio de la utilización de estadística. Los resultados dependerán de la calidad y cantidad de información base recolectada.

4.8. Métodos utilizados

4.8.1. Método Mora-Vahrson

“El método Mora-Vahrson es de tipo heurístico, específicamente una combinación cualitativa de mapas”.³⁵ En este método se combinan varios factores y parámetros, considerando que un deslizamiento ocurre en una ladera con una litología específica, determinado grado de humedad y cierta pendiente, cuando se da un desencadenante. Esto provoca un nivel de susceptibilidad. Los desencadenantes pueden ser sismos o lluvias intensas.

- Parámetro de pendientes

Se usa un mapa de pendientes según el método Mora-Vahrson-Mora. Se mide en relación con la horizontal, en grados sexagesimales. La clasificación según el método de Mora-Vahrson se observa en la tabla II:

³⁵ SEGURA, Gustavo; BADILLA, Elena; OBANDO, Luis. *Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba*. San Pedro de Montes de Oca : SciELO, diciembre de 2011. [en línea] http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242011000200006 [Consulta: 18 de abril de 2016.]

Tabla II. **Clasificación y valor del parámetro de pendiente**

Pendiente en grados	Calificativo	Valor
0-4.29	Muy bajo	0
4.30-9.93	Bajo	1
9.94-16.70	Moderado	2
16.71-26.57	Mediano	3
26.58-38.66	Alto	4
>38.66	Muy alto	5

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

- **Parámetro de litología**

Es el valor de área por litología afectada, con respecto a la extensión total de cada formación. Se mide en densidad de deslizamientos por unidad litológica. El método ha clasificado el índice según el tipo de litología, incluyendo las características hidráulicas, físicas y mecánicas. En la tabla III se muestra la clasificación teórica para este parámetro.

Tabla III. **Índice de litología y su valor**

Litología	Calificativo	Valor de parámetro
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas-mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, elevada resistencia al corte, fisuras sanas, sin relleno.	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas. Rocas intrusivas, calizas duras.	Moderado	2

Características físico-mecánicas: resistencia al corte media a elevada.		
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, igninbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas. Niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se influyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados.	Muy alto	5

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

- Parámetro de humedad del suelo

Se evalúan los datos de precipitación promedio mensual registrados en las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. Se asigna un valor según el dato de precipitación, como se puede observar en la tabla IV.

Tabla IV. **Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia**

Promedio de precipitación mensual (mm)	Valor asignado
< 125	0
125-250	1
>250	2

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

Se suman los valores de cada mes y se genera un mapa con el total. A continuación se valora el parámetro de humedad del suelo según la tabla V.

Tabla V. Índice de humedad del suelo y los calificativos respectivos

Suma de valores asignados cada mes	Calificativo	Valor del parámetro
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

- Parámetro de sismo

Uno de los desencadenantes de deslizamientos es la actividad sísmica. Esta se interpreta por medio de las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada (MM), la cual evalúa la intensidad de los eventos que han afectado la zona de estudio en los últimos años. En la tabla VI se presenta la clasificación utilizada para el método.

Tabla VI. Índice de sismicidad y su valor

MM	Calificativo	Valor de Parámetro
II	Leve	1
IV	Muy bajo	2
V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VII	Elevado	6
IX	Fuerte	7
X	Bastante fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

- Parámetro de lluvias

Otro de los parámetros que pueden ser factores de disparo de deslizamiento es la precipitación. La valoración de este parámetro se realizó mediante el cálculo de la lluvia máxima diaria para un determinado período de retorno, como puede ser 50 años. Esta clasificación se observa en la tabla VII.

Tabla VII. **Clasificación de los valores de lluvia máxima diaria**

Precipitación promedio (mm)	Calificativo	Valor
<50	Muy bajo	1
51-90	Bajo	2
91-130	Medio	3
131-175	Alto	4
>175	Muy alto	5

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.

Por último, se calcula el valor de amenaza (A) con la ecuación 1, en la cual se relacionan los parámetros condicionantes y desencadenantes.

$$A = (SL * SH * SR) * (DLL + DS) \quad (1)$$

Donde:

A: valor del parámetro de amenaza o susceptibilidad

SL: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

SH: valor del parámetro de humedad del terreno

SR: valor del parámetro del relieve

DS: valor del parámetro de disparo sísmológico

DLL: valor del parámetro de disparo por lluvia

4.8.2. Método modificado de evaluación de vulnerabilidad

El método de Reyes y otros autores,³⁶ fue utilizado en la microcuenca del río Talgua en Honduras. Plantea la evaluación de los parámetros críticos que pueden aumentar la exposición a las amenazas. Para efectos del análisis se consideran varios tipos como puede ser: físico, social, ecológico, económico, político, técnico, ideológico, cultural, educativo e institucional. Cada uno de los parámetros tiene sus propias variables a analizar que dependen específicamente de la zona a evaluar.

Las variables evaluadas en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero se muestran en la tabla VIII. Se realizó una modificación al método original, ya que por la limitante de tiempo durante la visita de campo, se consideró únicamente los indicadores más factibles y de mayor relevancia para el estudio.

Tabla VIII. Variables utilizadas para la estimación de la vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Variable	Indicador
Física	Asentamientos humanos en laderas	Porcentaje de viviendas en laderas
	Resistencia física de las viviendas	Tipo de material de construcción
Política	Apoyo municipal y estatal a proyectos comunales	Número de proyectos ejecutados por año
Ideológica	Participación comunal en la fase pre-desastre: preparación y prevención	Porcentaje de la población que participa en la fase de preparación y prevención

Fuente: modificado de: REYES, Wilmer; et al. *Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras*. CATIE, 2006.

³⁶ REYES, Wilmer; et al., *Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras*. CATIE, Revista Recursos Naturales y Ambiente. 2006, núm, 48, p. 103

En el caso del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, se realizó una clasificación de posibles valores de los indicadores evaluados para su posterior ponderación. Esto se muestra en las tablas IX a la XII.

Tabla IX. **Variable de asentamientos humanos en laderas**

Porcentaje de viviendas en ladera	Calificativo	Valor
0-19.9	Muy bajo	1
20-39.9	Bajo	2
40-59.9	Medio	3
60-79.9	Alto	4
80-100.6	Muy alto	5

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Variable de resistencia física de las viviendas**

Material de construcción de las viviendas	Calificativo	Valor
<i>Block</i> , concreto reforzado con aplicación de normas técnicas	Muy bajo	1
<i>Block</i> o ladrillo de forma artesanal	Bajo	2
Madera o lámina en buen estado	Medio	3
Madera o lámina en mal estado	Alto	4
Piso de tierra o sin paredes	Muy alto	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Variable de apoyo municipal y estatal a proyectos comunales**

Número de proyectos ejecutados	Calificativo	Valor
2 ó más por año	Muy bajo	1
1 por año	Bajo	2
1 por dos años	Medio	3
1 por tres años	Alto	4
0 por año	Muy alto	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Variable de participación comunal en la fase pre-desastre**

Porcentaje de personas que participan en la fase pre-desastre	Calificativo	Valor
100-80	Muy bajo	1
79-60	Bajo	2
59-40	Medio	3
39-20	Alto	4
19-0	Muy alto	5

Fuente: elaboración propia.

El valor de cada tipo de vulnerabilidad se obtiene al promediar el resultado de dividir el valor obtenido para cada uno de los indicadores evaluados entre el valor máximo posible de cada uno, y multiplicando el resultado por 100, como se ejemplifica en la ecuación 2 con la vulnerabilidad física.

$$VF = \left(\frac{V1}{5} + \frac{V2}{5} \right) * \frac{100}{2} \quad (2)$$

Donde:

VF: vulnerabilidad física

V1: resultado del indicador de asentamientos en laderas o barrancos

V2: resultado del indicador de resistencia física de las viviendas

Con el fin de determinar la importancia relativa de cada uno de los parámetros y variables, se realiza una ponderación para asignar un mayor peso al valor que represente la situación más crítica y el menor peso al estado menos crítico; estos parámetros son determinados por el investigador. Para esto se utiliza la ecuación 3:

$$V = (0.4*VF) + (0.3*VP) + (0.3*VD) \quad (3)$$

Donde:

V: valor del parámetro de vulnerabilidad o exposición

VF: valor de la vulnerabilidad física
 VP: valor de la vulnerabilidad política
 VD: valor de la vulnerabilidad ideológica

Para caracterizar la vulnerabilidad según su valor porcentual se utiliza una clasificación como la de la tabla XIII.

Tabla XIII. **Caracterización de vulnerabilidad**

Vulnerabilidad (%)	Caracterización	Valor
0 - 19.9	Muy baja	1
20 - 39.9	Baja	2
40 - 59.9	Media	3
60 - 79.9	Alta	4
80 - 100	Muy Alta	5

Fuente: REYES, Wilmer; et al. *Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras*. CATIE, 2006.

4.8.2.1. Método para evaluación de riesgo

Para calcular el riesgo es necesario procesar los datos utilizando la ecuación 3:

$$R=A*V \quad (3)$$

Donde:

R: valor relativo del riesgo

A: valor del parámetro de amenaza

V: valor del parámetro de vulnerabilidad

Según Mora y otros autores³⁷, la clasificación relativa de riesgo se basa en la influencia de cada uno de los parámetros examinados en un área específica. Los resultados que se obtienen se clasifican en cinco categorías, como se muestra en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Clasificación del riesgo al deslizamiento**

Clase	Calificativo de riesgo	Característica
I	Muy baja	Sectores estables, no requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en casos especiales. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños.
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no mejora la condición del sitio.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy Alto	Probabilidad de deslizamiento muy alta en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

Fuente: MORA CHINCHILLA, Rolando; CHAVEZ GAMBOA, Jeisson; VÁSQUEZ FERNÁNDEZ, Mauricio. *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson*. Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 2002.

³⁷ MORA CHINCHILLA, Rolando; CHAVEZ GAMBOA, Jeisson; VÁSQUEZ FERNÁNDEZ, Mauricio. *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson*. Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 2002.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Variables

5.1.1. Variables independientes

- Pendiente
- Humedad del terreno
- Susceptibilidad litológica
- Sismicidad
- Lluvia máxima
- Viviendas ubicadas en ladera
- Resistencia física de las viviendas
- Apoyo municipal y estatal a proyectos comunales
- Participación comunal en la fase pre-desastre

5.1.2. Variable dependiente

- Riesgo de deslizamiento

5.2. Delimitación de campo de estudio

El campo de estudio es la caracterización de riesgos de deslizamiento de tierras en asentamientos humanos, con la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Se realizó en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, zona 7, Guatemala, Guatemala.

5.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Andrea Sofía García de León
- Asesora: Inga. Carla Gordillo de Marchena
- Consultores externos:
 - Ing. David LaPorte
 - Ing. Juan Pablo Oliva Hernández
 - Ing. Omar Flores
 - Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza

5.4. Recursos materiales disponibles

- Computadora
- Software de SIG
- GPS
- Inclinómetro
- Cámara fotográfica
- Impresora
- Tinta de impresora
- Papel
- Vehículo
- Combustible

5.5. Técnica

Se utilizó un enfoque mixto con un alcance descriptivo.

5.6. Recolección y ordenamiento de la información

- Observación: visita de campo en la que se analizó la vulnerabilidad del área.
- Registros históricos: bases de datos del área estudiada operadas en los Sistemas de Información Geográfica. La información necesaria es geomorfología, vegetación, uso de suelo, geología, entre otros.

5.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos por medio de observación fueron registrados por medio de fotografías y descripciones.

Los datos obtenidos de registros históricos fueron tabulados y procesados en los Sistemas de Información Geográfica. Se utilizó el método de Mora-Vahrson y el método modificado de evaluación de vulnerabilidad, como se muestra en la sección 4.8 el marco teórico.

5.8. Análisis de los resultados

5.8.1. Métodos y modelos de datos

Los datos de las condiciones físicas del asentamiento presentes en los mapas y bases de datos de SIG se analizaron por medio de métodos heurísticos, a través de los cuales se procesó la información obtenida y se generaron mapas que, en su sobreposición, determinaron el grado de riesgo operando los pesos de cada parámetro evaluado. Para esto se usó el método de Mora-Vahrson y el método de evaluación de vulnerabilidad modificado de Reyes y otros autores. Para validar los resultados, los datos

obtenidos fueron analizados cualitativamente por un grupo de expertos que determinaron la correspondencia de estos con la realidad del área de estudio a través de un instrumento.

5.8.2. Programas utilizados para el análisis de datos

Los programas utilizados fueron:

- QGIS 2.12.3
- Microsoft Word 2013
- Excel 2013

6. RESULTADOS

Los resultados corresponden a un estudio mixto de tipo descriptivo. Se realizó una evaluación del área de estudio describiendo los componentes de riesgo del asentamiento Sector 3 del Anexo 4 de Febrero. Se aplicó la metodología cualitativa propuesta por Mora-Vahrson, utilizando las herramientas de los sistemas de información geográfica. Para validar estos datos, se compararon con mapas históricos de riesgo e inventarios de deslizamientos a escala de la ciudad. Por último, un grupo de expertos brindó su criterio técnico sobre la correspondencia de los resultados con los componentes de riesgo a deslizamiento en la zona y sobre el uso de Sistemas de Información Geográfica para este propósito.

6.1. Visita de campo

Esta etapa consistió en obtener el apoyo de actores clave entre los habitantes de la zona de estudio, con los que se realizaron entrevistas y visitas de campo para estudiar las medidas que están tomando para la prevención de deslizamientos. Los resultados de las entrevistas y visita de campo reportan como principales problemas: mal drenaje pluvial, lo que causa inundaciones en las viviendas y la escorrentía, que causa erosión del tipo cárcava en el talud y el graderío, provocando el deterioro de la única vía de acceso y un aumento de la humedad del suelo que puede generar cavernas y aflojar el suelo. El agua residual la descargan en la ladera para que llegue al fondo del barranco que se encuentra aproximadamente a 10 metros. Esta caída aumenta la humedad del suelo y al saturarlo se pueden causar deslizamientos ladera abajo.

Las acciones de prevención ante deslizamientos son: muros de contención con tecnología local (llantas o mampostería) y revestimientos de taludes con concreto reforzado con electromalla realizados de forma artesanal. Esto se observa en las figuras 11, 12 y 13. Sin embargo, quienes realizan estas acciones son las personas que tienen interés en legalizar la propiedad del terreno, y sus acciones de mitigación son mínimas y localizadas. Aunque ellos consideran que estas medidas son suficientes y han invertido una suma importante de dinero en este fin, realmente no son una solución ante un deslizamiento a gran escala. Han tratado de convencer a otros vecinos de aplicar las mismas medidas, pero no han accedido.

Figura 11. **Recubrimiento de talud y muro de contención**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

Figura 12. **Muro de contención de llantas**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

Figura 13. **Revestimiento de talud**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

Durante el recorrido por la zona de estudio se observó lo siguiente: el asentamiento Anexo 4 de Febrero, sector 3, en su totalidad está situado en una zona de topografía inclinada, ya que se ubica sobre la ladera de un barranco. Las pendientes naturales de la ladera sobrepasan los 60 grados (173 % de pendiente), esto se determinó mediante un inclinómetro. En la figura 14 se observa el asentamiento desde la entrada, que es el punto más alto, y se puede apreciar la pendiente del terreno.

Figura 14. **Vista desde el punto más alto**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

Se realizó un análisis del suelo *in situ* por medio de inspección visual y pruebas manuales basadas en la norma ASTM D2488. Se identificó el suelo por medio del examen visual y se determinó que se compone superficialmente por una capa de arcilla orgánica café, de aproximadamente 0,5 m, que se

encuentra contaminada por desechos sólidos. El estrato inferior es de color amarillo o café amarillento. Como prueba manual se utilizó el ensayo de dilatancia. Como se puede observar en la figura 15, se tomó una porción de suelo, se humedeció y se agitó horizontalmente. Se determinó una resistencia ligera y se concluyó que el estrato inferior se compone de un suelo de tipo arcilloso y luego de una arena limosa de color amarillo que posee piedra pómez.

Figura 15. **Ensayo de dilatancia del material del suelo del talud**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

La naturaleza del terreno tiende a ser inestable; por encontrarse dentro de una ladera y por la exposición al peso de las viviendas, es fácil notar pequeños desprendimientos de tierra. En la figura 16 se observa un segmento del talud

en el que se aprecia la parte orgánica del suelo en la que crece cierta vegetación y que está mezclada con restos de desechos sólidos.

Figura 16. **Segmento del talud**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

La estructura de las viviendas varía dependiendo del nivel económico de las familias. Unas cuentan con muros de contención, protección de taludes y grandes columnas. Sin embargo, las que se encuentran en la parte más baja tienen construcciones menos estables, construidas de lámina y madera. Las láminas utilizadas no se encuentran aseguradas a estructura, como se observa en la figura 17. En la tabla XV se enumeran los tipos de materiales observados en las viviendas del asentamiento Sector 3 del Anexo 4 de Febrero.

Tabla XV. **Materiales de las viviendas del asentamiento**

Parte	Materiales predominantes
Paredes exteriores	<i>Block</i> Madera Lámina metálica Talud
Techo	Concreto Lámina metálica
Piso	Ladrillo cerámico Ladrillo de cemento Torta cemento Tierra

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Material de las viviendas**



Fuente: visita de campo al asentamiento.

La distribución de los lotes es irregular, cada uno tiene diferentes dimensiones y cuenta con infraestructura distinta. Muchos de los lotes se encuentran en el corte de la ladera. Se observaron paredes combadas por la presión de la tierra. Especialmente en la época lluviosa, el suelo se satura aumentando su peso y causando el desplome de las paredes que están cerca y que no tienen las especificaciones técnicas para resistir altas presiones. Algunas familias utilizan el corte del talud como pared, aumentando la vulnerabilidad de las viviendas. Las viviendas están próximas a los cortes y la distancia entre ellas es mínima. Las estructuras y la dirección de la construcción pueden ser un factor de vulnerabilidad. Estas condiciones se pueden observar en las figuras 18 y 19.

Figura 18. Distribución de lotes



Fuente: visita de campo al asentamiento.

Figura 19. Techo de las viviendas



Fuente: visita de campo al asentamiento.

El asentamiento cuenta con un drenaje mixto (incluye aguas negras y pluviales) que sigue el curso del camino que atraviesa el asentamiento y conduce las aguas ladera abajo. Se puede observar el desgaste de la infraestructura por la acumulación de agua, asimismo, la erosión producida en el talud por la descarga de los drenajes. En una de las viviendas el suelo y las láminas se han desplomado, como se observa en la figura 20.

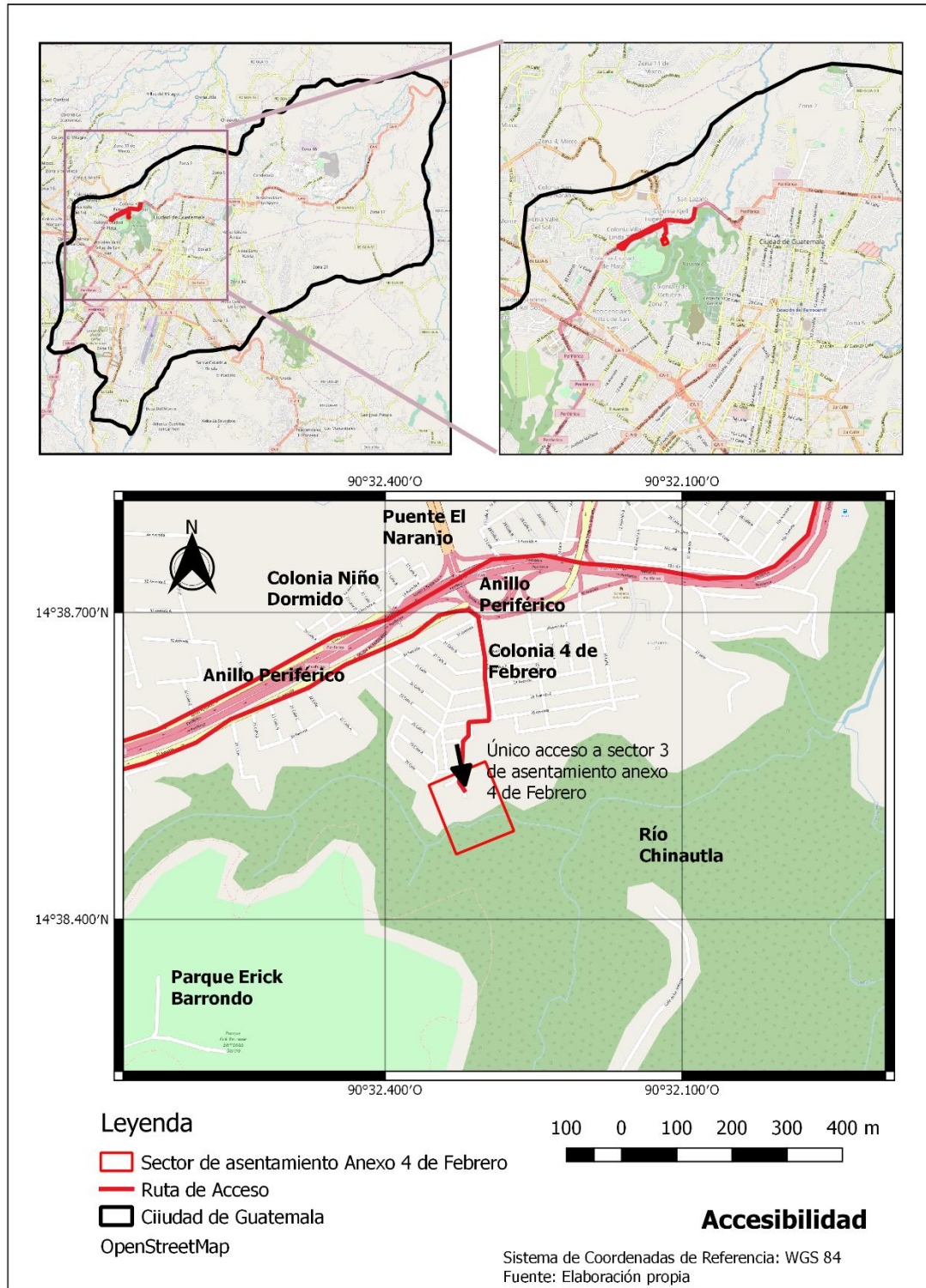
Figura 20. Láminas y piso dañados



Fuente: visita de campo al asentamiento.

