

**ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA  
EN EL MARGEN OCCIDENTAL DEL “CAMPUS II DE LA UAZ” ZACATECAS,  
MÉXICO**

**JUAN FELIPE D’CAPRIO ÁLVAREZ PARALES**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PAMPLONA**

**2020**

**ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA  
EN EL MARGEN OCCIDENTAL DEL “CAMPUS II DE LA UAZ” ZACATECAS,  
MEXÍCO**

**JUAN FELIPE D´CAPRIO ÁLVAREZ PARALES**

**1094278872**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**Directores**

**FELIPE DE JESÚS ESCALONA ALCÁZAR**

**PhD. En Ciencias de la Tierra en Geología**

**JORGE BLUHM GUTIÉRREZ**

**PhD. En Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente**

**MARÍA ESTHER RIVERA**

**PhD. En Hidrología**

**JESÚS RAMÓN DELGADO RODRÍGUEZ**

**MSc. En Geotecnia**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PAMPLONA**

**2020**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

México, 13 junio 2020

## **DEDICATORIA**

Al Universo, por darme la oportunidad de vivir en esta pequeña e insignificante parte de lo que llamamos hogar, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre Yajaira, por darme la vida, amarme mucho, creer en mí... y porque siempre me apoyo.

Mi abuela Myrian, por amarme, apoyarme y ser un motivo de superación.

Y por último a todas las personas que en algún momento podré salvar de un desastre natural.

## **AGRADECIMIENTOS**

A las Universidades de Zacatecas y Pamplona, quienes hicieron posible esta pasantía de investigación internacional realizada en México.

Agradecer la sabiduría y experiencia aportada por Jorge Bluhm Gutiérrez, Jesús Ramón Delgado Rodríguez y sobre todo de María Esther Rivera y Felipe de Jesús Escalona por la dedicación y aliento prestados, cuya guía constante ha hecho posible que este proyecto llegara a su fin.

Agradecer el esfuerzo de profesionales geólogos, cartógrafos, ingenieros y cualquier individuo que contestó mis dudas por los grupos de ArcGIS, el conocimiento que me a las personas.

## CONTENIDO

	PÁG.
1. GLOSARIO .....	11
2. RESUMEN .....	13
3. INTRODUCCIÓN .....	14
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
4.1 Definición del problema.....	16
4.2 Preguntas de investigación.....	17
5. JUSTIFICACIÓN .....	18
6. OBJETIVOS .....	19
6.1 Objetivo general .....	19
6.2 Objetivos específicos.....	19
7. MARCO REFERENCIAL.....	20
7.1 Marco contextual.....	20
7.1.1 Localización de la zona de estudio.....	20
7.2 Antecedentes .....	22
7.2.1 Internacionales .....	22
7.2.2 Nacionales .....	28
7.2.3. Regionales y locales.....	32
7.3 Marco teórico .....	36
7.3.1 Remoción en masa .....	36
7.3.2 Clase de Movimientos de Ladera.....	38
7.3.3 Desprendimientos de rocas .....	45
7.3.4 Zonificación de la Susceptibilidad y Amenaza.....	51
7.3.5 Determinación de los ponderados en SIG.....	52

8. METODOLOGÍA .....	71
8.1 Trabajo de campo .....	71
8.2 Recopilación de la cartografía digital básica.....	71
8.3 Revisión de los movimientos en masa .....	78
8.4 Elaboración del mapa de movimientos en masa de la zona de estudio.....	78
8.5 Estimación y zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona .....	79
8.6 Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio .....	81
9. RESULTADOS .....	82
9.1 Características y afectaciones de los movimientos en masa en la zona de estudio .....	82
9.2 Caracterización geo-ambiental de la zona de estudio .....	90
9.3 Inventario de los movimientos en masa que se puedan identificar .....	101
9.4 Elaboración del mapa de inventario de movimientos en masa para la zona de estudio .....	106
9.5 Estimación de la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona de estudio .....	107
9.6 Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio .....	111
10. CONCLUSIONES .....	117
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119

## LISTA DE TABLAS

	PÁG
Tabla 1. Tipos de movimientos en masa y su descripción.	41
Tabla 2. Clasificación de pendiente con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	54
Tabla 3. Descripción de litología de la zona con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	57
Tabla 4. Calificación del factor litológico con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	62
Tabla 5. Descripción del uso del suelo con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	64
Tabla 6. Nivel de susceptibilidad.	66
Tabla 7. Clasificación de precipitaciones total mensual con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	67
Tabla 8. Calificación del factor sismo (Ts) con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).	68
Tabla 9. Nivel de amenaza.	69
Tabla 10. Datos de precipitación total mensual de la estación Zacatecas, periodo 1992-2016.	73
Tabla 11. Datos de precipitación total mensual de la estación Guadalupe, periodo 1992-2016.	74
Tabla 12. Datos de precipitación total mensual estación la Bufa, periodo 1987-2018.	75
Tabla 13. Eventos sísmicos en Zacatecas periodo 1990-2020.	77
Tabla 14. Ponderación de pendiente.	91
Tabla 15. Ponderación litología de la zona de estudio.	93
Tabla 16. Ponderación vegetación y uso del suelo.	96
Tabla 17. Ponderación del Detonante lluvia.	98
Tabla 18. Ponderación detonante sismo.	100
Tabla 19. Inventario de movimientos en masa.	102
Tabla 20. Área y porcentaje de la susceptibilidad.	109
Tabla 21. Valores obtenidos de susceptibilidad en la zona de estudio bajo la metodología Mora-Vahrson (1994).	110
Tabla 22. Área y porcentaje de Amenaza.	115
Tabla 23. Valores obtenidos de amenaza.	115