El asentamiento tiene acceso únicamente por la Colonia 4 de Febrero, el cual se muestra en la figura 21. Esto dificulta el ingreso de equipos de emergencia para los momentos de crisis, además de bloquear el egreso de las familias que habitan el lugar. Por otro lado, se encuentra cerca del Anillo Periférico, que es una de las principales arterias de la ciudad, en la que a diario circulan vehículos pesados generando vibraciones.

Figura 21. **Accesibilidad al asentamiento Anexo 4 de Febrero**



Fuente: elaboración propia.

6.2. Procesamiento de datos en sistemas de información geográfica

En esta sección se presentan los resultados de los métodos de Mora-Vahrson, de evaluación de vulnerabilidad modificado y de evaluación de riesgo procesados por medio de Sistemas de Información Geográfica.

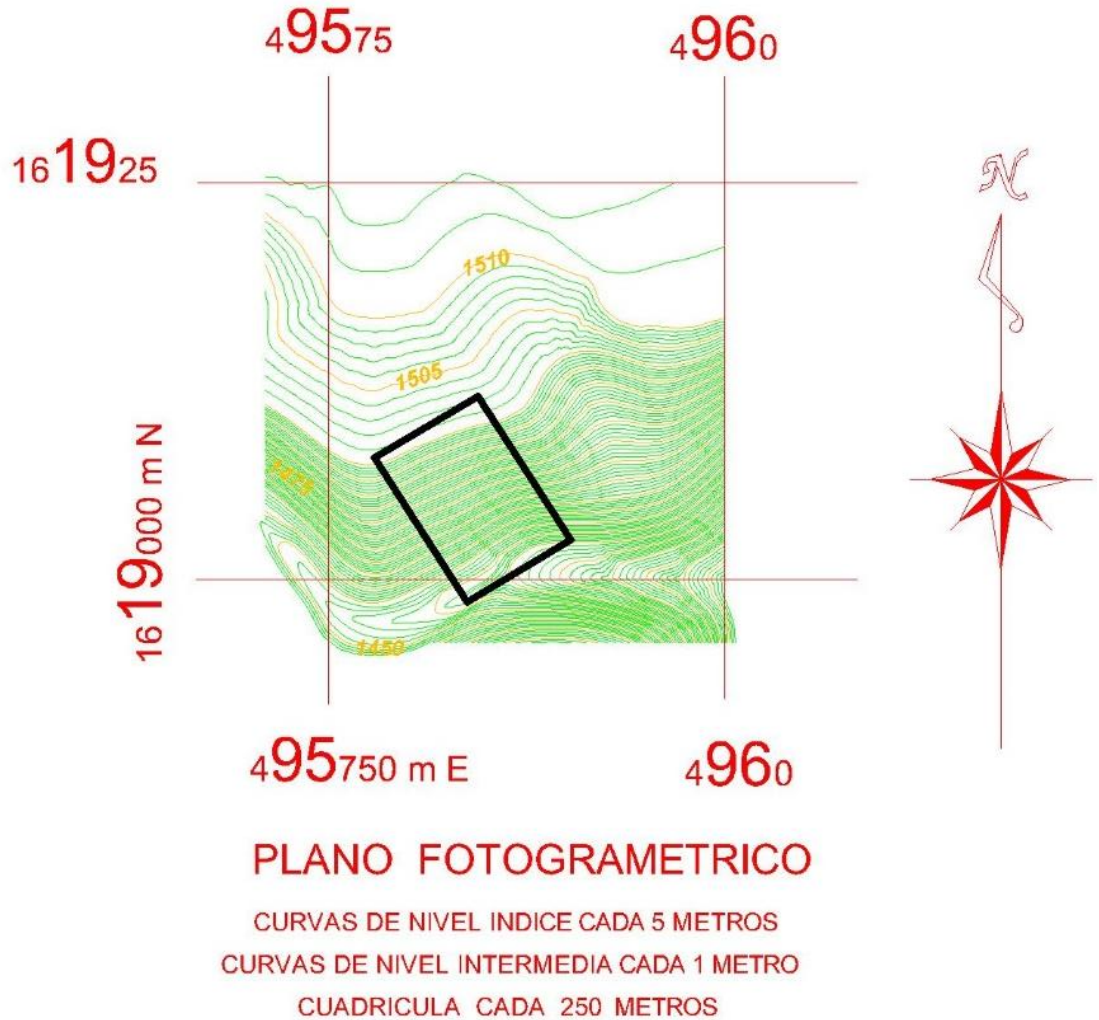
6.2.1. Método Mora-Vahrson

A partir de la aplicación de este método se obtienen los resultados de los parámetros condicionantes de deslizamientos, de los desencadenantes de estos fenómenos y la relación entre ambos. Se obtuvieron mapas de los factores condicionantes de riesgo de deslizamientos para la zona de estudio; se presentan los de pendiente del terreno, litología y humedad del suelo.

- Parámetro de pendientes

En esta etapa se presentan las operaciones realizadas por medio del Sistema de Información Geográfica. En la figura 22 se muestra las curvas de nivel del área de estudio con una diferencia de un metro de altura entre ellas. Se puede observar que en el área de estudio las curvas están próximas, lo que representa un cambio brusco de altura correspondiente a un alto valor de pendiente.

Figura 22. **Curvas de nivel del área de estudio**

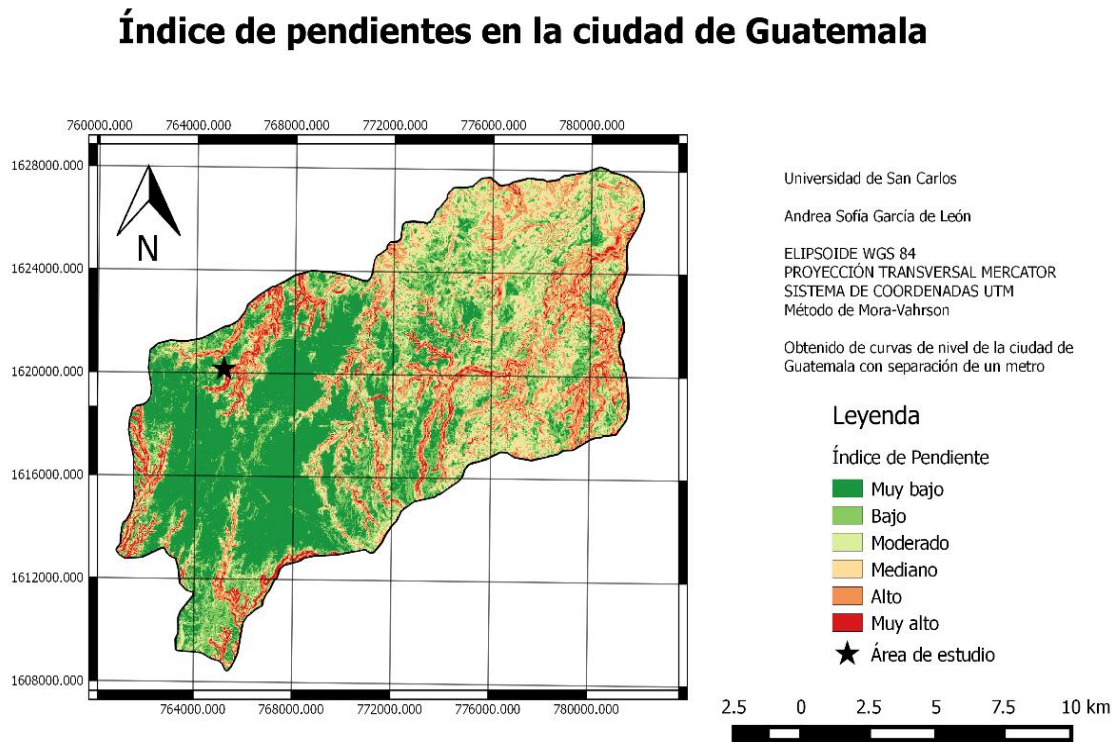


Fuente: elaboración propia.

En la figura 23 se puede observar el índice de pendiente para la Ciudad de Guatemala. Se puede observar que gran parte del territorio que se encuentra en el centro y oeste presenta terrenos planos, por lo que tiene un índice que muestra una amenaza muy baja. Por otro lado, el área oriental muestra un terreno más irregular cuyos índices varían entre muy bajos y muy altos. Las líneas rojas suelen mostrar barrancos y laderas donde la variación del nivel del

terreno es brusca y que implican una muy alta amenaza relacionada con el relieve del área.

Figura 23. **Mapa del índice de pendientes para la Ciudad de Guatemala**

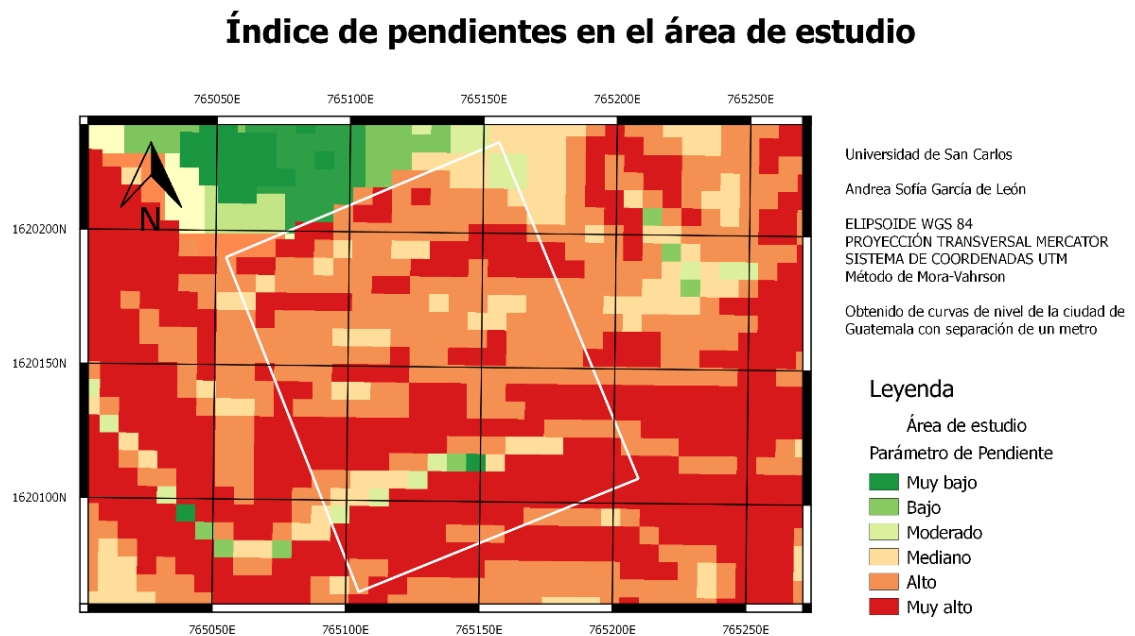


Fuente: elaboración propia.

En la figura 24 se observa el índice de pendientes para el área de estudio. Se muestra que la mayor parte del terreno tiene un nivel alto de susceptibilidad, lo cual se observa por el color rojo pálido. Esto implica que la pendiente es pronunciada, oscila entre 27 y 39 grados. Sin embargo, en la zona norte el índice es bajo o muy bajo, como lo muestra el color verde y verde pálido, con valores de uno y cero, respectivamente. Esta zona con pendientes más suavizadas colinda con la Colonia 4 de Febrero, es la zona más alta del

asentamiento, con mejores construcciones, vía de acceso pavimentada y algunos servicios básicos.

Figura 24. **Mapa del índice de pendientes para el área de estudio**



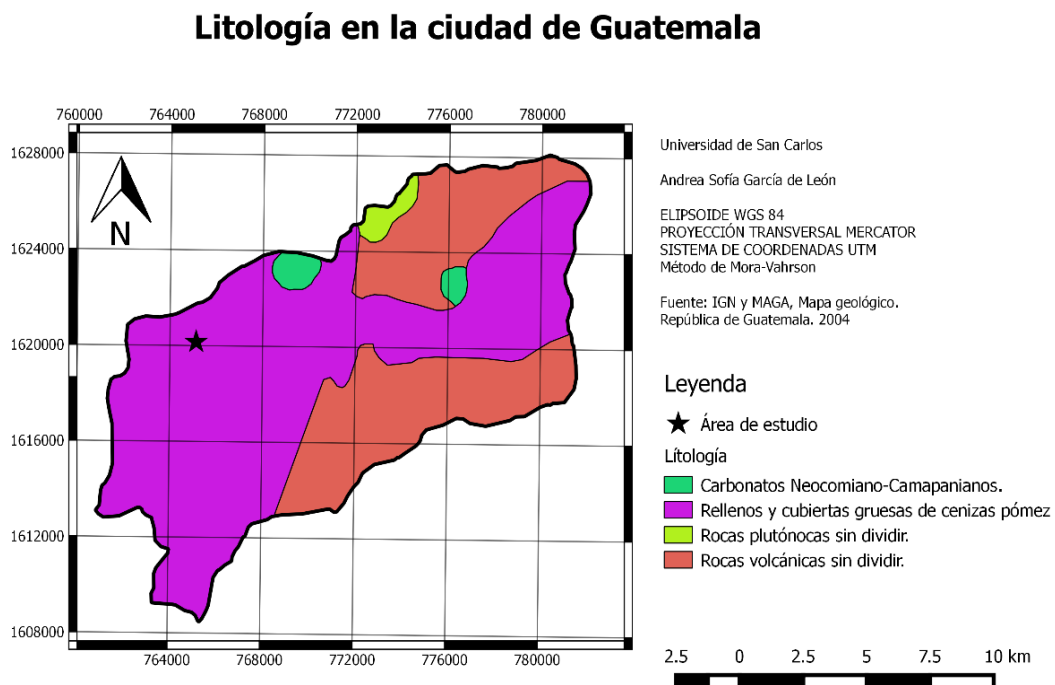
Fuente: elaboración propia.

- **Parámetro de litología**

En la figura 25 se muestra la litología de la ciudad de Guatemala. Muestra el tipo de rocas que hay en el territorio. Con color morado se muestran los suelos conformados por rocas ígneas como rellenos y cubiertas de piedra pómez de origen diverso, lo que abarca la mayor parte del territorio de la ciudad. El color verde esmeralda representa a las rocas sedimentarias como carbonatos neocomianos-campanianos. Con el color rojo se muestran las áreas

compuestas por rocas volcánicas sin dividir, como tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos. Una pequeña área en la parte norte de la ciudad, simbolizada con color verde amarillo, está formada por rocas plutónicas como granitos y dioritas.

Figura 25. Litología de la ciudad de Guatemala

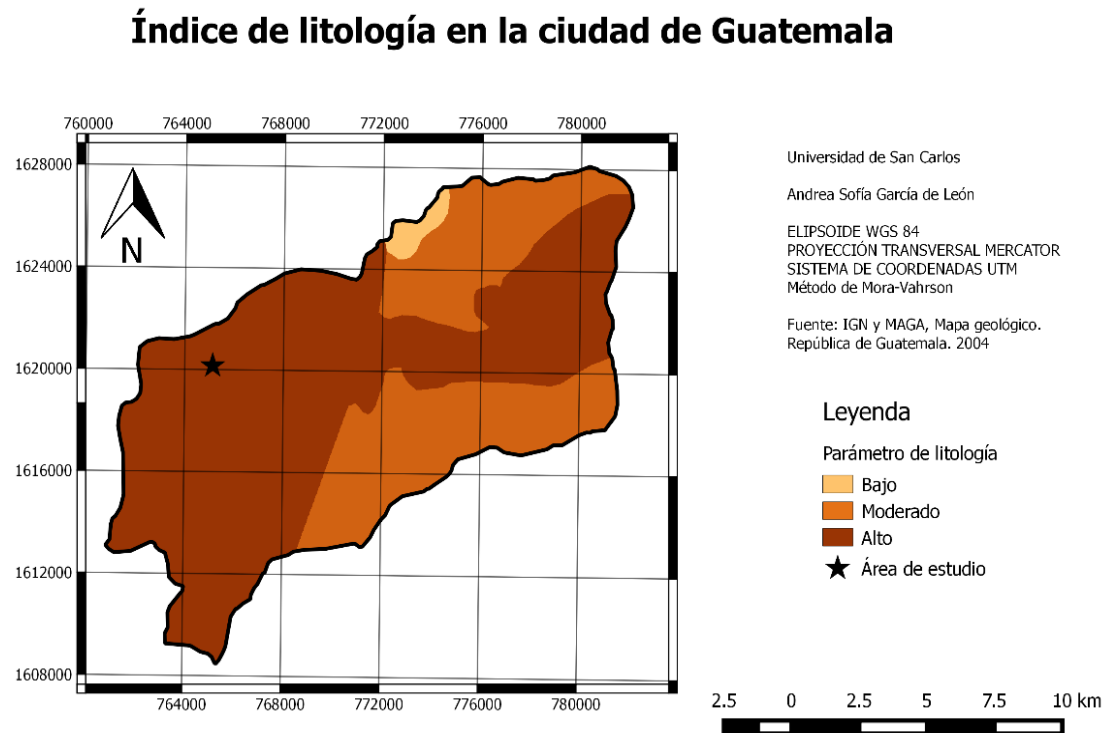


Fuente: elaboración propia.

En la figura 26 se muestra el parámetro de litología para la Ciudad de Guatemala, reclasificado según el método Mora-Vahrson. La mayor parte de la ciudad tiene un nivel alto de susceptibilidad por litología, lo cual se representa con el color café oscuro y tiene valor de cuatro. Con el color marrón se muestran las áreas compuestas por rocas volcánicas, las cuales representan una susceptibilidad moderada y tienen un valor de tres. Una pequeña área en

donde se presentan las rocas plutónicas está simbolizada con color *beige* y tiene susceptibilidad baja, con valor de uno.

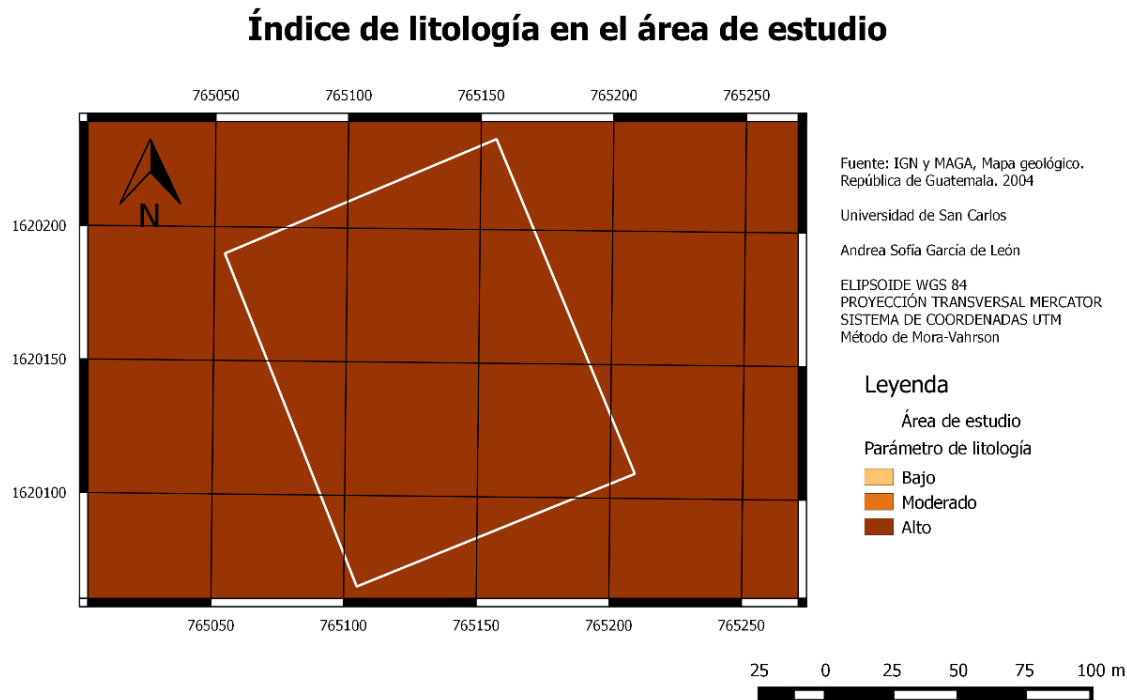
Figura 26. **Mapa del índice de litología para la Ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 27 se muestra el parámetro de litología para el área de estudio, según la clasificación del método Mora-Vahrson. Se puede observar que todo el sector se compone de suelos constituidos por rocas ígneas como rellenos y cubiertas de piedra pómez de orígenes diversos. Este tipo de suelo representa un nivel alto de vulnerabilidad y tiene un valor de cuatro.

Figura 27. Mapa del índice de litología para el área de estudio



Fuente: elaboración propia.

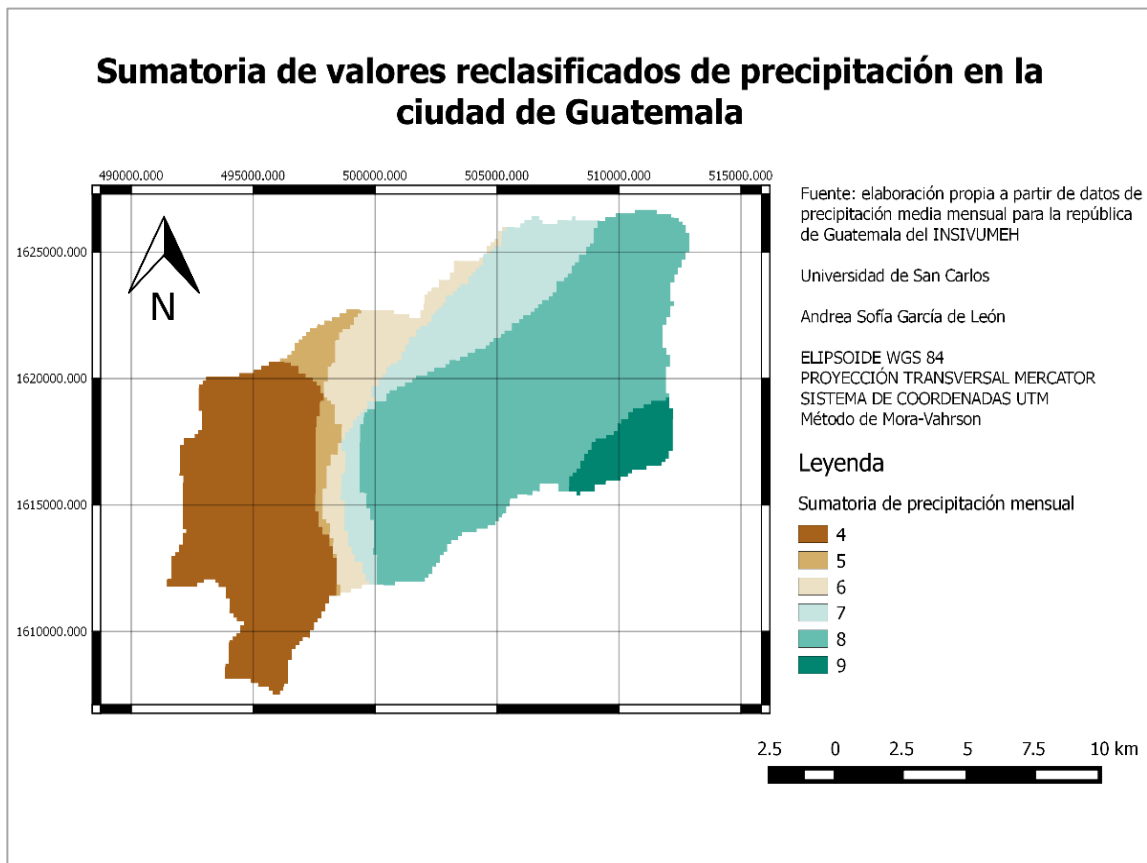
- **Parámetro de humedad del suelo**

Para el parámetro de humedad del terreno se recurre a los promedios mensuales de precipitación. Cada mes tiene un valor medio mensual que genera un valor en la clasificación del método Mora-Vahrson.

Las precipitaciones mensuales inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 125 y 250 mm sí incrementa la humedad, mientras que precipitaciones mensuales superiores a 250 mm conducen a muy alta humedad. A esta variable se le asignó un valor de uno a tres, respectivamente, los cuales se sumaron para

todos los meses. La sumatoria de los valores de precipitación media mensual para la Ciudad de Guatemala osciló entre cuatro y nueve, como se observa en la figura 28.

Figura 28. **Valores reclasificados de precipitación en Ciudad de Guatemala**

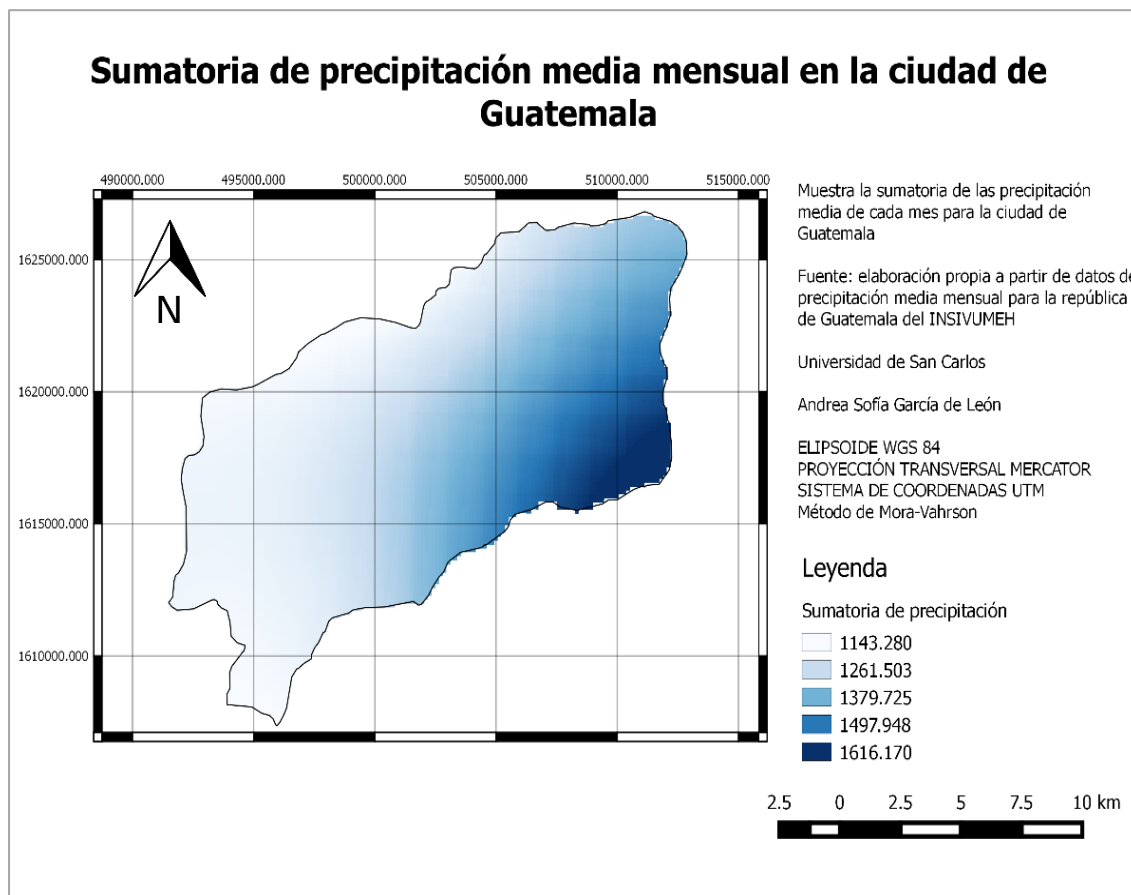


Fuente: elaboración propia.

Como referencia se muestra la figura 29, en la que se observa la sumatoria de la precipitación media de todos los meses en la Ciudad de Guatemala. Estos datos oscilan entre 1 143,28 mm a 1 616,70 mm de lluvia. El color azul más oscuro muestra las zonas con mayor acumulación de

precipitación. Los meses de junio a septiembre son los que presentan mayor precipitación, los demás meses suelen ser secos.

Figura 29. Precipitación media mensual en la Ciudad de Guatemala

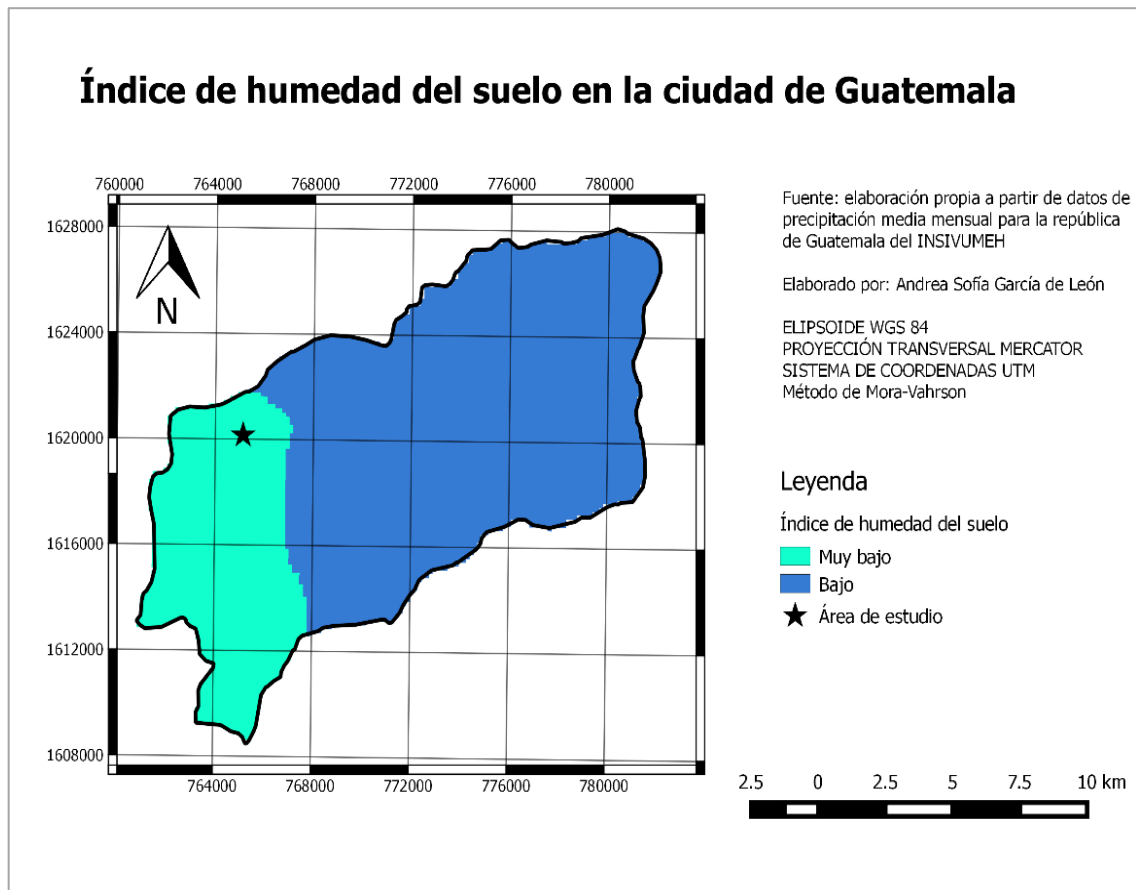


Fuente: elaboración propia.

El mapa de los resultados de humedad en el suelo para la Ciudad de Guatemala, según el método de Mora-Vahrson, se muestra en la figura 30. Se reclasificó para poder establecer el parámetro de humedad y se obtuvo niveles bajo y muy bajo. La mayor parte del territorio se muestra de color azul, correspondiente al área oriental. Este color representa un índice bajo de humedad del suelo con un valor de dos. Por otro lado, el color cian evidencia

que el área occidental tiene muy baja humedad, lo que implica muy baja susceptibilidad, valorada como uno.

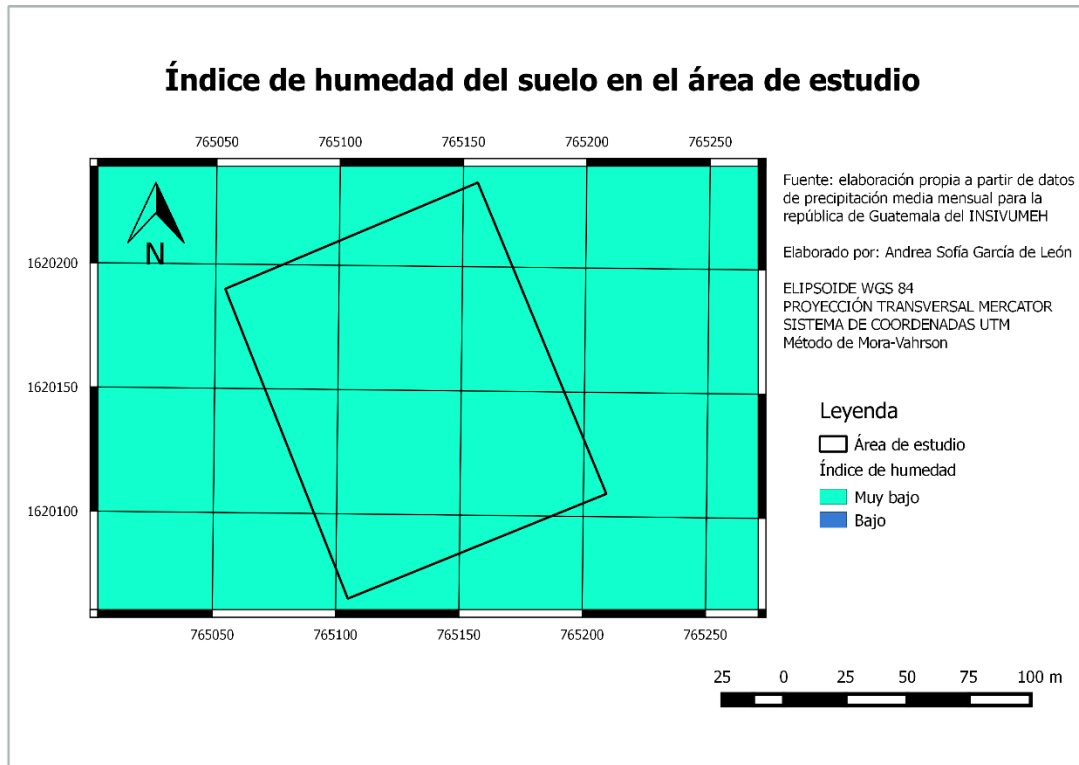
Figura 30. **Mapa de la humedad del suelo para la Ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 31 se muestra el parámetro de humedad del suelo específicamente para el área de estudio. El asentamiento se encuentra en el área occidental de la Ciudad de Guatemala, que posee un índice de humedad de suelo muy bajo. Esto implica que este factor causa muy baja vulnerabilidad y tiene un valor de uno.

Figura 31. **Mapa de humedad del suelo para el área de estudio**



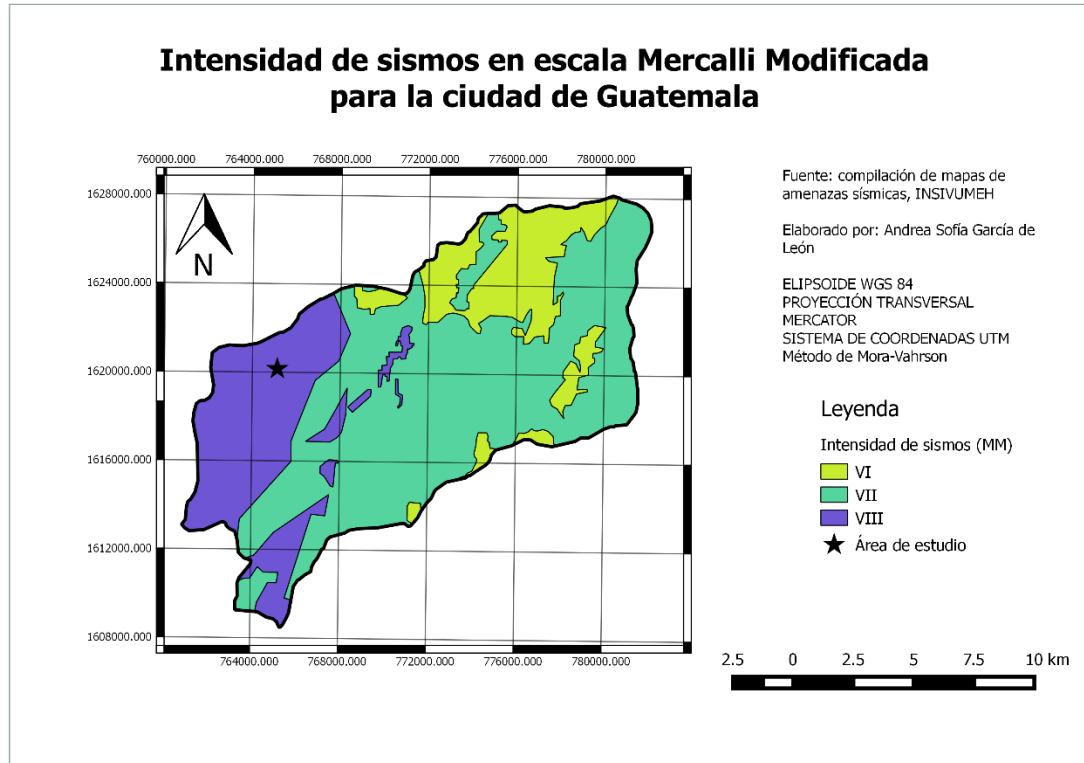
Fuente: elaboración propia.

Se realizaron mapas para evaluar los principales factores desencadenantes de deslizamientos. Se evaluó el parámetro de intensidad de sismos y el de lluvia máxima diaria.

- **Parámetro de intensidad sísmica**

La amenaza sísmica presente en la Ciudad de Guatemala se muestra en la figura 32. La región está dividida en tres categorías. La zona verde limón representa una intensidad VI en la escala de Mercalli Modificada, el área verde menta muestra la amenaza sísmica con intensidad de VII en la misma escala y la zona morada muestra la intensidad de VIII.

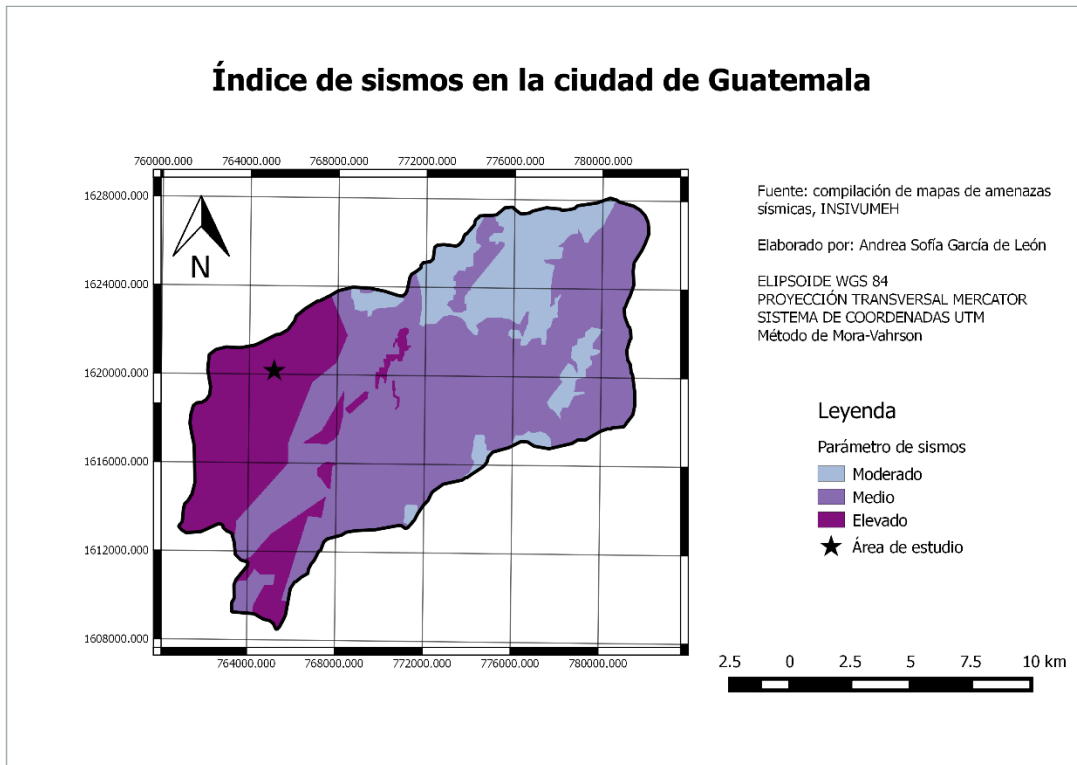
Figura 32. Amenaza sísmica en la Ciudad de Guatemala



Fuente: elaboración propia.

En la figura 33 se observan los resultados del índice de sismicidad para la Ciudad de Guatemala, según el método Mora-Vahrson. El color más pálido muestra las zonas en las que se presenta una intensidad de sismos moderada reclasificada como cuatro. El color intermedio abarca la mayor parte del territorio, que equivale a un valor cinco y a una intensidad media según el método Mora-Vahrson. El índice con valor seis constituye una intensidad elevada que se representa con el color morado oscuro.

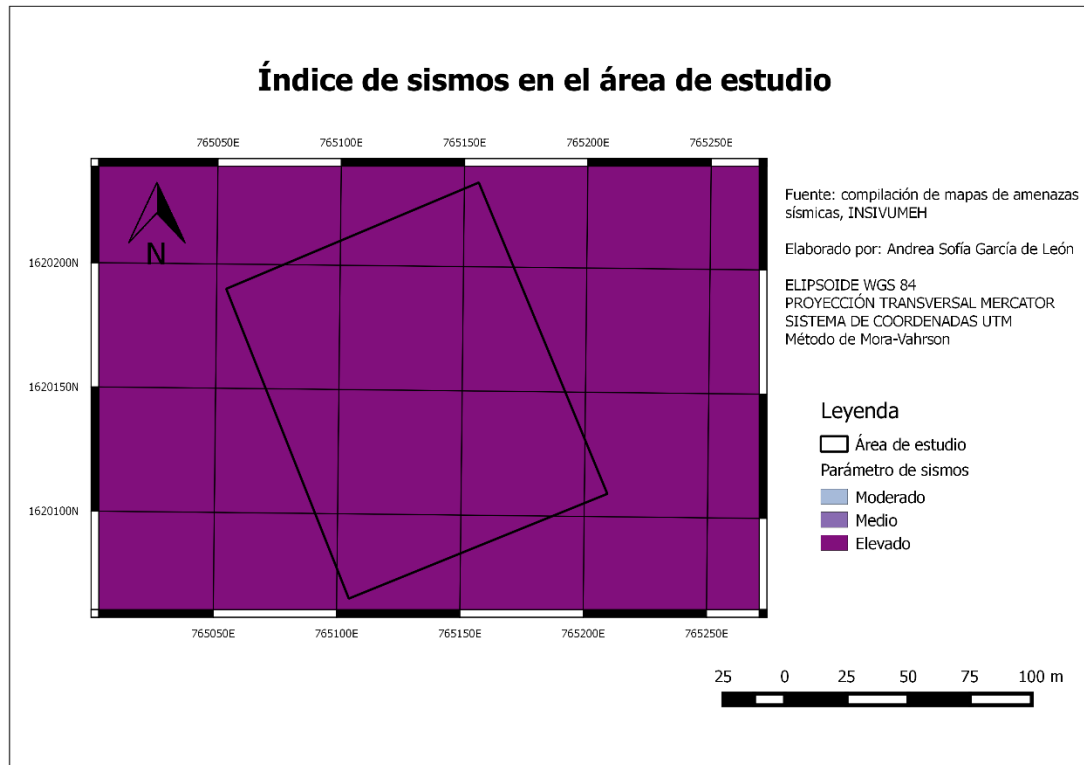
Figura 33. **Parámetro de sismos para la Ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

El área de estudio se ubica en el sector con índice valorado como seis y que constituye una intensidad elevada. Según la escala de Mercalli Modificada, equivale a una intensidad sísmica de VIII. Este mapa se observa en la figura 34.