## LISTA DE FIGURAS

	PÁG
Figura 1. División política de los Estados Unidos Mexicanos y localización de la zona de estudio.	20
Figura 2. Localización de la zona de estudio (0.38km <sup>2</sup> ).	21
Figura 3. Partes de un deslizamiento.	39
Figura 4. Deslizamiento rotacional en rocas y suelo.	42
Figura 5. Deslizamientos traslacionales en suelos y rocas.	43
Figura 6. Flujos de lodo o tierra.	44
Figura 7. Desprendimientos de rocas.	45
Figura 8. Volcamiento de rocas y suelos.	46
Figura 9. Avalancha de rocas.	47
Figura 10. Partes de un deslizamiento.	47
Figura 11. Factores del riesgo de desastre desde el enfoque holístico.	49
Figura 12. Uso de ArGIS 10.3 para combinación cualitativa de mapas.	53
Figura 13. Factores e insumos para la generación del proyecto.	80
Figura 14. Inicio zona de estudio.	83
Figura 15. Grietas y desgastamiento en la vía.	83
Figura 17. Caída de guarnición Después.	84
Figura 16. Caída de guarnición antes.	84
Figura 18. Perfil cambio de suelo.	85
Figura 19. Muro después.	86
Figura 20. Muro antes.	86
Figura 22. Grietas en el muro actual.	86
Figura 21. Huecos en el muro actual.	86
Figura 23. Cambio del material 1.	87
Figura 24. Cambio del material 2	87
Figura 25. Cambio de material.	88
Figura 27. Vía cerrada al paso 2.	89
Figura 26. Vía cerrada al paso vehicular.	89

Figura 28. Vía Después.	89
Figura 29. Vía antes.	89
Figura 30. DEM zona de estudio tamaño de pixel 15 m.	90
Figura 31. Pendientes de la zona estudio.	92
Figura 32. Litología de la zona de estudio.	95
Figura 33. Porcentajes de la litología de la zona zonaárea. .de litología.	96
Figura 34. Cobertura vegetal y uso del suelo de la zona.	97
Figura 35. Isoyetas de la zona estudio.	99
Figura 36. Isosistas de la zona de estudio.	101
Figura 37. Mapa de inventarios de movimientos en masa en la zona de estudio.	107
Figura 38. Mapa de la susceptibilidad de la zona de estudio.	111
Figura 39. Derrame riolítico y muro contención margen occidental del Campus universitario.	112
Figura 40. Evento registrado de caída de rocas, afectación Campus universitario.	113
Figura 41. Caída de rocas de aproximadamente 100 metros de longitud.	114
Figura 42. Mapa de amenaza de la zona de estudio.	116

## 1. GLOSARIO

Las definiciones que se dan a continuación fueron tomadas del libro “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” (Publicación Geológica Multinacional, 2007).

- ✚ Actividad: la actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo del material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad.
- ✚ Actividad histórica: evidencia geológica o histórica de la ocurrencia de un movimiento en masa.
- ✚ Activo: movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.
- ✚ Acumulación: volumen de material desplazado que se encuentra sobre la superficie original del terreno.
- ✚ Agrietamiento: formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.
- ✚ Aluvial: génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.
- ✚ Aluvión: materiales con fragmentos sobredondeados a redondeados, depositados por una corriente natural de agua o por un movimiento tipo flujo canalizado.

- ✚ Análisis de estabilidad de taludes: proceso en el que se evalúa cuantitativamente la interacción entre las fuerzas (o momentos) estabilizantes o resistentes y las fuerzas (o momentos) desestabilizantes que actúan sobre un talud.
- ✚ Ancho de la masa desplazada: ancho máximo de la masa desplazada que se mide en dirección perpendicular a la longitud.
- ✚ Ancho de la superficie de falla: ancho máximo entre los flancos de un deslizamiento, medido en sentido perpendicular a la línea.
- ✚ Mapa inventario: mapa en donde se localizan geográficamente los movimientos en masa que han ocurrido en una región y se identifican sus características mediante una simbología apropiada.
- ✚ Mapa de amenaza: mapa que muestra mediante una simbología apropiada la distribución espacial de las clases de amenaza o de la zonificación de la amenaza (Seters y Van Westen, 1996).