Figura 34. **Parámetro de sismos para el área de estudio**

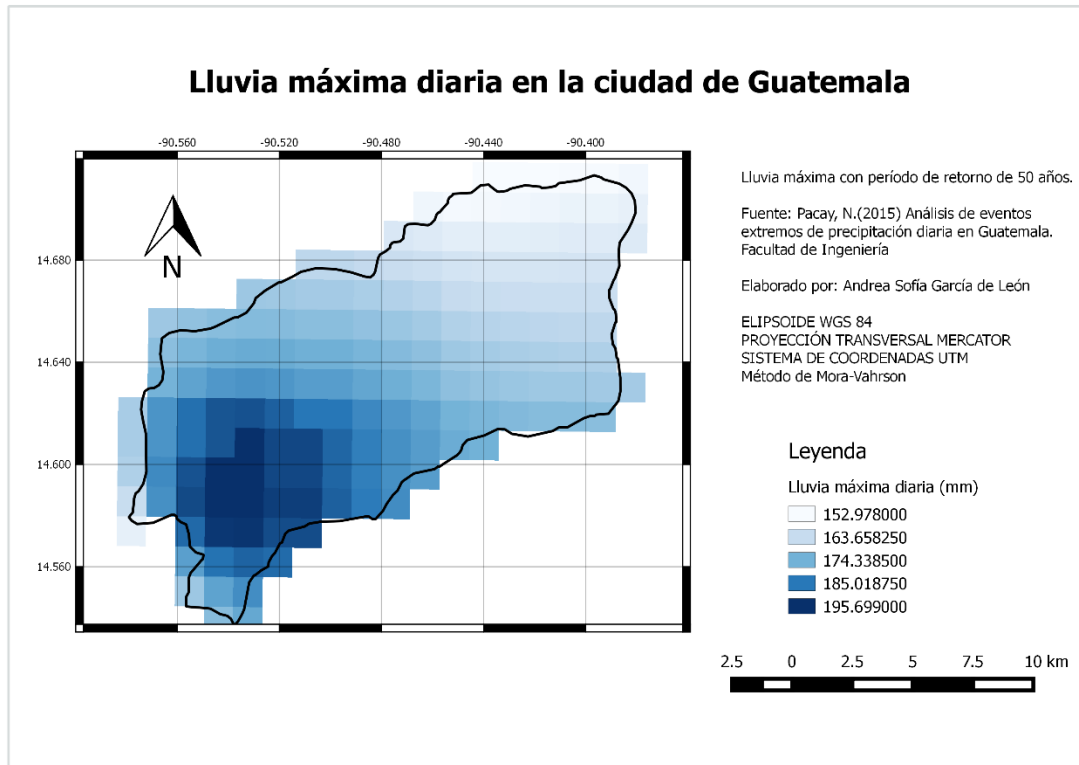


Fuente: elaboración propia.

- **Parámetro de lluvia máxima**

En la figura 35 se observa el parámetro de lluvia máxima diaria con un período de retorno de 50 años para la Ciudad de Guatemala. Se obtuvo interpolando los datos de lluvia máxima en las estaciones pluviométricas de todo el país. Las principales estaciones con influencia en este sector fueron INSIVUMEH, Guatemala Sur, Suiza Contenta y San Pedro Ayampuc.

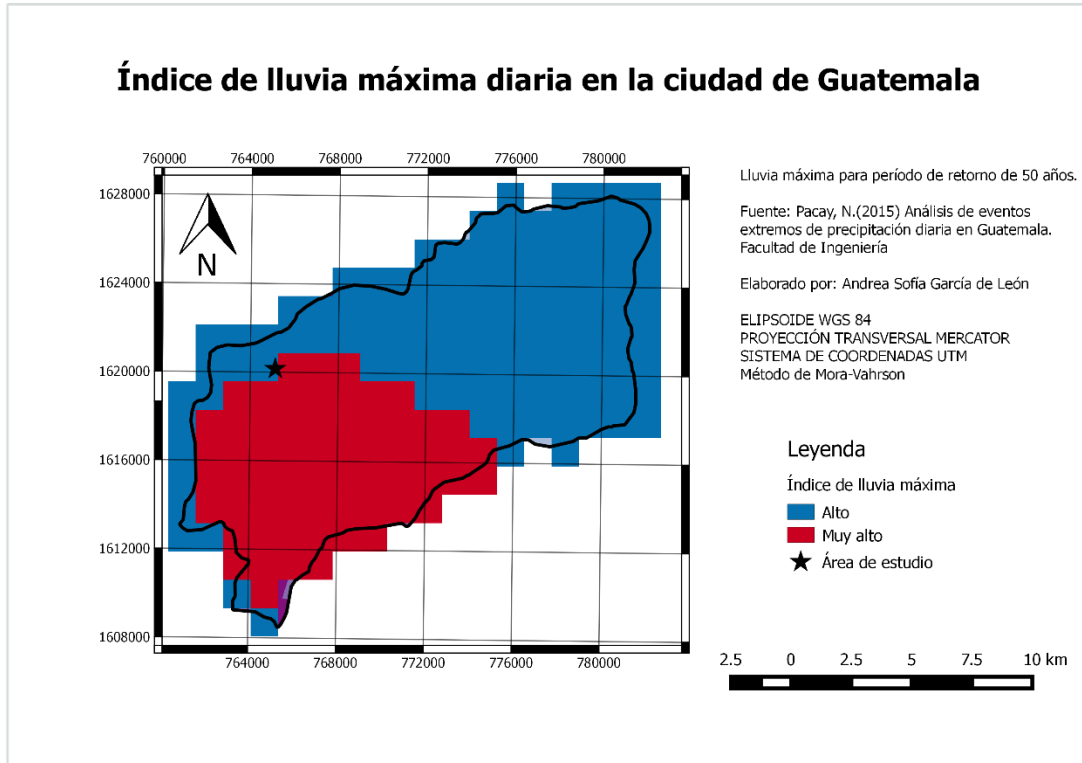
Figura 35. Lluvia máxima diaria para período de retorno de 50 años



Fuente: elaboración propia.

El resultado de los eventos máximos se clasificó en dos valores, como se observa en la figura 36. El índice alto valuado como cuatro se observa de color azul en el mapa y abarca los valores de lluvia entre 131 y 175 mm. El índice muy alto se simboliza con color rojo y representa un valor cinco. Comprende precipitación mayor a 175 mm.

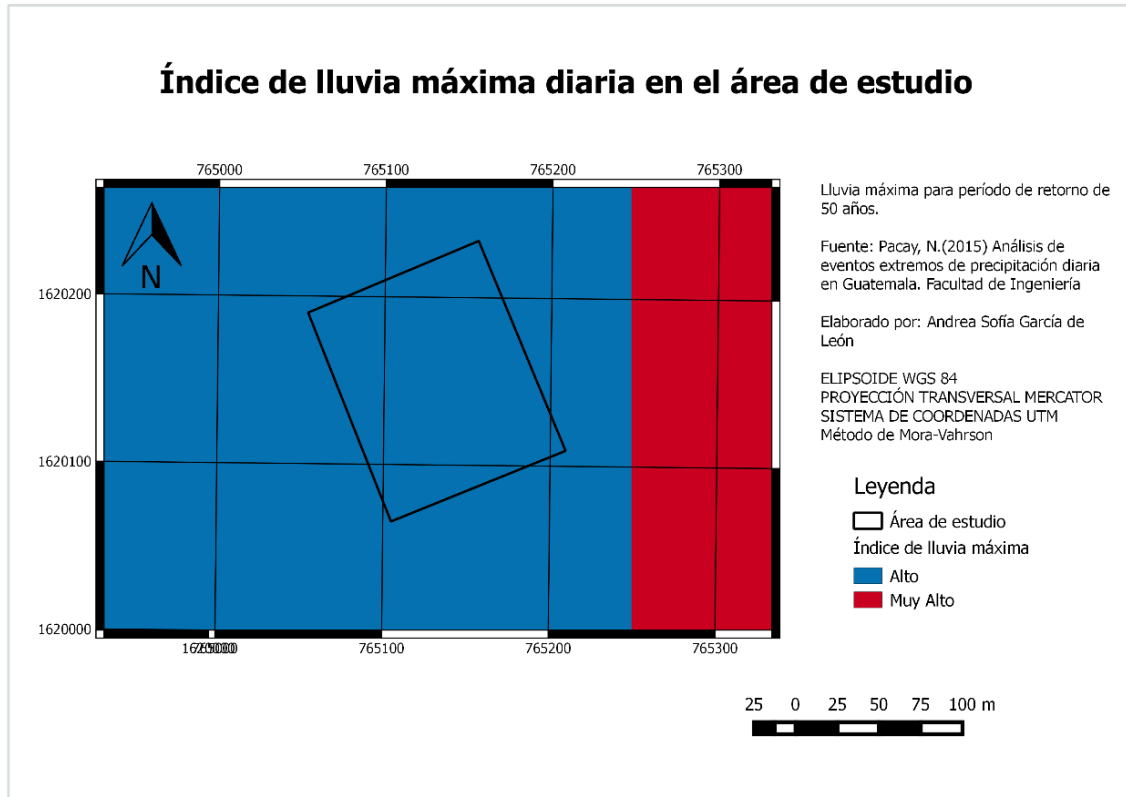
Figura 36. **Parámetro de lluvias para la Ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

El área de estudio se encuentra en la categoría alta del índice de lluvias y que está representado por el color azul del mapa. Abarca los niveles de precipitación entre 131 y 175 mm para un período de retorno de 50 años. Sin embargo, puede jugar un papel de zona de transición entre la categoría alto a muy alto. Esto se muestra en la figura 37.

Figura 37. **Parámetro de lluvias para el área de estudio**



Fuente: elaboración propia.

Con la calculadora ráster se operaron las diferentes capas como se mostró en la ecuación 1 del método Mora-Vahrson, para obtener el mapa de susceptibilidad a deslizamientos. Se realizó una clasificación definiendo cinco categorías, como se muestra en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Nivel de susceptibilidad a deslizamientos**

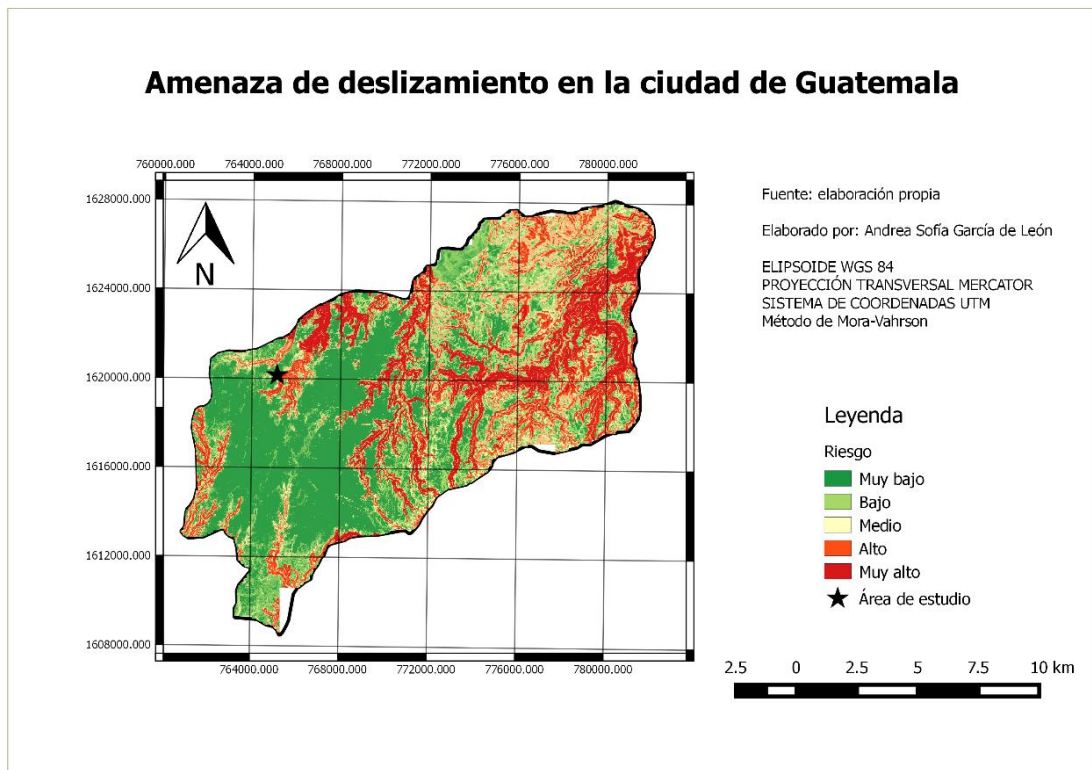
Nivel de susceptibilidad	Rangos
Muy bajo	0 – 59
Bajo	60 – 119
Medio	120 – 179
Alto	180 – 239
Muy Alto	240 – 300

Fuente: elaboración propia.

- Resultados de susceptibilidad

El mapa obtenido para la Ciudad de Guatemala según el método Mora-Vahrson se muestra en la figura 38. La mayor parte del territorio se encuentra con muy baja susceptibilidad de deslizamiento, abarca las zonas planas de la ciudad, cuya baja pendiente desestima del factor desencadenante de los sismos y la lluvia máxima. Existen cadenas cuyas condiciones aumentan la amenaza de deslizamientos, las cuales se pueden observar de color rojo y en su mayoría corresponden a los barrancos de la ciudad. Los puntos que se simbolizan entre verde claro y *beige* representan zonas con moderado a bajo nivel de riesgo. Las que se observan entre *beige* y anaranjado son zonas con nivel de riesgo de moderado a alto.

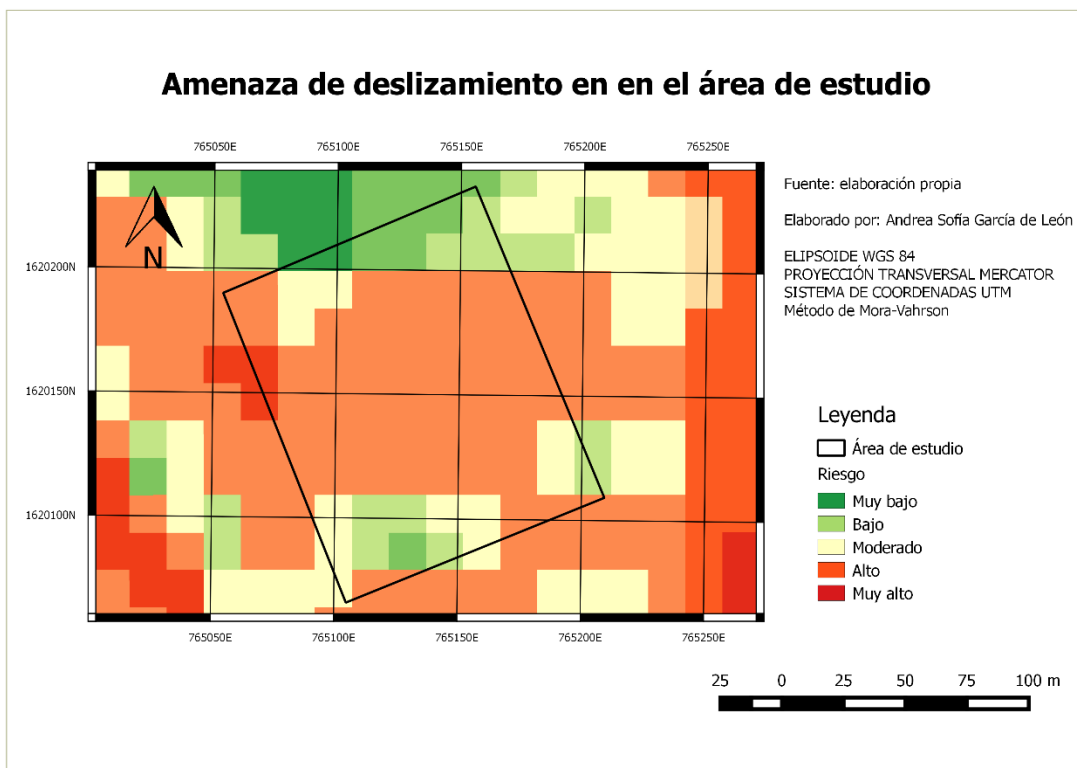
Figura 38. Amenaza de deslizamiento para la Ciudad de Guatemala



Fuente: elaboración propia.

En la figura 39 se muestra la condición de susceptibilidad en el área de estudio. Se observa que, en la mayor parte del asentamiento, el índice de amenaza oscila de moderado a alto, lo cual se observa con el color anaranjado. En la parte alta del asentamiento se presenta un índice bajo a muy bajo de riesgo a deslizamiento, representado por color verde, con riesgo mínimo para las viviendas que se encuentran en esta área.

Figura 39. Amenaza de deslizamiento para el área de estudio

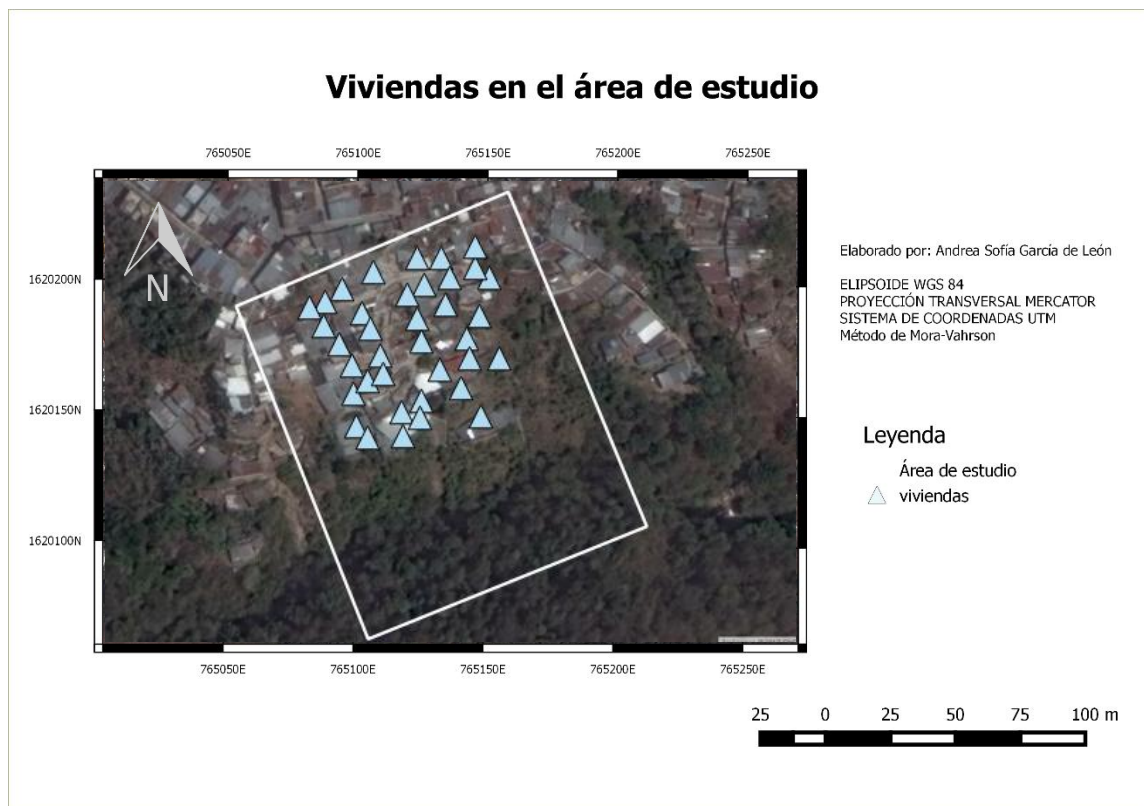


Fuente: elaboración propia.

En la figura 40 se muestra la distribución de puntos que representan las viviendas del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero. Se localizaron utilizando un mapa de Google Satellite, que se obtuvo por medio de la

herramienta OpenLayers *plug in*. Se ubicaron 37 viviendas en el sector del asentamiento.

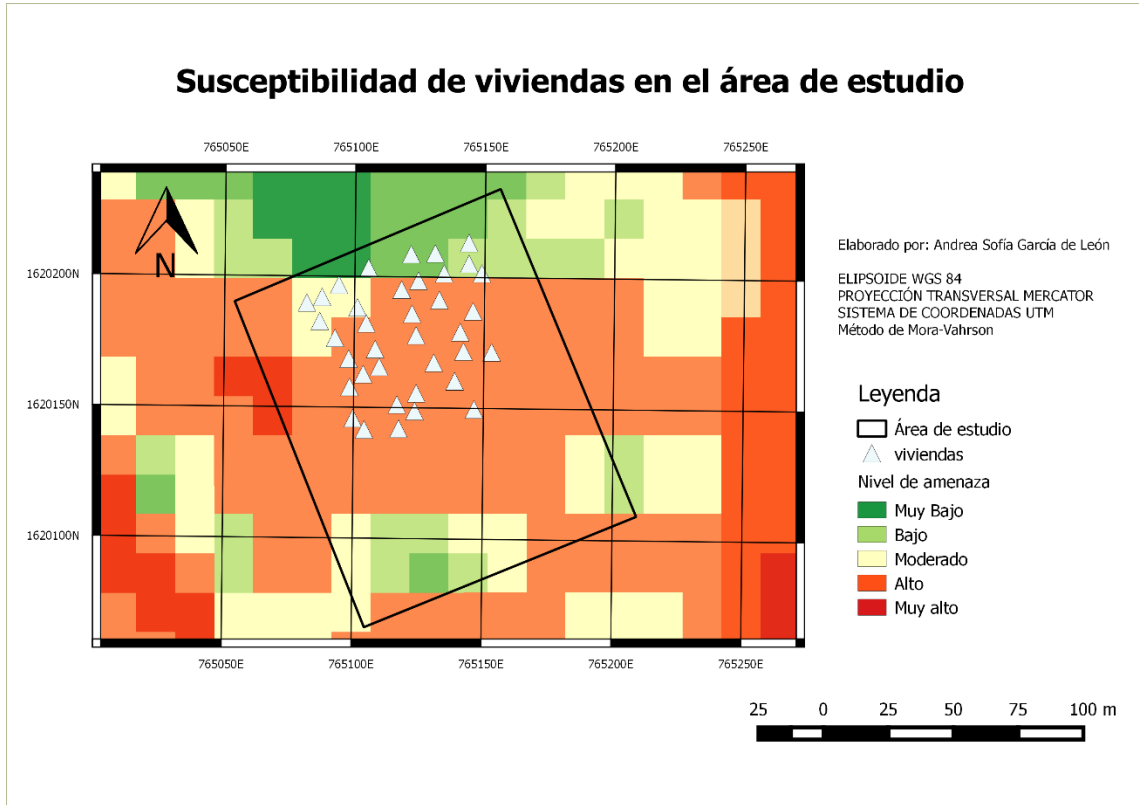
Figura 40. **Ubicación de viviendas en el área de estudio**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 41 se muestran las viviendas sobrepuestas al mapa de susceptibilidad a deslizamiento. Se puede definir que el 67,57 % de las viviendas se encuentran sobre el área color anaranjado, que simboliza una zona de alta susceptibilidad, equivalente a 25 viviendas. El 13,51 % de las viviendas se encuentra en un área con susceptibilidad moderada, lo que corresponde a cinco casas. El 18,92 % restante corresponde a las siete viviendas que se encuentran en la parte superior del asentamiento en donde el nivel de amenaza es bajo.

Figura 41. **Viviendas del área de estudio según el nivel de susceptibilidad**



Fuente: elaboración propia.

El Instituto Nacional de Estadística indica que, en promedio, en cada vivienda habitan cinco personas.³⁸ Esto daría como resultado 125 personas en alto riesgo, 25 en susceptibilidad moderada y 35 en baja susceptibilidad.

6.2.2. Método de evaluación de vulnerabilidad modificado

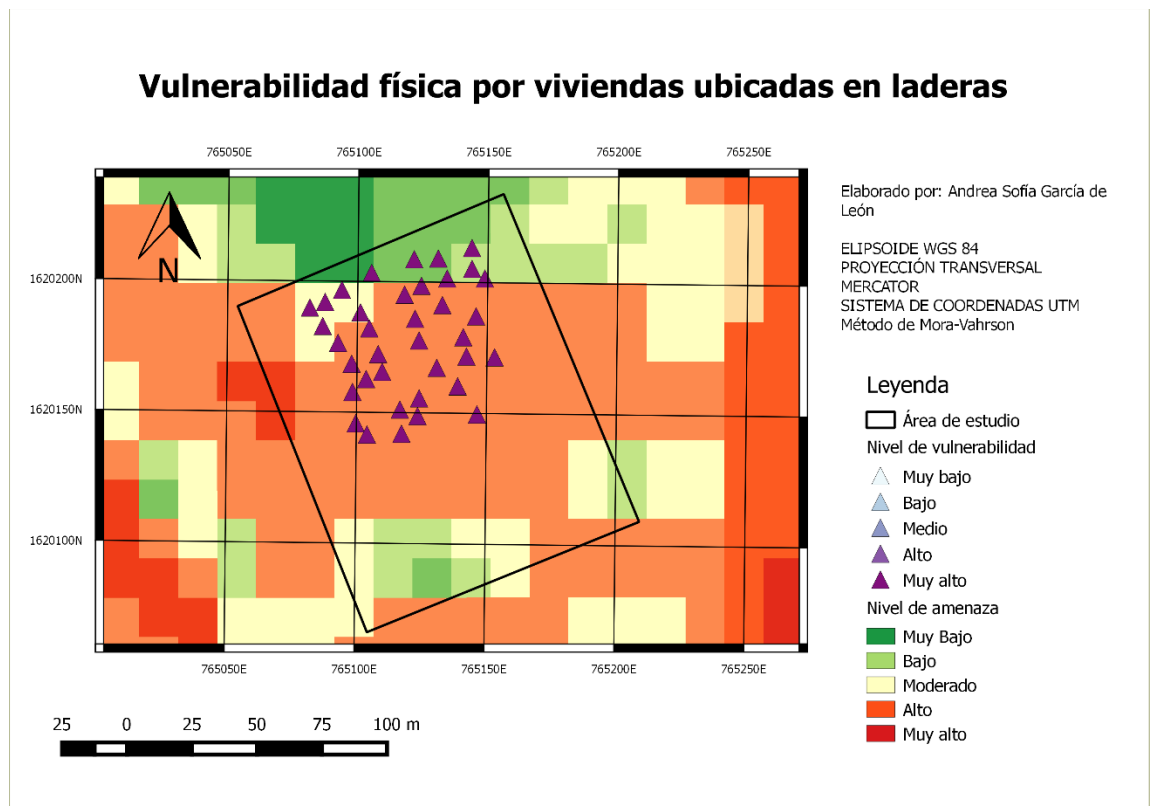
Para este método se evaluaron los aspectos físicos, políticos e ideológicos que causan vulnerabilidad en una comunidad. Se utilizaron las clasificaciones de la tabla VIII.

³⁸ XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística, 2002.

- Vulnerabilidad física

Este tipo de vulnerabilidad está directamente relacionado a las estructuras y su capacidad de resistir los fenómenos como sismos y deslizamientos. En este caso se evaluaron dos aspectos. El primero, la presencia de viviendas en área de ladera, se evaluó con el indicador del porcentaje de viviendas ubicadas en zonas con pendientes pronunciadas y se obtuvo que 81,08% de las viviendas están en ladera, lo que equivale a una vulnerabilidad muy alta. Esto se representa en la figura 42.

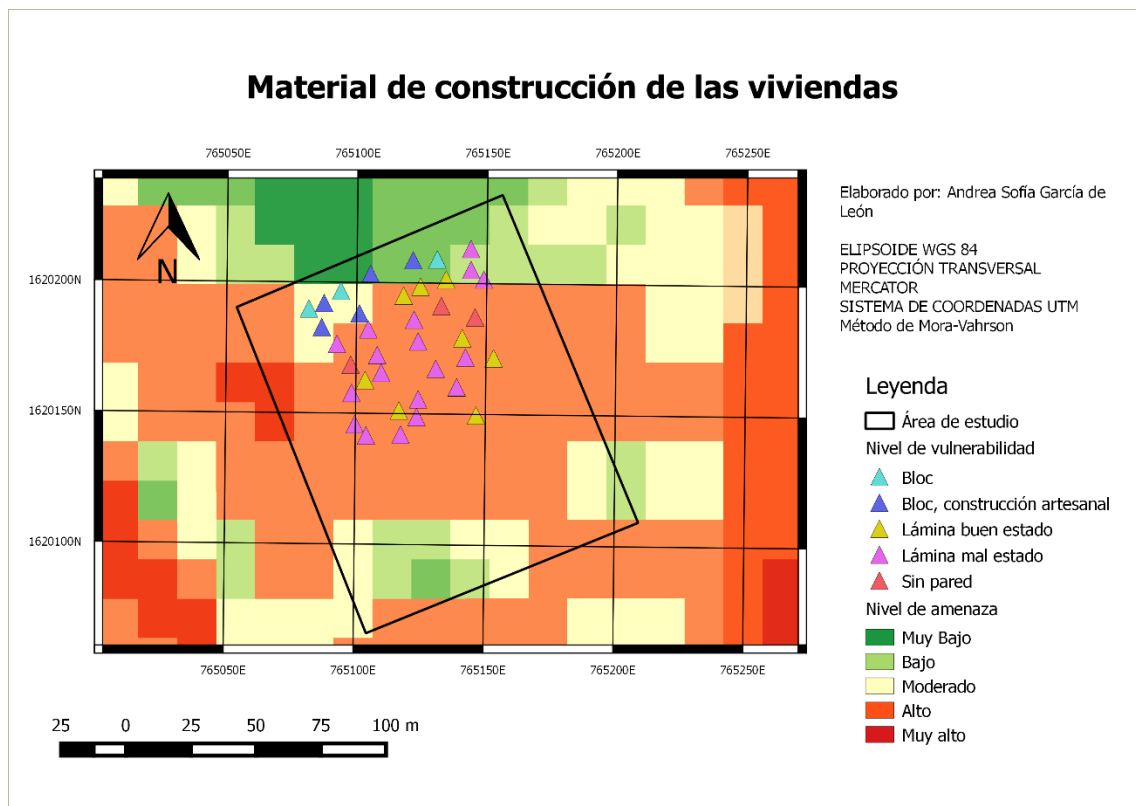
Figura 42. **Vulnerabilidad física por ubicación de viviendas en laderas en el área de estudio**



Fuente: elaboración propia.

La segunda variable es la resistencia estructural de las viviendas, cuyo indicador es el tipo de material con que fueron construidas. En la figura 43 se muestran las viviendas del sector 3 del Anexo 4 de Febrero, clasificadas según los materiales de su construcción.

Figura 43. **Material de construcción de viviendas del área de estudio**



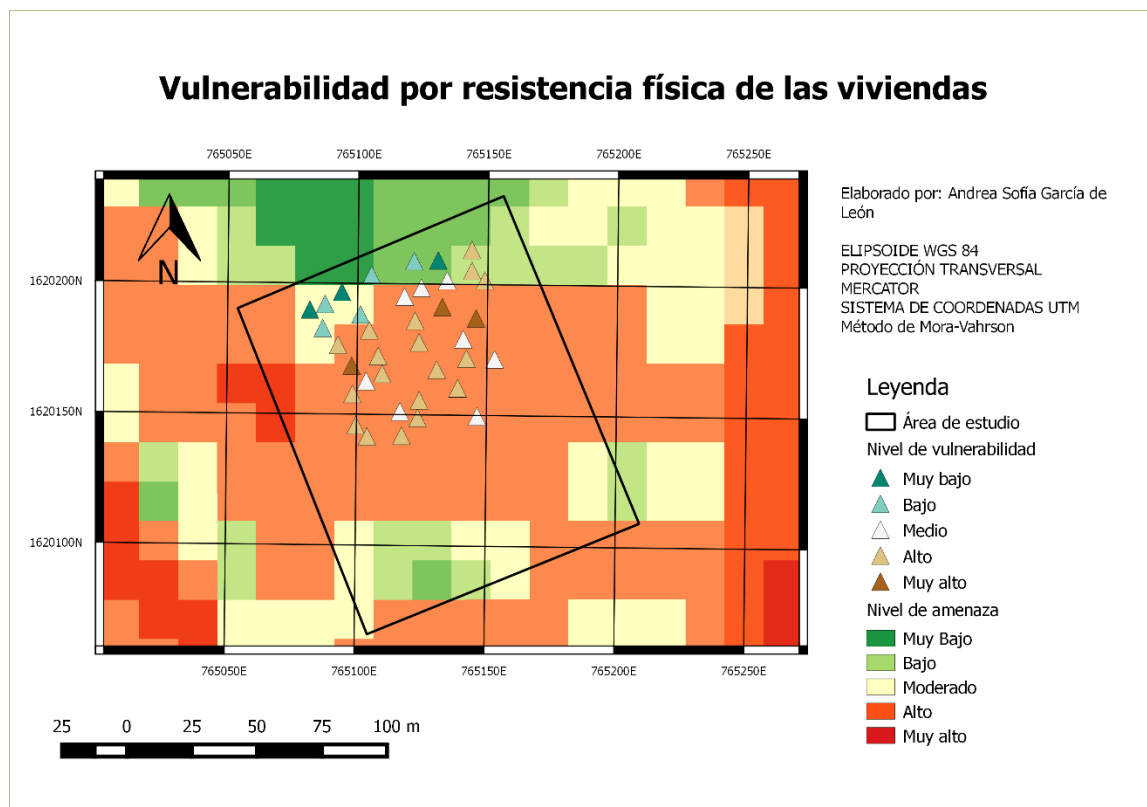
Fuente: elaboración propia.

En color celeste se observan las viviendas edificadas con *block* que cumplen con algunas normas de construcción y que fueron construidas por albañiles. En azul se observan las casas que están construidas con *block* o ladrillo de forma artesanal, muchas veces construidas por los mismos habitantes. Las viviendas que están construidas con lámina nueva o en buen estado se representan con color amarillo. La mayor parte de las viviendas están

construidas con lámina o madera en mal estado, simbolizadas en el mapa con el color magenta. En color rojo se observan las tres viviendas que utilizaban las secciones del talud como pared.

En la figura 44 se muestra la clasificación de los niveles de vulnerabilidad de acuerdo con este indicador. El 8,11 % de las viviendas tiene un nivel muy bajo de vulnerabilidad. Las viviendas con nivel bajo equivalen a 13,51 %. El 21,62 % de las viviendas presenta un nivel medio. El 48,65 % de las viviendas son altamente vulnerables. El 8,11 % tiene una vulnerabilidad muy alta.

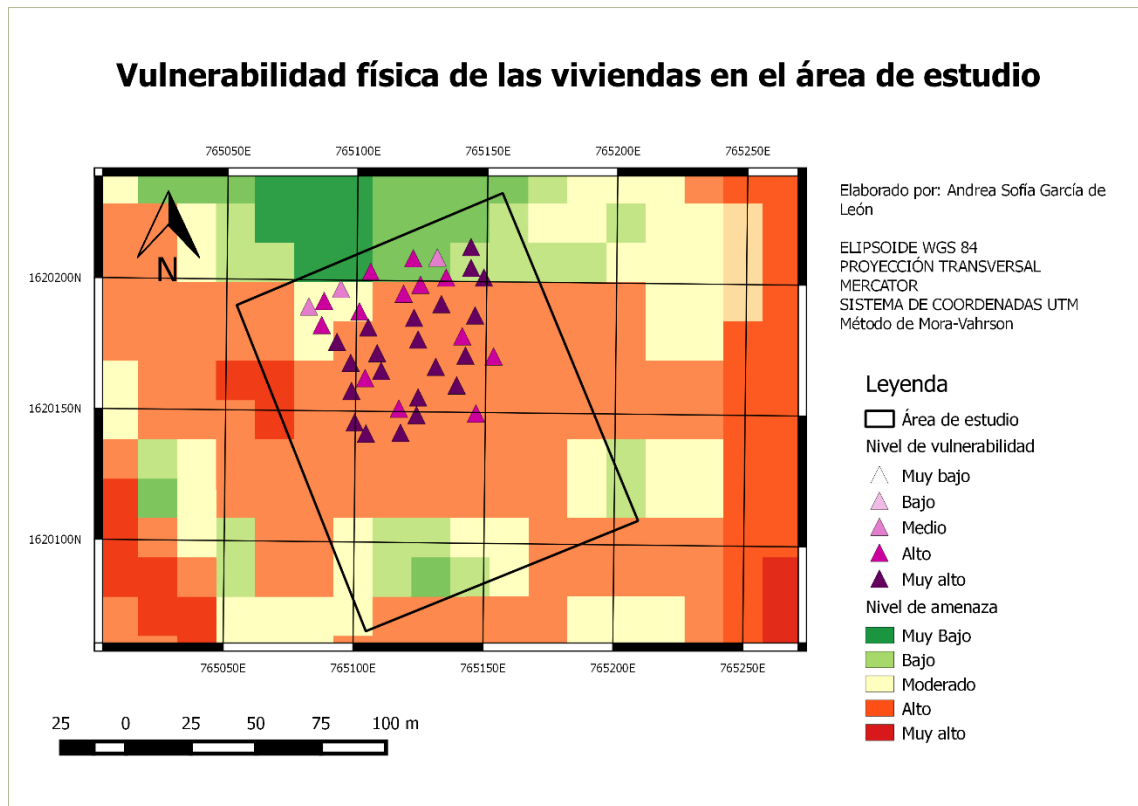
Figura 44. **Vulnerabilidad por resistencia física de las viviendas**



Fuente: elaboración propia.

Se realiza un promedio de ambos indicadores como se muestra en la ecuación 2, para obtener el valor de la vulnerabilidad física general. Esto se expone en la figura 45.

Figura 45. Vulnerabilidad física en el área de estudio



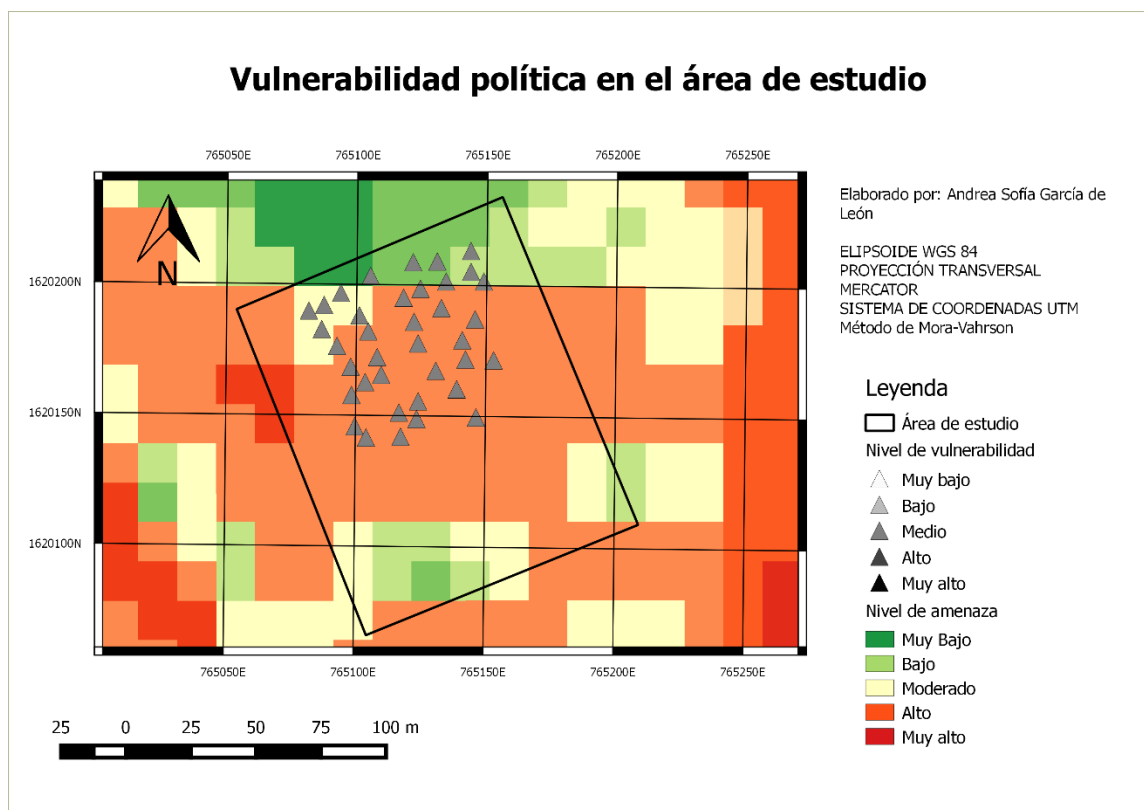
Fuente: elaboración propia.

- Vulnerabilidad política

Este tipo de vulnerabilidad se refiere a las condiciones de organización en los diferentes niveles del gobierno que limitan las posibilidades de gestionar los desastres. En este caso, se evaluó el apoyo municipal y estatal a proyectos comunales, utilizando como indicador el número de proyectos anuales que se

realizan en el área de estudio. Al conversar con los pobladores se estableció que la Municipalidad de Guatemala y el gobierno central, a través de UDEVIPO, ejecutan proyectos en el área. Se estima que los proyectos que benefician a la comunidad son alrededor de uno por cada dos años, por ello se le clasificó con un nivel medio de vulnerabilidad, como se observa en la figura 46.