## 2. RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa ubicados en el margen occidental del Campus II de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). Para ello, se realizaron visitas a campo en diferentes puntos de la zona de estudio con el fin de identificar y ubicar los procesos significativos de movimientos en masa generando un inventario con base en el formato del Servicio Geológico Colombiano (SGC). El análisis de susceptibilidad se hizo con la metodología Mora-Vahrson de 1994 que consideran principalmente 3 factores, la pendiente del terreno que fue generada por medio de la herramienta *slope* en ArcGIS resultando en promedio entre 25% - 40%, la vegetación y uso del suelo suministrada a partir de información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) la cual se divide en pastizal inducido y zona urbana. La litología en su mayoría perteneciente al miembro del Conglomerado Masivo y Arenisca. La susceptibilidad del terreno y los eventos negativos ocasionados por la incidencia de factores detonantes como lluvia y los sismo procesados y digitalizados en el programa ArcGIS 10.3 obteniendo la amenaza del terreno por procesos de remoción en masa.

**Palabras claves:** Amenaza, Remoción, Susceptibilidad, Zonificación.

### 3. INTRODUCCIÓN

La amenaza por remoción en masa es un factor latente y cotidiano en el cual se desencadenan pérdidas en el ámbito material, físico y emocional, en los sitios que ocurren estos procesos. En este proyecto la principal forma de tomar acción en eventos con magnitudes considerables es la zonificación del área susceptible antes de llegar a ser fatales para los asentamientos humanos o ecosistemas. De acuerdo con Campos y Amaya (2016), los deslizamientos de laderas son desencadenados por lluvias torrenciales, terremotos y/o erupciones volcánicas, cuyo efecto se ve magnificado por la influencia de la actividad humana al realizar cortes, excavaciones, sobrecargas, explotación de bancos de materiales, vertido de agua, deforestación, ubicación de rellenos en estado suelto, entre otros. Estos movimientos pueden ocurrir rápidamente dependiendo del tipo de material que conforma la ladera, la pendiente del terreno y el uso del suelo. En el margen occidental del campus II de la UAZ y el fraccionamiento Lomas del Patrocinio, el uso de suelo en su mayoría es de tipo urbano, no obstante, hay pastizal inducido que en conjunto con las pendientes y otros factores (por ejemplo, climático o vibraciones) han provocado movimientos del terreno cerca de obras de infraestructuras y viviendas que pueden generar un grado de amenaza alto. El presente proyecto fue desarrollado en condición de pasantía de investigación internacional en conjunto con las Universidades de Pamplona, Colombia y Autónoma de Zacatecas, México. Este trabajo de pasantía es parte del proyecto UAZ-2018-37580 “Identificación y análisis de zonas de riesgo geológico y geomorfológico en la zona urbana de Zacatecas”, bajo la responsabilidad del Dr. Felipe Escalona y, también el proyecto es parte del Cuerpo Académico UAZ-CA-195 “Modelación Aplicada a las Ciencias de la Tierra” del que son parte los dres. Jorge Bluhm Gutiérrez y Santiago Valle Rodríguez. En este

proyecto se le da continuidad y se hace un análisis exhaustivo de las zonas con deterioro por procesos de remoción en masa para determinar, la susceptibilidad y como resultado zonificar la amenaza. Con estos resultados se determina la zonificación de las áreas de peligro para los pobladores; se considera que los resultados de esta investigación contribuyen en futuros estudios y con base en el modelo de Mora-Vahrson que es una aproximación a la realidad, los resultados obtenidos en este proyecto deben ser contrastados con las observaciones presentes y futuras en la zona de estudio con el fin de evaluar la calidad del modelado.

## **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### 4.1 Definición del problema

La amenaza por movimientos en masa y la debida atención a su acción, es un peligro latente en Latinoamérica, que atenderse como una perspectiva local. En la actualidad, el manejo de este tema, va cobrando relevancia, debido a las pérdidas económicas y humanas que los desastres naturales han producido, elevando la pobreza (Marcano y Cartaya, 2013).

Según Sarmiento (2017), los fenómenos de remoción en masa se dividen en una gran variedad de procesos que resultan en la caída, rotación, flujo y desplazamiento de un volumen de material que se encuentra en las pendientes y laderas. A pesar de ser eventos asociados a regiones con pendiente abrupta, también pueden ocurrir en zonas de relieve suave, principalmente cuando el terreno ha sido modificado y localmente se dejan taludes con pendientes fuertes. Por ello, es necesario conocer la ubicación y distribución de estos fenómenos para estudiarlos y definir la zonificación de la amenaza. De esta manera, las autoridades competentes podrán disponer de las acciones a seguir y las medidas de mitigación.

Domínguez (2016) mencionó que la distribución de la lluvia en la República Mexicana depende de aspectos topográficos y geográficos del territorio. En México existen diversas regiones climáticas siendo el periodo de lluvias en la mayor parte del territorio de mayo a noviembre, es por ello que la mayoría de los deslizamientos ocurren entre estos meses. En el área de estudio los distintos tipos de deslizamientos ocurren en la temporada de lluvias y, los facilitan las condiciones naturales del terreno como son la pendiente, el tipo de vegetación, el tipo de suelo y los materiales de relleno.

## 4.2 Preguntas de investigación

Por medio de este trabajo de investigación se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes:

¿Cuáles serían las zonas críticas de movimientos en masa desencadenados por diferentes fenómenos naturales o artificiales que se presentan en el sector occidental del campus II de la UAZ?

¿Cuáles colonias y vialidades, adyacentes a la parte noroccidental del Campus II de la UAZ, están en amenaza por fenómenos de remoción en masa para la comunidad, viviendas e infraestructura del campus II de la UAZ?

## **5. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto de investigación se desarrolló con el interés de generar un amplio conocimiento de la zona de estudio ante los procesos de remoción en masa. La idea es que los resultados se utilicen para el desarrollo de diferentes proyectos y trabajos de investigación en el tema de amenaza por procesos de remoción en masa. En la zonificación de la amenaza se consideraron como factores detonantes la lluvia y los sismos. De esta manera se podrán definir las medidas de control y mitigación por el acontecer de estos procesos. La importancia de este proyecto radica en proporcionar a la Universidad Autónoma de Zacatecas, las autoridades gubernamentales y personal académico la zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa en la parte NW del Campus II de la UAZ y el fraccionamiento Lomas del Patrocinio.

## **6. OBJETIVOS**

### 6.1 Objetivo general

- ✓ Zonificar la amenaza por procesos de remoción en masa en la parte NW del “Campus II de la UAZ”, Zacatecas, México.

### 6.2 Objetivos específicos

- ✓ Definir las características geo-ambientales e hidrológicas.
- ✓ Realizar el inventario y cartografía de los procesos de movimientos en masa.
- ✓ Estimar la susceptibilidad por movimientos en masa.
- ✓ Elaborar el mapa de susceptibilidad por remoción en masa.
- ✓ Evaluar la amenaza y definir la zonificación por movimientos en masa.