Figura 46. Vulnerabilidad política en el área de estudio



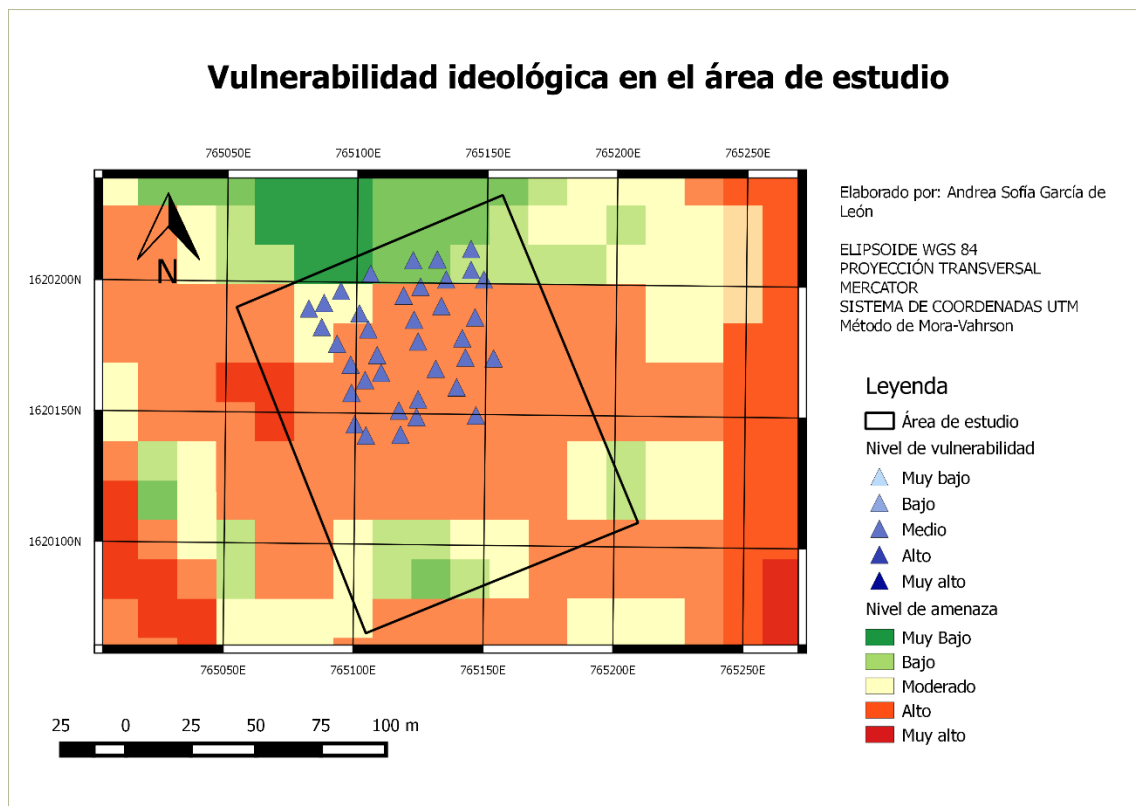
Fuente: elaboración propia.

- Vulnerabilidad ideológica

La vulnerabilidad ideológica abarca la concepción que tienen las personas sobre lo que los rodea, la forma en que se relaciona con su ambiente y la forma de resolver los problemas. En este caso, se evaluó la participación comunal en

la fase pre-desastre, utilizando como indicador el porcentaje de personas que participan en actividades de prevención y preparación. En la figura 47 se muestra que el área de estudio tiene una vulnerabilidad media, ya que se estima que el 48,65% de las familias se ha organizado y ha tomado acciones de preparación y prevención como muros de contención y control de taludes.

Figura 47. **Vulnerabilidad ideológica en el área de estudio**

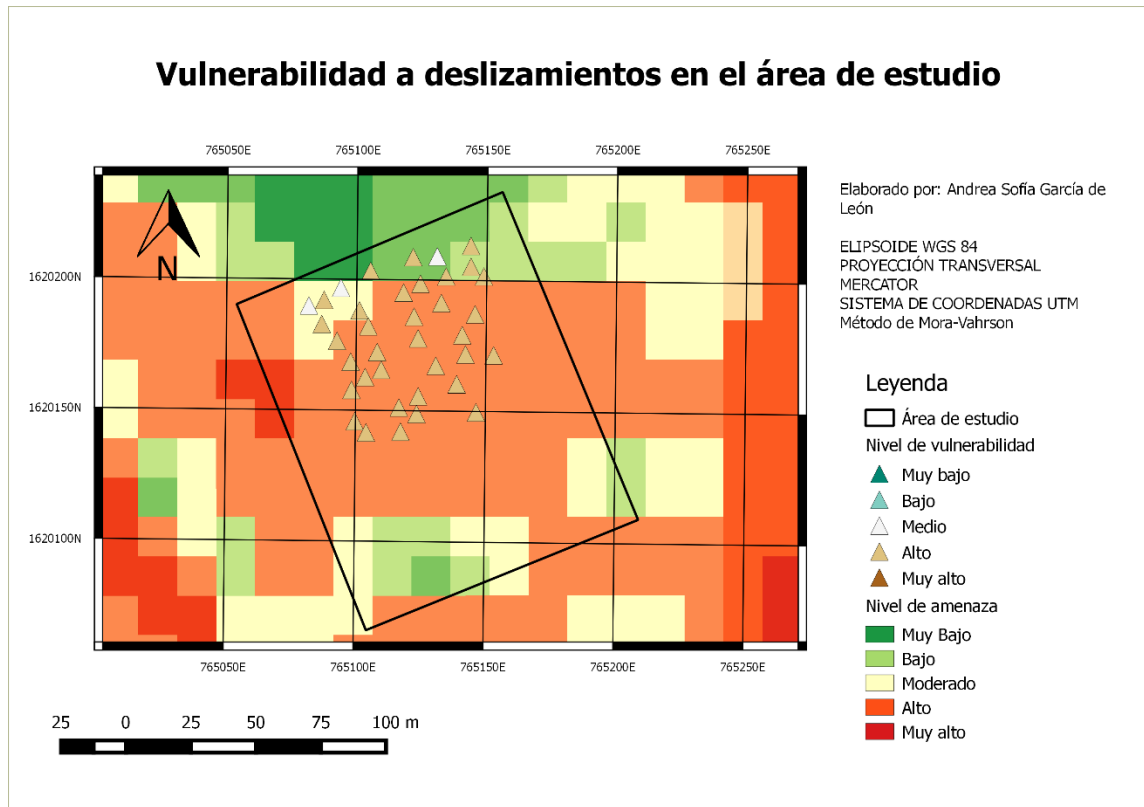


Fuente: elaboración propia.

- **Resultados de vulnerabilidad**

Se operó los tres tipos de vulnerabilidad como se indica en la ecuación 3. Se determinó que el asentamiento tiene una vulnerabilidad media-alta que oscila entre 60 y 76 %, como se muestra en la figura 48.

Figura 48. **Nivel de vulnerabilidad a deslizamientos en el área de estudio**



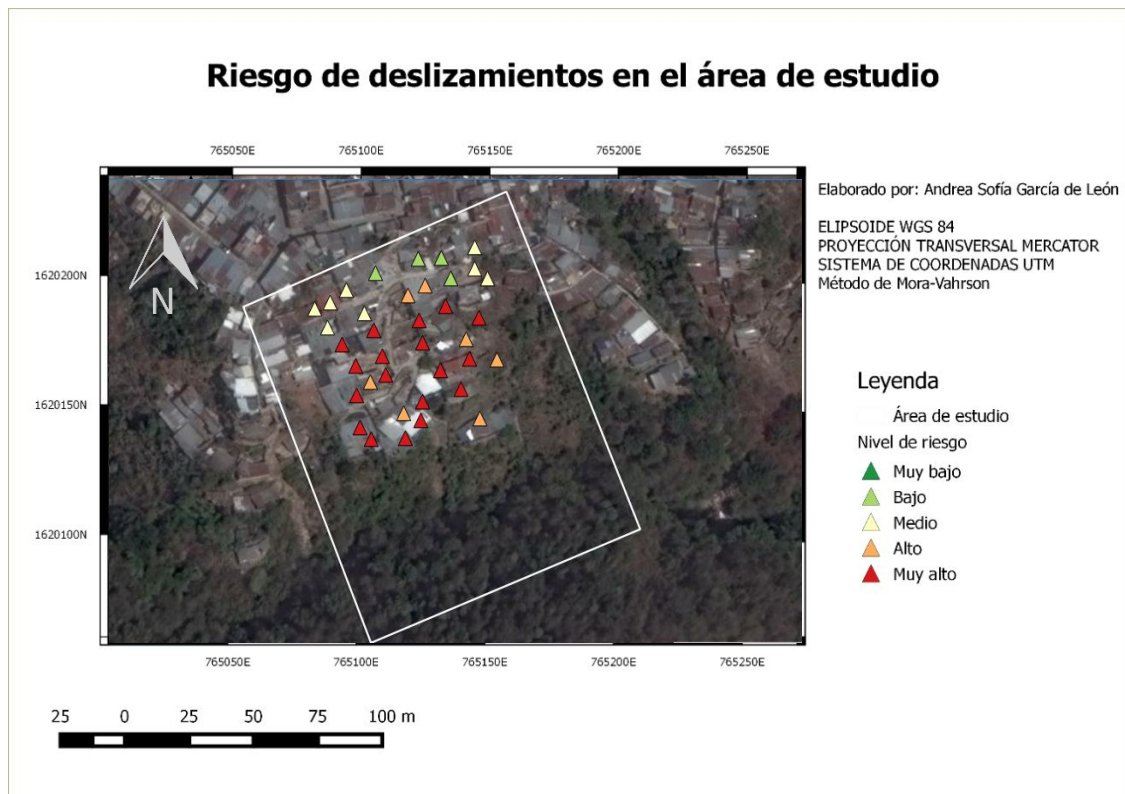
Fuente: elaboración propia.

6.2.3. Evaluación de riesgo de deslizamientos

Para la evaluación de riesgo se multiplicó el nivel de amenaza por el nivel de vulnerabilidad, como se mostró en la ecuación 3. Como resultados se obtuvo el nivel de riesgo para cada vivienda del asentamiento. El 48,65 % de las viviendas se encuentra en una zona de muy alto riesgo. Las viviendas que presentan un nivel alto de riesgo equivalen a 18,92 %. Un 21,62 % de las viviendas está en una zona de riesgo medio. Únicamente el 10,81 % de las

viviendas tienen un nivel de riesgo bajo. Esto se visualiza en la figura 49. En promedio, el nivel de riesgo para el área de estudio es alto.

Figura 49. Nivel de riesgo de deslizamiento en el área de estudio



Fuente: elaboración propia.

6.2.4. Opinión de expertos

Para validar los resultados se convocó a un grupo de expertos que dio su opinión sobre los métodos utilizados. Se entrevistó a cinco profesionales con varios años de experiencia en las áreas de gestión de riesgo, deslizamientos o Sistemas de Información Geográfica.

En la primera sección de la entrevista, se les cuestionó sobre las condiciones físicas del asentamiento y cómo esto podría repercutir en el nivel de riesgo al generar vulnerabilidad. A continuación se presentan las opiniones que externaron.

En cuanto al mal funcionamiento del drenaje pluvial, los cuatro expertos estuvieron de acuerdo con que es un factor que puede aumentar el riesgo de deslizamiento en una comunidad. Indicaron que las laderas más húmedas corren más riesgo y que el agua, al infiltrarse, tiende a erosionar ocasionando cavernas que debilitan el talud llevándolo a colapsar.

Al discutir sobre la influencia de las construcciones de lámina de zinc en los asentamientos, las opiniones estuvieron divididas. La mitad de los profesionales consideró que no es un factor que condiciona la ocurrencia de deslizamientos, como sí ocurre con los cortes en las laderas, el mal manejo de drenaje, deforestación de las áreas y cambio de uso de suelo. La otra mitad considera que sí es un factor importante. Entre sus motivos están que la lámina pesa menos que el *block*, por lo que, aunque representa menos carga para el talud, es menos resistente que el *block* ante un deslizamiento. Además, las viviendas construidas con lámina de zinc no cumplen con normas técnicas de construcción y no incluyen un buen servicio de drenaje, lo que provoca escorrentía.

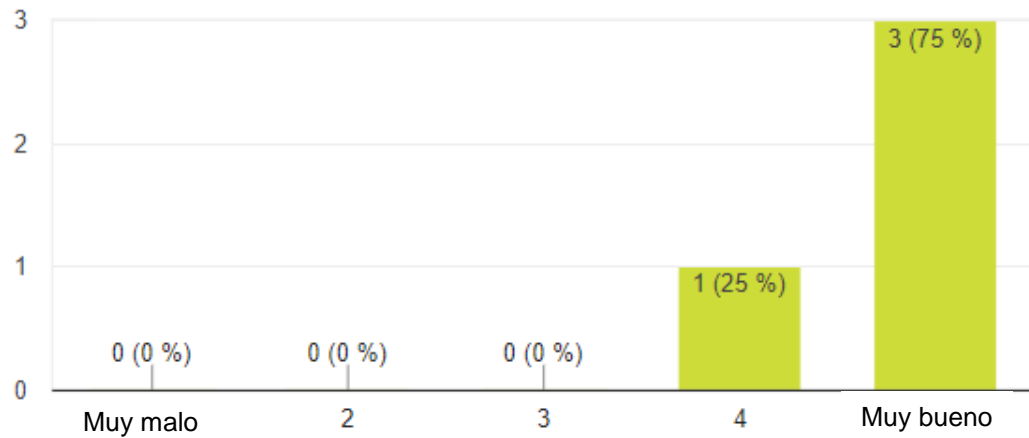
Al referirse a las acciones que toma la comunidad para evitar deslizamientos, como muros de contención y recubrimiento de taludes, indicaron que son buenas, pero en muchos casos son paliativas y no correctivas, no están diseñadas e implementadas correctamente, no son resistentes a deslizamientos grandes y su impacto es temporal. Esto podría mejorarse con capacitación para mejorar sus métodos.

Todos los expertos respondieron que no se debe legalizar las propiedades de los terrenos en áreas susceptibles a deslizamientos. Aunque la invasión de terrenos es una consecuencia de problemas más profundos, autorizar a la población a vivir en esas zonas es poner en riesgo su vida, lo que contradice un mandato constitucional. Es necesario que el gobierno central, municipalidades y comunidades, implementen soluciones estructurales para que puedan realizar el proceso de legalización, siempre tratando a los comunitarios como personas con derechos.

En la segunda parte de la entrevista, se les pidió evaluar el software y los métodos utilizados. Se empleó una escala del uno al cinco, que va de muy malo a muy bueno, respectivamente.

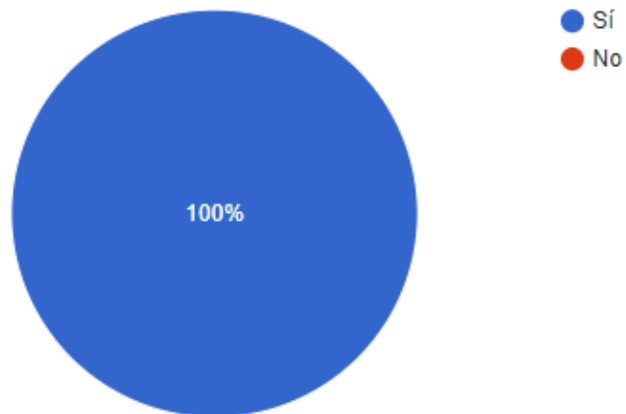
En la figura 50 se muestra la opinión de los expertos respecto al uso de Sistemas de Información Geográfica para la gestión de riesgo; la mayoría lo calificó como muy bueno. También indicaron que consideran que el uso de Sistemas de Información Geográfica para la gestión de riesgo ahorra tiempo y recursos económicos, como se observa en la figura 51. Esto es porque es una herramienta que analiza y administra la información de forma eficiente y transparente, permite obtener una mejor perspectiva de los hechos, teniendo una visión de lo general a lo específico, aportando una idea más clara del territorio y disminuyendo el trabajo de campo. Igualmente señalaron que es útil para la toma de decisiones, como se observa en la figura 52. La validez de los datos depende de la escala y de la resolución, pero, aun con las limitantes de la adquisición de información, si se utilizan responsablemente, pueden facilitar la toma de decisiones.

Figura 50. **Calificación del uso de Sistemas de Información Geográfica para la gestión de riesgo**



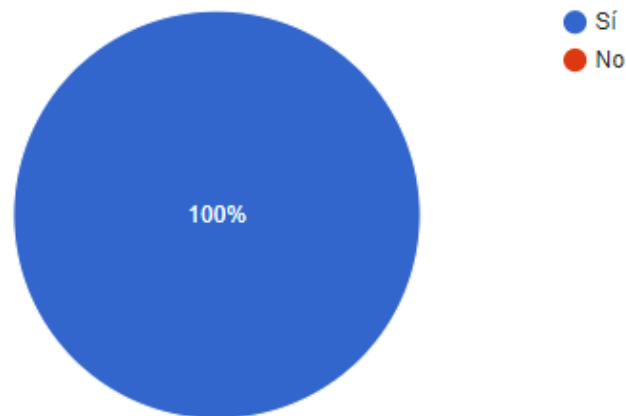
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Ahorro de tiempo y recursos económicos con el uso de Sistemas de Información Geográfica**



Fuente: elaboración propia.

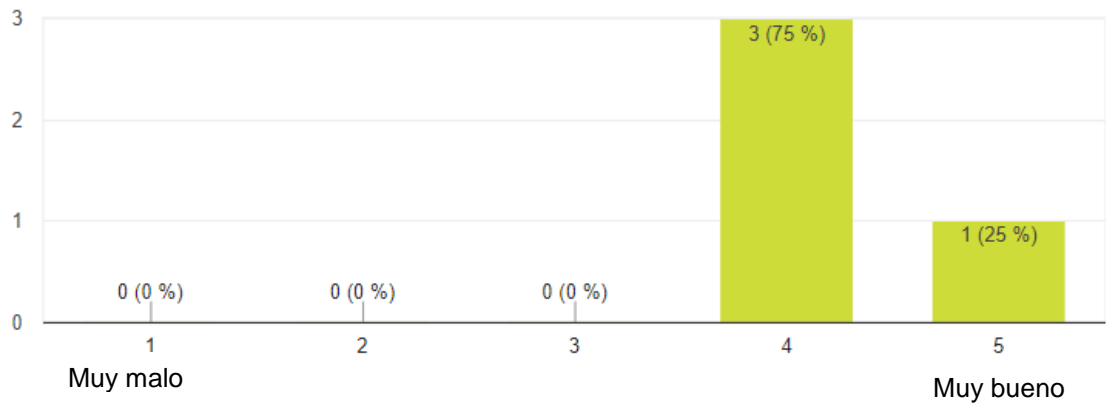
Figura 52. **Obtención de datos precisos para toma de decisiones con el uso de Sistemas de Información Geográfica**



Fuente: elaboración propia.

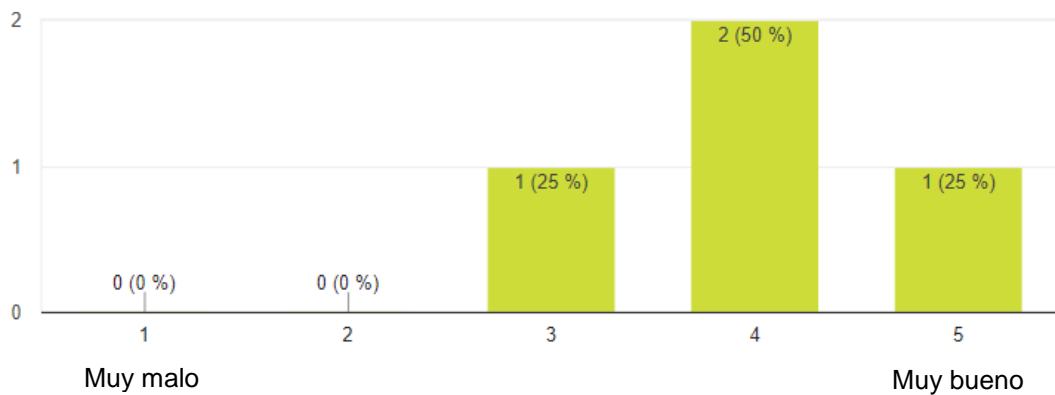
En la figura 53 se observan los resultados de la evaluación que realizaron los expertos al método Mora-Vahrson. En promedio le otorgaron una calificación de 4,25, lo que indica que consideran el método como bueno. Asimismo, en la figura 54 se observan las calificaciones del método de evaluación de vulnerabilidad modificado. En promedio, lo valoraron como bueno. Al evaluar la combinación de ambos métodos para estimar el nivel de riesgo de deslizamiento, le dieron una calificación entre medio y bueno, como se puede observar en la figura 55. Para este resultado argumentaron que es necesario obtener mayor cobertura de la información y una mejor escala, además se deben incorporar las diferentes vulnerabilidades que no fueron incluidas en esta metodología y todo debe ir acompañado de análisis e interpretación.

Figura 53. **Evaluación de la aplicación del método Mora-Vahrson**



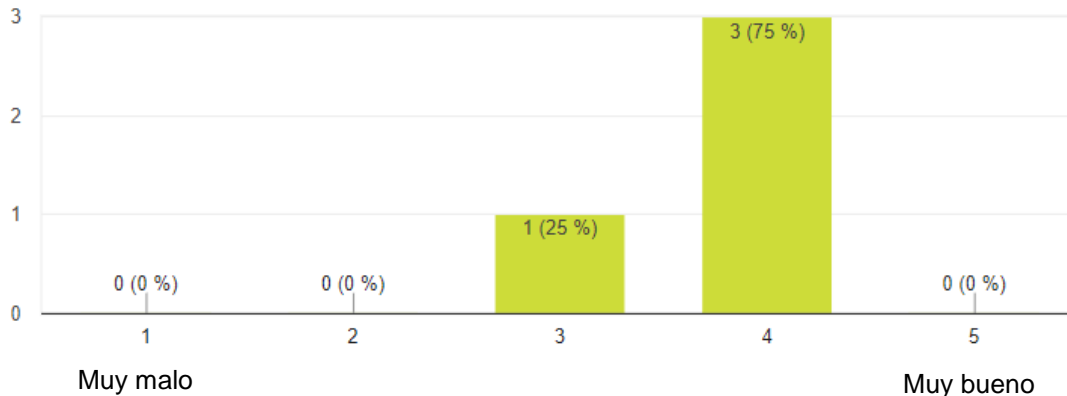
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Valoración de la aplicación del método modificado de evaluación de vulnerabilidad**



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Valoración de la combinación de los métodos utilizados para estimar el nivel de riesgo de deslizamiento**



Fuente: elaboración propia.

A continuación se citan algunas de las opiniones técnicas de los profesionales entrevistados:

“Los SIG son una herramienta invaluable en la toma de decisiones. Esencialmente en la administración, manejo y análisis de datos de manera simultánea. Brindando al investigador, con la metodología adecuada y los datos veraces, la ventaja de realizar un análisis situacional correcto, puntual y oportuno. Además de la creación de diferentes escenarios y que con ello puedan sugerir, ejecutar o programar acciones preventivas en las zonas de riesgo.

Se evidencia en el presente informe, claramente, áreas de afectación directa, susceptibles a deslizamientos, con grandes vulnerabilidades que deben ser corregidas y tomadas en cuenta por las autoridades pertinentes”.

- Inga. Carla Gordillo, 2017

“El trabajo contiene aportes importantes al conocimiento, sin embargo, por las condiciones de la zona existen altas probabilidades a que ocurran deslizamientos que afecten las viviendas. Por lo anterior yo enfatizaría que es necesaria la reubicación de las viviendas en zonas de alto y muy alto riesgo, así como realizar el análisis de costo-

beneficio de la implementación de medidas de mitigación en las viviendas en mediano o moderado riesgo”.

- Ing. Juan Pablo Oliva Hernández, 2017

“El uso de SIG es útil para la toma de decisiones, pero también dependerá de cómo utiliza la información espacial, ya que no hay que mezclar información de distintos niveles de resolución. Lo más importante es saber interpretar los resultados”.

- Ing. Walter Bardales Espinoza, 2017

7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tomando en consideración los elementos clave y los objetivos de esta investigación, contrastando con la opinión de expertos y la revisión de literatura, se redactó el apartado de interpretación de la siguiente forma:

7.1. Tipos de deslizamiento

Para evaluar los tipos de deslizamiento que podrían afectar la zona de estudio, se realizó una revisión de la literatura donde se determinó que los deslizamientos se clasifican en derribo, desprendimiento de roca, derrumbe rotacional, derrumbe traslacional, corriente de escombros, corrientes de tierra y arrastre. Cada uno de estos tiene características específicas, así como sus propias medidas de previsibilidad y mitigación.

En el caso del área del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, después de la evaluación de las condiciones físicas se seleccionaron dos tipos de deslizamiento que se consideraron con mayor posibilidad de ocurrencia. Estos fueron el arrastre y corriente de escombros.

El arrastre es uno de los tipos de deslizamiento más comunes, implica un movimiento lento y constante, no suele ser violento, pero puede llevar a fallas más drásticas del suelo que son más destructivas y rápidas. Las principales causas son la intemperización química o física, drenaje deficiente y tipos de construcción desestabilizantes. Estas condiciones están presentes en el área de estudio. Gran parte del talud se encuentra expuesto a los cambios del entorno como la temperatura y la humedad, lo cual puede alterar su

composición, causando erosión y la transformación de las rocas en materiales más suaves y porosos. Se aprecia que el drenaje pluvial de la comunidad es ineficiente, además el ensayo de dilatancia realizado *in situ* reflejó una arena limosa de color amarillento que indica presencia de hierro o hierro hidratado, indicador de un suelo mal drenado. Por otro lado, las edificaciones pesadas y sin la aplicación de técnicas de construcción adecuadas que se encuentran en la parte alta del asentamiento pueden resultar desestabilizantes.

Una corriente de escombros es un movimiento continuo y rápido. Pueden ser mortales por su velocidad y tamaño, ya que pueden mover incluso casas. Están formados por una mezcla de suelo, roca, materia orgánica y agua. Este tipo de deslizamiento se produce principalmente en barrancos empinados como es el caso del área de estudio, que presenta pendientes mayores de 60 grados. Suelen ser causados por un flujo intenso de agua superficial que erosiona y moviliza la tierra y rocas. Esto debe considerarse en el área de estudio porque, con la intensidad de lluvia que se presenta actualmente en la ciudad capital, puede generarse un caudal de escorrentía grande, para el que sería insuficiente el drenaje pluvial del asentamiento Anexo 4 de Febrero, movilizándolo no sólo suelo sino también basura y parte de los materiales de las viviendas que no están asegurados, como láminas de zinc y costales con arena que son utilizados como muro.

A pesar de que se eligieron únicamente dos tipos de deslizamiento, no se descarta la posibilidad de que alguno de los otros eventos tenga lugar en el área de estudio.

7.2. Validación de los Sistemas de Información Geográfica

Para validar el uso de las herramientas de información geográfica se recurrió a la revisión de antecedentes y a la opinión técnica del grupo de expertos. Por otro lado, los expertos señalaron que los sistemas de información geográfica son buenos para ahorrar tiempo y recursos porque disminuyen el trabajo de campo. Son útiles para la toma de decisiones preliminares, especialmente para conocer cuáles son las áreas de acción prioritaria. Además, permiten manejar una gran cantidad de información de forma simultánea y facilitan el análisis de datos.

El método Mora-Vahrson ha sido utilizado en países centroamericanos como Costa Rica y Guatemala. Analiza factores físicos que podrían predisponer el terreno a la ocurrencia de deslizamientos, tales como pendientes fuertes, suelos húmedos y la presencia de materiales piroclásticos de pómez y cenizas volcánicas con malos drenajes o poca cohesión. Además, evalúa los dos principales desencadenantes naturales de deslizamientos: precipitaciones y actividad sísmica. Este método no toma en cuenta ningún factor antropogénico, ni las vibraciones que también podrían ser un factor de disparo de deslizamiento.

Entre las dificultades que se presentaron para la aplicación del método se encuentra la disponibilidad de información a la escala necesaria. Para generar el mapa de pendientes se utilizó un modelo de elevación digital de 15 metros de resolución, el cual es insuficiente para el área de estudio, ya que, por ser una zona pequeña y con altos valores de pendiente, para un mejor análisis del comportamiento se necesitaría la elevación a cada metro. Por otro lado, el acceso a la información para digitalizar, ya sean mapas o bases de datos, es limitado.

En la revisión de los antecedentes se encontraron estudios que utilizaron el método de Mora-Vahrson para toda el área metropolitana de Guatemala, pero por la escala utilizada no se podía hacer una comparación entre la aplicación de ambos métodos para validarlo. Además, presentan limitaciones de información geológica y meteorológica a detalle de la totalidad del área estudiada, por lo que se podría estar subestimando el porcentaje de superficie ubicada en amenaza alta y muy alta. Estas deficiencias, combinadas con la amplitud del rango de valores de amenaza que se utilizaron en los estudios previos, permiten establecer las razones de la diferencia en los resultados de amenaza de ambos estudios, siendo moderada en los antecedentes y alta en esta investigación.

El grupo de expertos calificó la aplicación de este método de bueno a muy bueno. Sin embargo, remarcaron como una limitación la falta de disponibilidad de información y la posibilidad de resultados erróneos por la operación de información geográfica con diferentes resoluciones.

El método modificado de evaluación de vulnerabilidad ha sido utilizado para evaluar cuencas en Honduras. Evalúa diez tipos de vulnerabilidad: física, ideológica, política, cultural, educativa, ecológica, institucional, económica, social y técnica. Sin embargo, la adaptación que se hizo del método al sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero únicamente toma en cuenta algunos parámetros de vulnerabilidad física, ideológica y política, tales como la presencia de viviendas en laderas, material de construcción de la vivienda, el apoyo municipal y estatal a proyectos comunales y la participación comunal en la fase pre-desastre. Esta información se obtuvo de las entrevistas realizadas en la visita de campo y se presentó un valor por casa de la comunidad.

Este método presenta algunas deficiencias, entre las que se encuentran la dificultad para acceder a la información, ya que se tiene que encuestar a los pobladores y esto aumenta el tiempo y los recursos destinados al trabajo de campo, además no todos los vecinos están anuentes a colaborar con brindar información sensible. Asimismo, el hecho de no considerar los diez tipos de vulnerabilidad y todas sus variables puede afectar considerablemente los resultados. En este caso, se asumió que el asentamiento presenta condiciones de vulnerabilidad similares a las de la mayoría de los asentamientos urbanos de la zona metropolitana de Guatemala, por lo que se consideró como una muestra representativa evaluar la vulnerabilidad física, ideológica y política, para verificar algunas de las condiciones específicas del área de estudio.

Al evaluar este método, los expertos lo catalogaron de moderado a bueno, ya que no incluye todos los tipos de vulnerabilidad que se deben tomar en cuenta para presentar un dictamen certero. Sin embargo, los resultados presentados pueden servir como información base para ubicar zonas de atención prioritaria y para realizar estudios más profundos.

En general, los profesionales establecieron que los métodos utilizados son buenos para estimar el nivel de riesgo de deslizamiento. Deben ir de la mano de mucho análisis e interpretación. Además, es importante la cantidad de información del área de estudio para que las estimaciones sean más confiables y precisas.

7.3. Zonificación de amenaza y vulnerabilidad de deslizamiento en el área de estudio

En la Ciudad de Guatemala se encuentra un sistema de barrancos profundos que determinan las condiciones topográficas y de drenaje natural.

Estos barrancos, en los que la amenaza de deslizamiento es latente, han sido afectados por la expansión territorial, incluyendo al asentamiento Anexo 4 de Febrero.

Para zonificar la amenaza en el área de estudio se utilizó un mapa elaborado en QGIS. En el 67,57 % de las viviendas del asentamiento, el nivel de amenaza oscila de moderado a alto. Esto se debe principalmente a las fuertes pendientes, al suelo constituido por piedra pómez y a los altos niveles de amenaza sísmica y lluvia máxima diaria. En la parte alta del asentamiento se presenta un índice bajo de susceptibilidad a deslizamiento. Esto se debe a que estas viviendas se encuentran en la cima de la ladera donde el terreno es plano.

Se puede deducir que el nivel de amenaza de deslizamiento no es un factor tomado en cuenta en el modo en que se ha ocupado el territorio para la formación de asentamientos urbanos. Esto se demuestra mediante la observación de la ubicación de la mayor cantidad de viviendas, que se localizan en las áreas de mayor pendiente y con condiciones geológicas susceptibles a erosión y deslizamientos. El problema se agudiza durante la época lluviosa o en el caso de un movimiento sísmico.

En el caso de la vulnerabilidad, se ubicaron las 37 viviendas que componen el asentamiento y se les asignó un valor para cada una de las variables analizadas. Los aspectos ideológicos y políticos tienen el mismo valor para toda la comunidad, las diferencias se presentan en los factores físicos, especialmente en el material de construcción.

El 56,76 % de las viviendas son muy alta o altamente vulnerables. Esto se debe principalmente a que están construidas con materiales con poca

resistencia estructural, como lámina de zinc en mal estado o bajareque; también se observaron viviendas que utilizaban el talud como pared, aumentando la vulnerabilidad física. El 21,62 % de las viviendas presenta un nivel medio, están construidas de lámina de zinc en buen estado o con algunos refuerzos estructurales. Otro 21,62 % de las viviendas tiene un nivel muy bajo a bajo de vulnerabilidad, ya que están construidas de *block*, que es más resistente, aunque en algunos casos hayan sido edificadas con técnicas improvisadas.

Se infiere que la vulnerabilidad por deslizamientos guarda una estrecha relación con el nivel de pobreza que impulsa a la población a establecerse en zonas inseguras y deterioradas y a utilizar materiales de construcción baratos, pero de mala calidad. En algunos casos los paredones del talud compuestos de materiales poco cohesivos son utilizados como pared, y al erosionarse podrían provocar deslizamientos de magnitud relevante.

También se debe tomar en cuenta la falta de rigidez institucional para la aplicación de normas ambientales y de construcción. Por otro lado, las diferentes percepciones del desastre que tienen las personas, en muchos casos conformistas o escépticas, no permiten una adecuada organización comunitaria para generar acciones de respuesta ante desastres de forma colectiva. Además, el difícil acceso a la comunidad, en el momento de un desastre, dificultaría los procesos de evacuación y rescate.

7.4. Caracterización de riesgo de deslizamientos

Tomando en consideración todo lo anterior se procedió a caracterizar el riesgo en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero. Se multiplicó el nivel de amenaza por el nivel de vulnerabilidad, como resultado se obtuvo el nivel de

riesgo para cada vivienda del asentamiento. En promedio, el nivel de riesgo para el área de estudio es alto, con lo que se cumple con la hipótesis propuesta.

La probabilidad de que un deslizamiento súbito e inesperado ocurra es alta y dados los niveles de vulnerabilidad, la comunidad del sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero está expuesta a un desastre con consecuencias graves en las personas, las viviendas y el ambiente. El único elemento del riesgo que se puede modificar es la vulnerabilidad, por lo que se debe trabajar con la comunidad para generar las capacidades de resiliencia y recuperación ante el impacto de los desastres. Se deben abarcar los diferentes tipos de vulnerabilidad.

La medida de prevención más efectiva es el traslado de las viviendas en alto riesgo a zonas más seguras. Sin embargo, en muchas ocasiones la condición socioeconómica de las familias no se los permite. Las medidas de mitigación que son aplicadas por los vecinos interesados en legalizar su terreno no resuelven el problema y los hacen incurrir en gastos que en muchas ocasiones no son recuperables. Es necesario realizar un acompañamiento técnico y un análisis de costo-beneficio para que las medidas tomadas sean lo más eficientes posible. Además, el apoyo institucional coyuntural debe ocupar un papel secundario y se deben fortalecer las acciones de prevención y mitigación.

La poca planificación para la reducción de daños provocados en caso de movimientos sísmicos y precipitaciones intensas puede ser un factor determinante para la ocurrencia de un desastre. Esto se comprueba con la mala calidad de drenajes pluviales y la falta de aplicación de técnicas antisísmicas en las construcciones. Se debe tomar en cuenta que para muchas de las familias que habitan en los asentamientos enfrentar el riesgo de deslizamiento no es

una prioridad, ya que primero buscan solventar algunas de sus necesidades básicas como alimentación y salud.

La gestión de riesgo en el país es un proceso complejo y difícil. Se hace evidente la necesidad de regular del uso de la tierra urbana, aprovechando su vocación. En este caso, las laderas podrían ser utilizadas con fines recreativos o para el aprovechamiento de los servicios ambientales que podrían prestar (recarga hídrica, captación de carbono, etc.). Esta medida debe ir acompañada del desarrollo de políticas de vivienda segura y digna que permitan a los habitantes trasladarse a zonas con menos riesgo de deslizamiento, además de generar programas de reducción de vulnerabilidad que pueden incluir acciones como apoyar a la organización comunitaria, la educación ambiental y de gestión de riesgo, el acceso a empleos y la disminución de la burocracia y de la politización de algunos procesos relacionados con instituciones cuyas funciones incluyen la gestión de riesgo.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que los tipos de deslizamiento a los que está expuesta el área de estudio son arrastre y corriente de escombros. Sin embargo, no se descarta la ocurrencia de alguno de los otros tipos de deslizamiento.
2. El grupo de expertos consideró que las herramientas de Sistemas de Información Geográfica utilizadas para predecir el riesgo de deslizamiento en el área de estudio son buenas, lo cual valida la metodología. Sin embargo, manifestaron que se debe tomar en cuenta la posibilidad de que los resultados subestimen el nivel de riesgo debido a las limitantes en la información geográfica utilizada.
3. El nivel de amenaza en el 67,57 % de las viviendas del asentamiento oscila de moderado a alto, y el 56,76 % de las viviendas tienen un nivel de vulnerabilidad de alto a muy alto.
4. En el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero, zona 7 del Municipio de Guatemala, el nivel de riesgo de deslizamiento promedio es alto, lo cual se estableció por medio del método de Mora-Vahrson y el método modificado de evaluación de vulnerabilidad, aplicados en Sistemas de Información Geográfica.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio técnico de todos los tipos de deslizamiento que pueden afectar el asentamiento Anexo 4 de Febrero y hacer un análisis de costo-beneficio, para que las medidas de mitigación aplicadas respondan a estos tipos de deslizamiento.
2. Generar una biblioteca de información geográfica con datos básicos a diferentes escalas, que esté disponible al público en general y sea alimentada por entidades del Estado, las universidades del país y los investigadores.
3. Dado que la vulnerabilidad es el único aspecto del riesgo que puede ser modificado, se les recomienda a las comunidades en riesgo de deslizamientos y a la población en general, ubicar las viviendas en zonas seguras. De no ser posible, reducir la vulnerabilidad monitoreando su entorno, informándose sobre la gestión de desastres, participando en procesos de organización comunitaria y aplicando las medidas de mitigación más efectivas.
4. No legalizar los terrenos ubicados en laderas que presenten un nivel muy alto de riesgo, y también desarrollar y hacer cumplir los planes de ordenamiento territorial, para evitar la construcción de viviendas en áreas de riesgo y generar políticas públicas relacionadas al acceso a la vivienda digna y segura y a la reducción de la vulnerabilidad política, educativa, institucional, económica y técnica en las comunidades ubicadas en zonas de riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
2. AZORÍN DOMÍNGUEZ, María del Carmen; CUDEIRO, Yudy. *Monografía: Estudios de Ordenamiento Territorial*. Cienfuegos : Universidad de Cienfuegos, 2005. 121 p.
3. BARILLAS, Edy. *Estudio hidrogeológico para la implementación de un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos en asentamientos urbanos del Departamento de Guatemala, Centro América*. Guatemala: Oxfam GB–ESFRA–ISMUGUA, 2007. 40 p.
4. BARILLAS, Edy; CARRERA, Maribel. *Preparación ante desastres en asentamientos precarios de la zona metropolitana de Guatemala, Centro América*. Guatemala : Oxfam, 2009.
5. BARILLAS, Edy; COE, Jeff. *Historia y ocurrencia de los deslizamientos generados por lluvia en Guatemala, Centro América*. Guatemala: Fundación Fulbright, 2013. 65 p.
6. CASTRO CONDE MONZÓN, Miriam Eugenia. *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: Facultad de Ingeniería, 2013.

7. CRUDEN, D.M, y VARNES, D.J. *Tipos y procesos de deslizamiento*. En: TURNER, Keith; SCHUSTER, Robert L. *Deslizamientos. Investigación y mitigación*. Consejo Nacional de Investigación. Washington DC: 1996, núm. 247, págs. 36-75
8. CUBILLOS-GONZÁLEZ, Rolando; RODRÍGUEZ ÁLVAREZ, Claudia. *Evaluación del factor de habitabilidad en las edificaciones sostenibles*. Revista Nodo. 2013, Vol. 8, núm. 15, p. 47.
9. Dirección de Planificación Urbana. *Áreas de conservación natural y de alto riesgo*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala. [en línea] <http://pot.muniguate.com/docts_soporte/13_areas_de_consevacion.php>. [Consulta: 6 de enero de 2017].
10. ERB, Markus. *Gestión de riesgo en la seguridad informática. Amenazas y vulnerabilidades*. [en línea]. <https://protejete.wordpress.com/gdr_principal/amenazas_vulnerabilidades/>. [Consulta: 11 de abril de 2016.]
11. FREIRE, Paulo. *Los asentamientos humanos en Guatemala*. Educación popular: Guatemala, 2012. [en línea] <http://educacionpopular2012.blogspot.com/2012/05/los-asentamientos-humanos-en-guatemala_17.html>. [Consulta: 11 de abril de 2016.]

12. Gobierno de Guatemala. *Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos*. Guatemala: Presidencia de la República, 2001.
13. GORDILLO, Carla; FLORES, Omar. *Gestión de desastres*. Guatemala: CESEM, 2007.
14. IES Albert Einstein. *Riesgos geológicos externos causados por movimientos del terreno*. [en línea] <http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS_DE_LADERAS.pdf>. [Consulta: 24 de abril de 2016.]
15. ITURRALDE VINENT, Manuel. *Prevención de desastres de origen geológico*. La Habana: Ciencias de la Tierra al Servicio de la Sociedad, 2013. 24 p.
16. HIGHLAND, Lynn; BOBROWSKY, Peter. *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Virginia: Sistema Geológico de lo EUA, 2008. 129 p.
17. MARÍN QUAN, Ronald Arturo. *Prevención de riesgos en asentamientos humanos ubicados en la ciudad de Guatemala, para la reducción de desastres*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2015. 166 p.
18. MASKREY, Andrew. *Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina*. Lima: La Red, 1998.

19. MINER FUENTES, Yojana Suseth. *Determinación de vulnerabilidades temáticas en cuatro asentamientos humanos del área metropolitana de Guatemala ante la amenaza de deslizamientos. Un aporte a la Antropología Urbana*. Guatemala: Escuela de Historia, Universidad de San Carlos, 2002.
20. Ministerio de Salud. *Salud en emergencia y desastres. Conceptos básicos de la gestión de riesgos*. [en línea] <http://www.msal.gob.ar/salud-y-desastres/index.php/informacion-para-comunicadores/conceptos-basicos-de-la-gestion-de-riesgos>. [Consulta: 21 de abril de 2016.]
21. MORA CHINCHILLA, Rolando. *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica, 2004.
22. MORA CHINCHILLA, Rolando; CHÁVEZ GAMBOA, Jeisson; VÁSQUEZ FERNÁNDEZ, Mauricio. *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson*. Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 2002.
23. MUES ZEPEDA, Astrid. *Habitabilidad y desarrollo urbano sostenible*. Atizapán de Zaragoza: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, 2011, p. 64

24. MUÑOZ, Gloria. *Aplicaciones de SIG en gestión de riesgos y emergencias en infraestructura del MOP*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas, 2012.
25. Nosolosig. *El uso de tecnologías de la información geográfica en la gestión de riesgos naturales*. 11 de febrero de 2014. [en línea] <http://www.nosolosig.com/articulos/259-el-uso-de-tecnologias-de-la-informacion-geografica-en-la-gestion-de-riesgos-naturales>. [Consulta: 24 de abril de 2016.]
26. OLAYA, Víctor. *Sistemas de Información Geográfica*. 2010.
27. PANIAGUA, Sergio y CRUZ, Luis. *Desastres y emergencias: prevención, preparación y mitigación*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2002. .
28. PEÑA, Leticia. *Evaluación de condiciones de habitabilidad de la vivienda económica en Ciudad Juárez. Chih.* Colima: Universidad de Colima, 2007. 216 p.
29. PLATAS, Francisco; et. al. *Vulnerabilidad y riesgo urbano: aportes desde la experiencia de Guatemala y México*. Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 176 p.
30. RAMÍREZ, Mariana. Red Sanitaria. Metodología para evaluar riesgos a los que está expuesta la población: un abordaje de la Comisión de Evidencia y Manejo de Riesgos. Abril de 2006. [en línea]

http://189.254.115.246/RevistaRED/portada2006mABRIL/num5_art_15.htm. [Consulta: 20 de abril de 2016.]