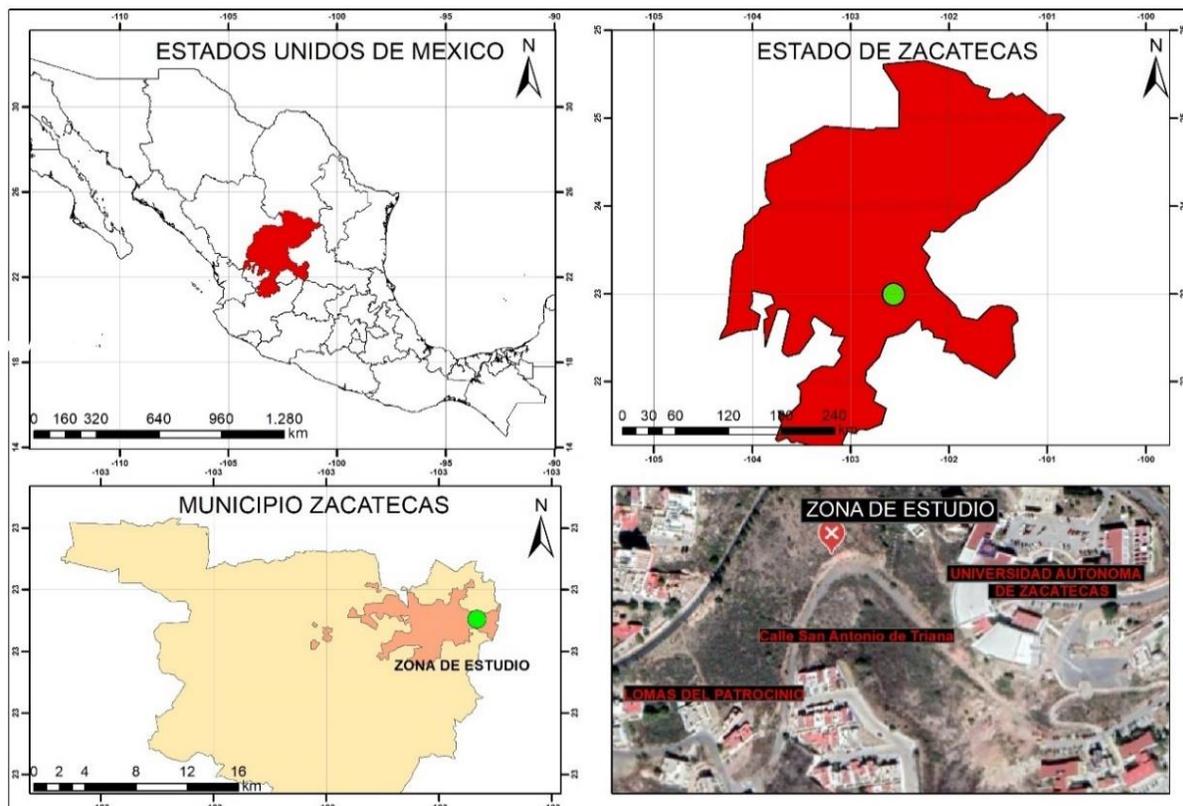
## 7. MARCO REFERENCIAL

### 7.1 Marco contextual

#### 7.1.1 Localización de la zona de estudio

Según INEGI (2010), los Estados Unidos Mexicanos son parte de Norteamérica, está entre los paralelos  $14^{\circ}32'47''$  y  $32^{\circ}43'06''$  de latitud norte; mientras que la longitud oeste va de  $86^{\circ}42'36''$  a  $118^{\circ}22'$ . El estado de Zacatecas está en la parte central del país, ocupa una superficie de  $75,000\text{km}^2$  y, el casco urbano de Zacatecas está en la parte central, entre las latitudes norte  $22^{\circ}37'$  a  $22^{\circ}50'$  y las longitudes oeste  $102^{\circ}32'$  a  $102^{\circ}51'$  (Figura 1).

Figura 1. División política de los Estados Unidos Mexicanos y localización de la zona de estudio.



Fuente: INEGI (2010).

La zona de estudio ocupa una superficie de 0.38 km<sup>2</sup> y se delimitó teniendo en cuenta la amenaza que puede afectar inicialmente en la parte residencial (fraccionamiento Lomas del Patrocinio) y el margen noroccidental del Campus II de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Los mejores afloramientos de los movimientos de masa están en las vialidades del interior del área de estudio, esto es a lo largo de la calle San Antonio de Triana, actualmente cerrada al paso vehicular, calzada Solidaridad, Paseo La Bufa y Av. Lomas del Bosque (Figura 2).

Figura 2. Localización de la zona de estudio (0.38km<sup>2</sup>).



Fuente: Modificado de Google Earth por Álvarez (2020).

## 7.2 Antecedentes

La exposición de los antecedentes es a partir de una descripción sucinta de algunos proyectos relevantes que, en el tema de los procesos de remoción en masa, se han llevado a cabo en distintas partes de América Latina, México y en el estado de Zacatecas.

### 7.2.1 Internacionales

En el proyecto titulado “Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas” de Quesada-Román *et al.* (2017), se especifica la gama de productos a partir de los cuales especialistas de; Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua desarrollan cartografía y aspectos que pueden ilustrar la accesibilidad a ciertos datos, así como la escasez o falta de información específica en la región. Trabajos realizados desde Instituciones gubernamentales, Agencias de Cooperación y la Academia, procuran sumar esfuerzos con las autoridades nacionales de cada lugar que estudia este fenómeno. Se respeta la terminología utilizada en cada proyecto, por lo que se considera equivalente el término Movimientos de Laderas. Esta cartografía tiene como fin ser un insumo de línea base para estudios de Gestión de la amenaza de Desastres y el Ordenamiento Territorial de ciudades, cuencas y municipios a lo largo de América Latina.

En el proyecto “Manual para la elaboración de mapas de riesgo” de Renda *et al.* (2017), propone que dada la variabilidad espacio-temporal de amenazas y factores de susceptibilidad, la actualización de la zonificación es también un factor clave para lograr su aplicación y efectividad como herramienta de planificación. En tal sentido, el uso de herramientas pertenecientes a Sistemas de Información Geográfica (SIG) son altamente eficaces por su versatilidad para incorporar nueva información a medida que se vaya generando y actualizando. A los efectos del

presente Manual, se pretende -en primera instancia- contar con una herramienta de análisis para la elaboración de escenarios de susceptibilidad que contribuya a la fase de prevención y mitigación de amenaza. Al mismo tiempo, los movimientos identificados y localizados en el territorio se presentan como un insumo fundamental en el momento de anticipar los mecanismos de actuación correspondientes a la fase de preparación de la emergencia.

En el estudio “Modelo de amenaza por fenómenos de remoción en masa mediante métodos heurísticos, en la cuenca de la quebrada frailes, municipio Dosquebradas, Risaralda” de Córdoba-Castaño y Gonzales vargas *et al.* (2017), la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, se realiza mediante métodos heurísticos en la microcuenca de la quebrada Frailes, municipio de Dosquebradas, implica diagnosticar y mensurar variables asociadas a la geología y suelos locales, el uso actual del suelo, las pendientes dominantes, la actividad erosiva y antrópica, el origen y naturaleza de las unidades geomorfológicas y el impacto de agentes exógenos como las precipitaciones y los sismos. Una vez diagnosticadas dichas variables, a través de análisis multicriterio, previo reconocimiento y valoración del peso de cada una de ellas como agente detonante o contribuyente, se procederá a formular el modelo de susceptibilidad y posteriormente de amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM) en el territorio de la microcuenca objeto de estudio.

El servicio geológico colombiano (2016), tiene una metodología para la zonificación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, el proceso planteado en esta guía comprende tres grandes etapas: 1) análisis del riesgo, 2) evaluación del riesgo, y 3) mitigación y prevención del riesgo. Cada una de ellas consta, a su vez, de una serie de elementos y procesos que, de acuerdo con el tipo de evaluación que se realice, pueden ser de mayor o menor grado de detalle y complejidad.

En el artículo “Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba” de Almaguer-Carmenates y Guardado-Lacaba (2006), se tiene como objetivo principal establecer una clasificación de los distintos tipos de movimientos de masas en taludes y laderas desarrollados en el territorio de Moa. La clasificación tipológica se realizó sobre la base de la documentación de los movimientos reportados en el área de estudio, así como caracterización de todos los elementos geométricos, estructurales y composicionales del tipo de material en cual se han desarrollado, teniendo en cuenta las clasificaciones más aceptadas a nivel internacional. Como resultados se da una clasificación y descripción de los movimientos de masas agrupando los mecanismos de los deslizamientos en tres grupos principales: mecanismos relacionados con caída libre de la roca (desprendimientos y vuelcos), mecanismos de deslizamientos a través de una superficie de fallo definida (deslizamientos traslacionales, rotacionales, en forma de cuña y combinados) y mecanismo de movimientos de masas de manera desorganizada (soliflucción, coladas de tierra y corrientes de derrubios).

En el trabajo “Manual para la elaboración del mapa comunitario de riesgo” propuesto por el Instituto Nacional de Defensa Civil (2016), se constituye un manual para la elaboración de un Mapa Comunitario de Riesgo a nivel intermedio, complementando el proceso establecido en el Manual de Mapa Comunitario de Riesgo. Este documento está dirigido principalmente a capacitadores y facilitadores que desarrollan actividades de fortalecimiento de capacidades para la preparación ante emergencias y/o desastres en una comunidad, incluyendo personal de las Fuerzas Armadas, Policía Nacional del Perú, funcionarios y profesionales de los tres niveles de gobierno, docentes de educación secundaria, docentes universitarios, voluntarios en actividades de respuesta y rehabilitación así como presidentes de juntas vecinales u otros similares. Como parte del trabajo emprendido según CENAPRED (2014), bajo el proyecto del Atlas Nacional de

Riesgos, el Cenapred se ha concentrado en la tarea de conjuntar la información y las experiencias generadas a través de la investigación y la colaboración con diferentes instituciones del ámbito académico, gubernamental y de la sociedad civil, para elaborar una serie de publicaciones y material de difusión, que permitan, en primera instancia a las unidades estatales de protección civil, y también a instituciones interesadas en la prevención y mitigación del riesgo, contar con guías metodológicas cuyo objetivo es el establecer procedimientos que, de manera práctica y directa, ayude a sintetizar y generar información con una terminología y base conceptual homogéneas orientadas al conocimiento del riesgo, la cual será integrada en un documento o sistema denominado genéricamente “Atlas de Riesgos”.

En el Proyecto “Inestabilidad de taludes Reconocimiento, análisis y zonificación” presentado por Soeters, R. y Westen, C.J. (1996), los procesos de inestabilidad de taludes son el producto de condiciones geomórficas, hidrológicas y geológicas locales; la modificación de estas condiciones por procesos geodinámicos, vegetación, prácticas de uso del suelo y actividades humanas; y la frecuencia e intensidad de precipitación y sismicidad. El capítulo trata los aspectos metodológicos de la zonificación del peligro de inestabilidad de taludes y la aplicación de la teledetección y los SIG.

En el artículo “Caracterización de los Movimientos en masa” de Suárez-Díaz (1998) realizado para Bucaramanga. Colombia, se presenta previamente la profundización en el estudio del comportamiento de los taludes en zonas tropicales, se requiere establecer una serie de pautas en lo referente a nomenclatura y clasificación. Para ello en la literatura se encuentran dos sistemas de clasificación propuestos por Varnes (1958 y 1978). Este último sistema fue actualizado por Cruden y Varnes en el “reporte especial 247” de la Junta de Investigación del Transporte de los Estados Unidos (1996) y es el sistema que se utiliza en el presente texto; sin embargo, a esta

clasificación se agregaron algunos factores importantes, entre ellos la diferenciación entre los procesos de deterioro y los de deslizamiento, pero en términos generales se mantuvieron los principios básicos de la clasificación de la Junta de Investigación del Transporte.

Según el trabajo “Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa” realizado por Astudillo *et al.* (2013), se evalúan cuatro tipos de movimiento en masa (deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones) que son los de mayor frecuencia en el país (Ecuador) y han sido estudiados y descritos ampliamente en la clasificación de Varnes (1978). El objetivo general del estudio es generar cartografía geodinámica del cantón Chone, mediante la utilización de insumos básicos generados por los diferentes componentes del proyecto, entre estos se encuentran los mapas de capacidad de uso de la tierra, cobertura vegetal, precipitaciones medias anuales y el modelo digital del terreno; adicionalmente se tiene el mapa de magnitudes sísmicas generado a partir de datos proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Con el procesamiento de esta información se obtendrán los mapas de amenaza para los dos tipos de movimientos en masa a estudiarse.