31. REYES, Wilmer; et al. *Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras*. CATIE, Revista Recursos Naturales y Ambiente. 2006, núm, 48, págs. 103-110
32. ROMERO ALVARADO, Wilson. *Análisis y propuesta del gasto público en vivienda*. Guatemala: 2002. p. 27
33. SÁNCHEZ DEL VALLE, Rosa. *Percepción del riesgo a desastres en asentamientos precarios urbanos de la ciudad de Guatemala: apuntes para su abordaje*. Facultad de Arquitectura. Revista Avance. 2014, Vol. 4, núm. 1, págs. 25-30
34. SANTIZO RODRÍGUEZ, Karla Dessiré. *Los acuerdos de paz, asentamientos humanos. Limitaciones y avances*. Guatemala: Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, 2006. 97 p.
35. SEGURA, Gustavo; BADILLA, Elena; OBANDO, Luis. *Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba*. Diciembre de 2011. San Pedro de Montes de Oca: SciELO. [en línea] http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242011000200006. [Consulta: 18 de abril de 2016.]
36. TARBUCK, Edward; LUTGENS, Frederick. Procesos gravitacionales: la fuerza de la gravedad. En: Edward Tarbuck, Frederick Lutgens y Dennis Tasa. *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S. A., 2005., págs. 425-444

37. VAN WESTEN, Cees; MONTOYA DE HORN, Lorena; VARGAS FRANCO, Rubén. *Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras*. Tegucigalpa: UNESCO-RAPCA, 2003.
38. WINCHESTER, Lucy. *El desarrollo sostenible de los asentamientos humanos en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL, 2006.
39. ZELAYA, Irma; KUESTERMANN, Arnoldo; ESCOBAR, Carlos. *Asentamientos precarios en la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Momento. Asíes, 2003, p. 5

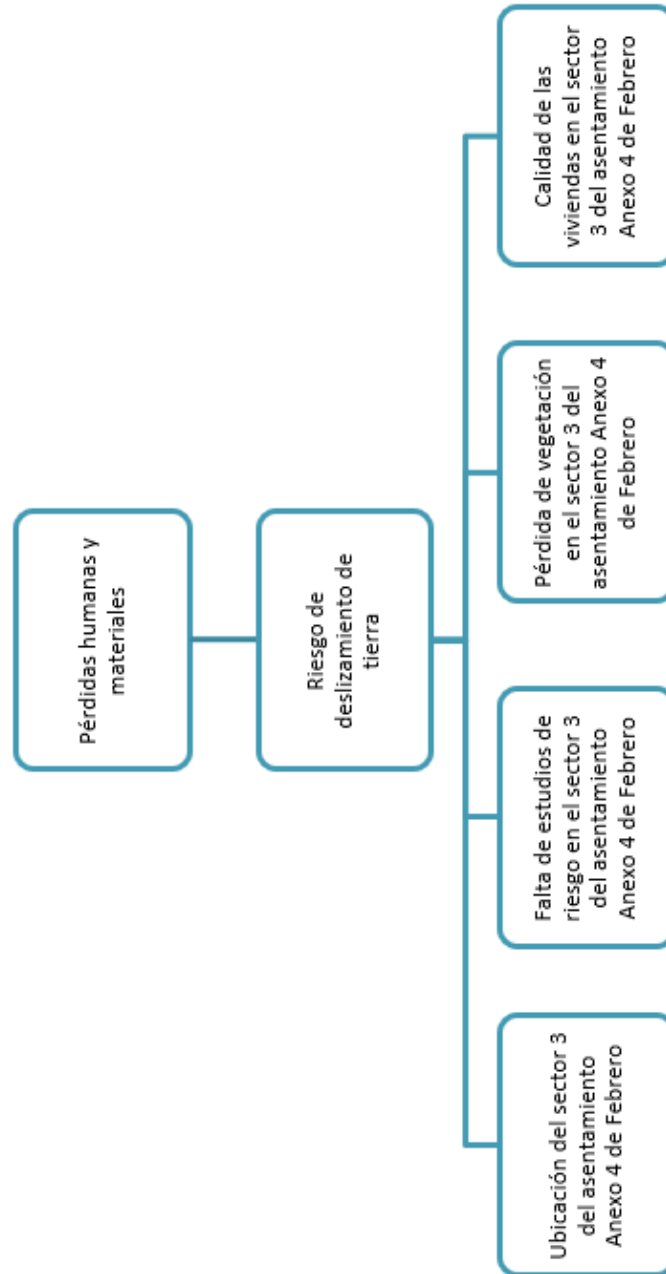
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Temática
Ingeniería Ambiental	Aguas	Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de precipitación • Lluvia máxima
	Materiales	Mecánica de Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Control de erosión • Taludes • Comportamiento de los suelos ante acciones externas
	Sanitaria	Geología	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de suelo • Procesos gravitacionales
		Gestión de desastres	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo • Tipos de amenazas • Medidas de mitigación
	Dibujo y Topografía	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de nivel • Cartografía • Fotografías aéreas • Sistemas de Coordenadas
		Sistemas de Información Geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Digitalización de información • Construcción de mapas
	Complementaria	Climatología	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento de fenómenos climáticos como desencadenantes de desastres

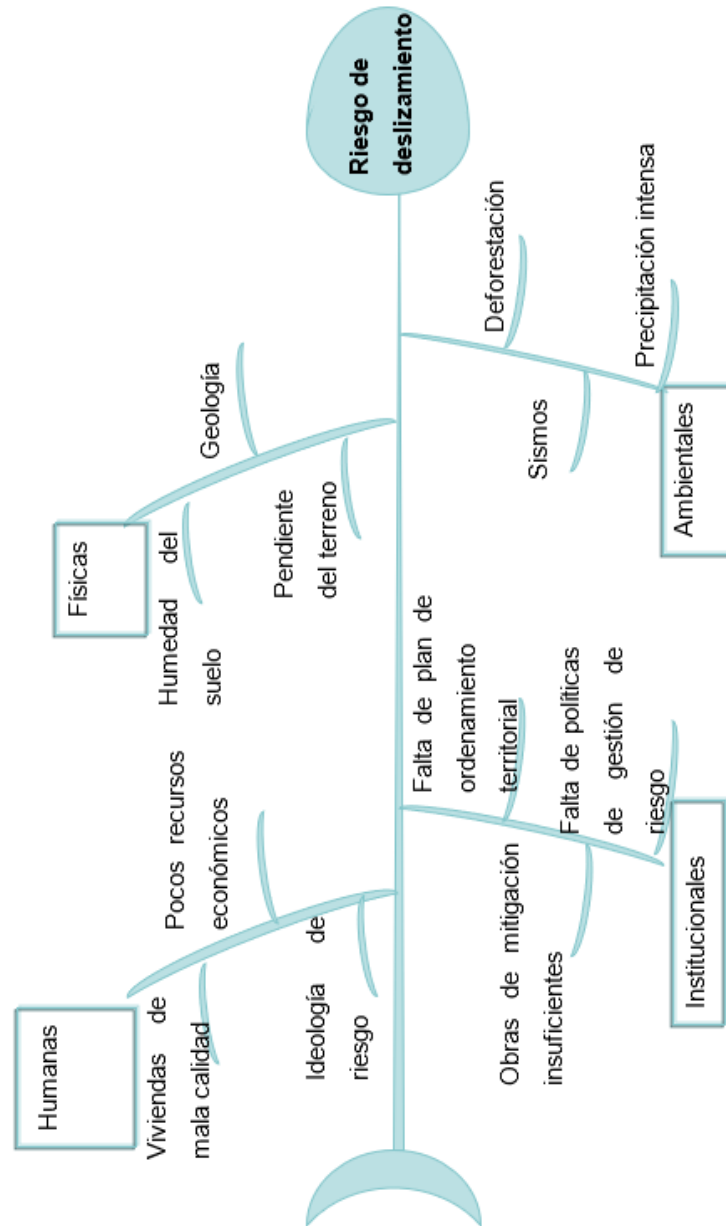
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de problemas






Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Fotografías del área de estudio

Vista superior del asentamiento	Infraestructura construida por la Municipalidad
	
Recubrimiento de talud con drenaje	Parte superior de obra de contención
	
Material suelto del talud	Vista desde la parte media del asentamiento
	

Continuación apéndice 4.

Obra con refuerzo en columnas y cimientos	Muro de contención
	
Tubería de distribución de agua potable expuesta	Tubería de drenaje expuesta
	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Instrumento de grupo de expertos

Riesgo de deslizamiento

Este formulario es un instrumento para la validación por medio de juicio de expertos del trabajo de graduación "Caracterización de riesgo de deslizamiento por medio de Sistemas de Información Geográfica en el sector 3 del asentamiento Anexo 4 de Febrero".

Nombre

Tu respuesta

Profesión

Tu respuesta

Lugar y puesto de trabajo

Tu respuesta

Área de experiencia

- Deslizamientos
- Gestión de riesgo
- Sistemas de Información Geográfica
- Otro:

Años de experiencia

Tu respuesta

Continuación apéndice 5.

Opinión Técnica

Etapa de observación

1. ¿Cree que el mal funcionamiento del drenaje pluvial puede aumentar el riesgo de deslizamientos en una comunidad?

- Sí
 No

¿Por qué?

Tu respuesta

2. ¿Cree que las construcciones de lámina del asentamiento pueden aumentar el riesgo de deslizamientos?

- Sí
 No

¿Por qué?

Tu respuesta

3. ¿Qué opina de las acciones que toma la comunidad para evitar deslizamientos? (recubrimiento de taludes, muros de contención con llantas)

Tu respuesta

4. ¿Considera que se debe legalizar la propiedad de los terrenos en áreas susceptibles a deslizamientos?

- Sí
 No

¿Por qué?

Tu respuesta

Continuación apéndice 5.

Etapas SIG

5. ¿Cómo calificaría la aplicación del método Mora-Vahrson en este trabajo de graduación?

	1	2	3	4	5	
Muy mala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy buena

6. ¿Cómo calificaría la aplicación del método de evaluación de vulnerabilidad modificado en este trabajo de graduación?
(evaluación de vulnerabilidad física, política e ideológica)

	1	2	3	4	5	
Muy mala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy buena

7. ¿Cómo calificaría la utilización de SIG para la gestión de riesgo de deslizamiento?

	1	2	3	4	5	
Muy mala	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy buena

8. ¿Considera que el uso de SIG para la gestión de riesgo ahorra tiempo y recursos?

- Sí
- No

Continuación apéndice 5.

9. ¿Considera que el uso de SIG permite obtener datos precisos y confiables, útiles para la toma de decisiones?

- Sí
 No

¿Por qué?

Tu respuesta

10. ¿Considera que el programa QGIS es adecuado para aplicar esta metodología?

- Sí
 No

¿Por qué?

Tu respuesta

11. De acuerdo con su experiencia y criterio técnico, ¿en qué grado considera que los métodos aplicados puedan estimar el nivel de riesgo de deslizamiento?

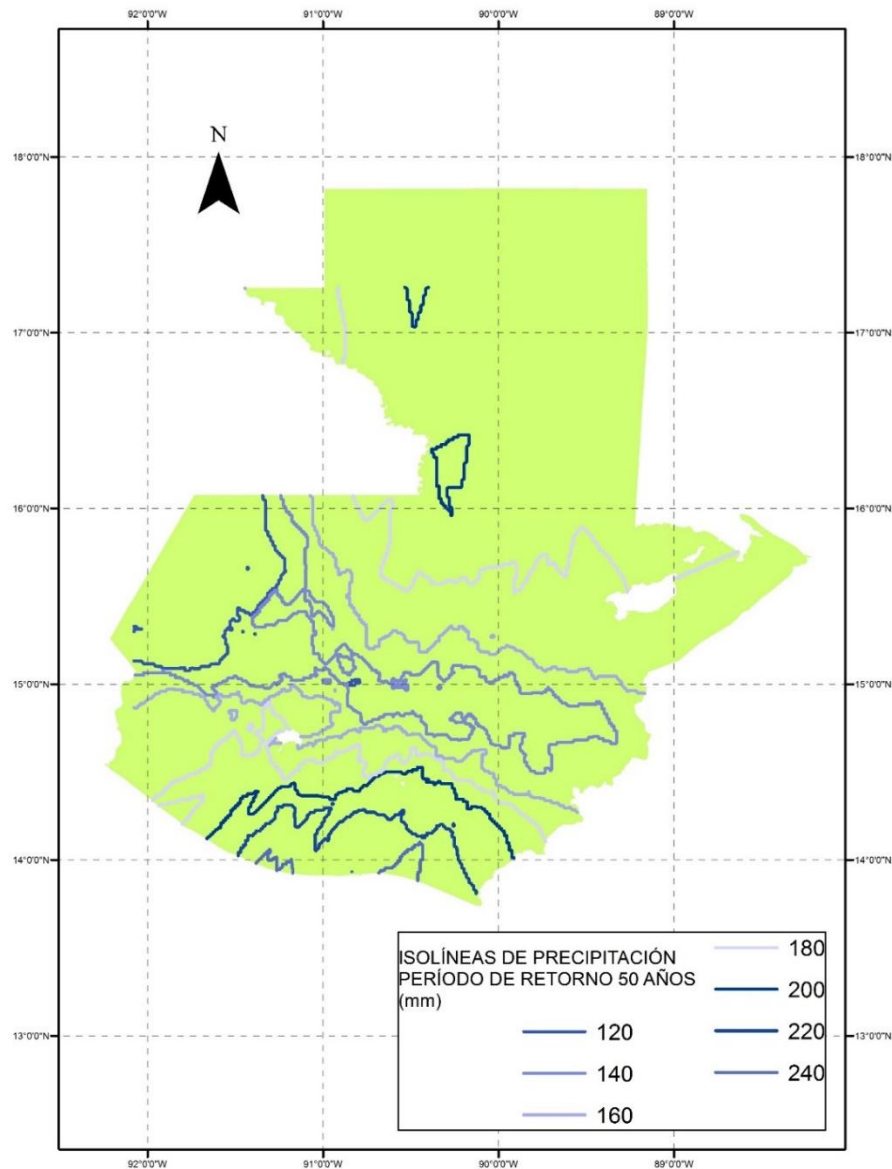
- | | | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Muy malo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Muy bueno |

¿Por qué?

Tu respuesta

ANEXOS

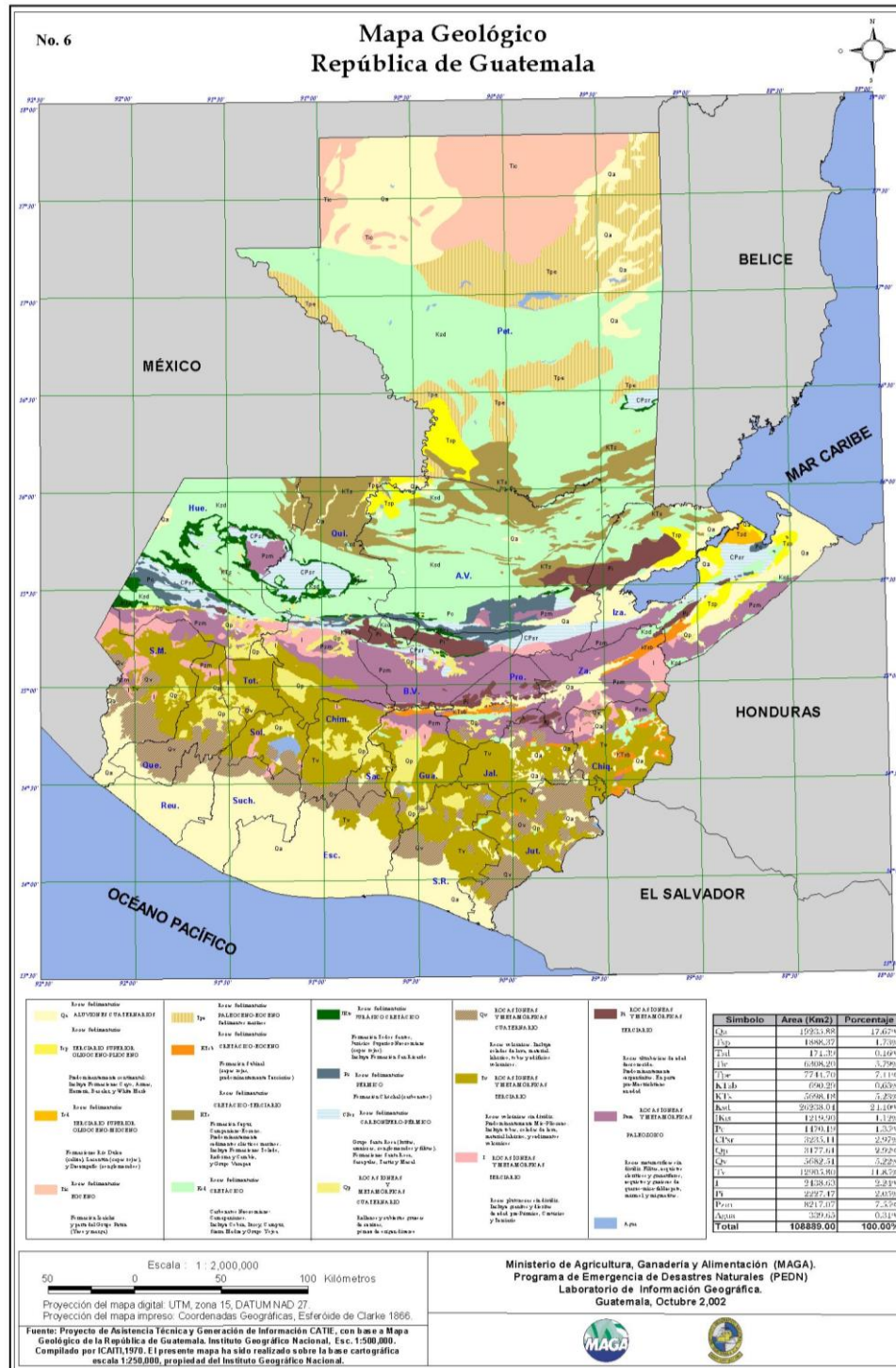
Anexo 1. Mapa de isólinas de precipitación diaria con período de retorno de 50 años de la República de Guatemala



Fuente: PACAY, N. *Análisis de eventos extremos de precipitación diaria en Guatemala.*

Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2015.

Anexo 2. Mapa geológico de la República de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2002.

Anexo 4. Norma ASTM D 2488



Designation: D 2488 - 84¹

Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)¹

This standard is issued under the fixed designation D 2488; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ NOTE—Section 18 was added editorially in January 1989.

1. Scope

1.1 This practice covers procedures for the description of soils for engineering purposes.

1.2 This practice also describes a procedure for identifying soils, at the option of the user, based on the classification system described in Test Method D 2487. The identification is based on visual examination and manual tests. It must be clearly stated in reporting an identification that it is based on visual-manual procedures.

1.2.1 When precise classification of soils for engineering purposes is required, the procedures prescribed in Test Method D 2487 shall be used.

1.2.2 In this practice, the identification portion assigning a group symbol and name is limited to soil particles smaller than 3 in. (75 mm).

1.2.3 The identification portion of this practice is limited to naturally occurring soils.

NOTE 1—This practice may be used as a descriptive system applied to such materials as shale, claystone, shells, crushed rock, etc. (See Appendix X2).

1.3 The descriptive information in this practice may be used with other soil classification systems or for materials other than naturally occurring soils.

1.4 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific precautionary statements see Section 8.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids²

D 1452 Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.07 on Identification and Classification of Soils.

Current edition approved Oct. 3, 1984. Published December 1984. Originally published as D 2488 - 66 T. Last previous edition D 2488 - 69 (1975).

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

D 1586 Method for Penetration Test and Split-Tension Sampling of Soils²
D 1587 Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils
D 2113 Practice for Diamond Core Drilling for Soil Investigation²
D 2487 Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes²

3. Definitions

3.1 Except as listed below, all definitions are in accordance with Terminology D 653.

NOTE 2—For particles retained on a 3-in. (75-mm) 1/8 square opening, the following definitions are suggested:

Cobbles—particles of rock that will pass a 12-in. (300-mm) square opening and be retained on a 3-in. (75-mm) sieve, and

Boulders—particles of rock that will not pass a 12-in. (300-mm) square opening.

3.1.1 *clay*—soil passing a No. 200 (75- μ m) sieve that can be made to exhibit plasticity (putty-like properties) within a range of water contents, and that exhibits considerable strength when air-dry. For classification, a clay is a fine-grained soil, or the fine-grained portion of a soil, with a plasticity index equal to or greater than 4, and the plot of plasticity index versus liquid limit falls on or above the A-line (see Fig. 3 of Test Method D 2487).

3.1.2 *gravel*—particles of rock that will pass a 3-in. (75-mm) sieve and be retained on a No. 4 (4.75-mm) sieve with the following subdivisions:

coarse—passes a 3-in. (75-mm) sieve and is retained on a 3/4-in. (19-mm) sieve.

fine—passes a 3/4-in. (19-mm) sieve and is retained on a No. 4 (4.75-mm) sieve.

3.1.3 *organic clay*—a clay with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic clay is a soil that would be classified as a clay, except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

3.1.4 *organic silt*—a silt with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic silt is a soil that would be classified as a silt except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

3.1.5 *peat*—a soil composed primarily of vegetable tissue in various stages of decomposition usually with an organic odor, a dark brown to black color, a spongy consistency, and a texture ranging from fibrous to amorphous.