El master “Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la parroquia Pomasqui - Ecuador” de Chiquin-Camacho (2017), considera que el Estado (Valencia, España) ha invertido en la adquisición de fotografías aéreas (año 2010) a una escala 1: 30 000 y distintas instituciones públicas como el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico), INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) e IGEPN (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) han generado geoinformación, es imperativo utilizar la información generada a manera de insumos para estudios en diversas temáticas. La mayoría de metodologías eficaces resultan ser muy costosas y requieren personal especializado además de equipamiento de laboratorio para su

implementación. A manera de investigación se aplica la metodología de Mora-Vahrson modificada la cual consiste en la ponderación de parámetros condicionantes y desencadenantes para los movimientos en masa, debido a las variaciones existentes en relación al lugar donde se generó dicha metodología; es así que se considera como base los factores predominantes como: pendiente, litología, cobertura vegetal, sismicidad e intensidad de lluvias, lo cual permitió representar e identificar mediante el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra las zonas vulnerables a este evento.

El trabajo de fin de grado “Cálculo de la susceptibilidad de deslizamiento del terreno en Lorca, España mediante un sistema de información geográfica” de Moral-Fernández (2014), constituye una ampliación del proyecto final de carrera “Análisis del terremoto de Lorca 2011 mediante un Sistema de Información Geográfica” realizado en abril de 2013. Esta ampliación se centra en el estudio de la susceptibilidad del terreno a sufrir deslizamientos de laderas, con una aplicación en el municipio de Lorca, localizado en la Región de Murcia, España. Posteriormente, se realiza una comparativa entre los resultados de este estudio y los deslizamientos de ladera ocasionados por el terremoto de Lorca 2011. Para hacer el estudio de susceptibilidad, se ha partido del Sistema de Información Geográfica (SIG) diseñado en el proyecto anterior y se ha completado con más capas de información geográfica, referentes a la estimación de la susceptibilidad del terreno, como BCN25, mapa geotécnico, de ocupación del suelo... Todo proceso relacionado con la prevención y gestión de desastres naturales demanda la elaboración de una cartografía temática relativa a los aspectos a tratar. En este proyecto se detalla el proceso de producción de mapas de susceptibilidad del suelo a los deslizamientos usando como herramienta fundamental un SIG. Éste permite, en primer lugar, integrar, homogeneizar y analizar todas las variables que intervienen en el análisis de la susceptibilidad (pluviometría, características geotécnicas del

suelo, altitud, pendiente...), en segundo lugar, integrar todos los factores intervinientes para obtener un mapa de susceptibilidad y, por último, incorporar los deslizamientos de ladera desencadenados por el terremoto de Lorca 2011 y compararlos con el mapa de susceptibilidad. En el artículo “Zonificación de Susceptibilidad, Amenaza y Riesgo” de Suárez (2007), La zonificación de amenazas y riesgos permite evaluar, parcialmente, esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto. La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de amenaza o de riesgo. El mapeo puede realizarse sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de deslizamientos o se tiene un inventario de estos eventos, o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos en el pasado, pero se requiere predecir la posibilidad de amenazas hacia el futuro. En el primer caso, se trabaja con una metodología de mapeo directo con base en la experiencia y en el segundo, una de mapeo indirecto con base en los factores que contribuyen a su ocurrencia. Se debe diferenciar entre técnicas de análisis relativo y técnicas de análisis absoluto. El análisis relativo presenta la posibilidad diferencial de ocurrencia de deslizamientos sin dar valores exactos y en el análisis absoluto, se presentan factores de seguridad o probabilidad real de ocurrencia de movimientos.

### 7.2.2 Nacionales

En la tesis “Procesos Gravitacionales en el municipio de Lerma, Estado de México” de Pineda (2010), se realiza un análisis para establecer áreas susceptibles a procesos gravitacionales mediante la aplicación de un análisis multicriterio en el municipio de Lerma de Villada en el Estado de México. La interpretación y análisis de los resultados les permitió establecer sitios que

posee el municipio de Lerma a movimientos en masa, permitiendo ubicar zonas susceptibles a los procesos gravitacionales e identificar el tipo de movimiento; y con ello, establecer medidas de corrección o de mitigación. El análisis multicriterio, es un método que permite relacionar un conjunto de alternativas bajo múltiples criterios y objetivos en conflicto, ayudando a la toma de decisiones para establecer correcciones a una problemática.

En el proyecto realizado por García (2008), tiene como principal objetivo realizar un aporte metodológico para la modelación estocástica en la evolución de la susceptibilidad y peligrosidad de deslizamientos de laderas inducidos por sismos. Dada la imposibilidad de predecir estos fenómenos con un margen suficientemente pequeño como para tomar acciones a corto plazo, la línea de evaluación de la peligrosidad y adopción de medidas preventivas es actualmente, la medida más eficaz de mitigación del riesgo asociado.

La tesis “Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional” de “Alcántara-Ayala y Murillo-García (2008), propone que los procesos de remoción en masa constituyen una amenaza importante ya que éstos, en combinación con la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas, determinan el riesgo y han causado a lo largo de la historia un considerable número de desastres en diversas partes del mundo, incluyendo México. Una adecuada evaluación de dichas amenazas requiere en su fase inicial, de la identificación y clasificación tipológica de los movimientos en su contexto espacio-temporal; esto comúnmente se realiza mediante la elaboración de diferentes tipos de mapas y de la construcción de un inventario. Sin embargo, debido a que las investigaciones relacionadas con la inestabilidad de laderas desde una perspectiva geomorfológica y no meramente ingenieril son recientes y carecen de una plataforma sólida de referencia a nivel nacional, todavía no se ha desarrollado un inventario de procesos de remoción en masa para el territorio. En consecuencia, en este trabajo

se hace una propuesta de elaboración de dicho inventario, la cual se ejemplifica a partir de su construcción, con base en observaciones de campo y análisis de imágenes de satélite IKONOS, para una porción de la Sierra Norte de Puebla, una de las zonas más afectadas por movimientos gravitacionales.

En el trabajo “Análisis de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la subcuenca del río San Marcos, Sierra Norte de Puebla, México” realizado por Cruz (2015), se presenta un mapa de susceptibilidad por procesos de remoción en masa para la subcuenca del río San Marcos, Sierra Norte de Puebla, México. Para su elaboración, se analizaron y se combinaron los factores condicionantes y desencadenantes por medio del método heurístico de Mora y Vahrson (1994), en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los factores físicos tenidos en cuenta fueron: pendiente, hipsometría, litología, precipitación anual y mensual. Paralelamente se determinó la morfometría de la subcuenca San Marcos a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE). El análisis de la morfometría fue conducido con la finalidad de caracterizar la geomorfología de la subcuenca de manera cuantitativa y determinar la relación que guarda con los deslizamientos de ladera.

En el proyecto “Guía para la elaboración del mapa comunitario de riesgos (mcr)” de Morales-Barrera *et al.*, (2014). Presentaron para Veracruz, México, los procedimientos e instrumentos recomendados para la construcción y contenido de los mapas Comunitarios de Riesgos (MCR). Así mismo, datos que debemos recopilar antes de iniciar el mapa y que nos serán útiles para su elaboración. La construcción del Mapa Comunitario de Riesgos (MCR), será el resultado de un proceso participativo de la comunidad y autoridades locales, el cual constituye una forma de registrar de forma gráfica, las percepciones que tienen los pobladores sobre los riesgos y recursos que existen en su comunidad.

Lugo-Hubp *et al.* (2005), en su trabajo de investigación “Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causa y efectos” propuso que como parte inicial del estudio se clasificó el relieve en unidades morfológicas de tres órdenes de dimensión, donde las mayores corresponden a porciones de las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Planicie Costera del Golfo de México. La primera de éstas fue la más afectada (la ladera superior, a más de 900 metros sobre el nivel del mar) y creció a costa de la segunda por erosión remontante, mientras que en la tercera se produjo el mayor escurrimiento fluvial e inundaciones. Con el relieve se asocian seis unidades geológicas principales que agrupan varias formaciones con edades del Paleozoico al Cuaternario. El fenómeno se produjo especialmente en rocas sedimentarias triásicas y jurásicas, y en la capa superior de suelos volcánicos y materiales intemperizados. En el relieve ocurrieron cambios, como la formación de un lago a causa de un deslizamiento, el afloramiento de una caverna un año después, el cambio en el régimen de los principales ríos montañosos al desplazarse el cauce hacia la ribera opuesta y aumentar el grosor del aluvión incluso en más de 3 metros, el surgimiento de nuevos barrancos y el crecimiento de otras laderas arriba incluso en más de 20 m. La influencia del hombre es también notable, ya que muchos fenómenos de remoción en masa se presentaron en laderas deforestadas y en carreteras (con promedio de incluso 2 procesos por km). Se elaboró un mapa de frecuencia de cabeceras fluviales para una superficie de 4,000 km<sup>2</sup>, donde se contabilizaron 19,000 de ellas, con un valor medio de 5 cabeceras por km<sup>2</sup> y un máximo de 13 por km<sup>2</sup>, siendo esto un reflejo de la relación entre procesos de erosión remontante y procesos gravitacionales en el Holoceno.

### 7.2.3. Regionales y locales

En el artículo “Evaluación del hundimiento de la tierra asociado con la erosión intensa en las zonas de Zacatecas y Guadalupe, México” presentado por Escalona *et al.* (2014), se determina que en un clima semi-seco, como el de las ciudades de Zacatecas y Guadalupe, la erosión ocurre de forma muy lenta por lo que no es considerada como un peligro, y sus efectos raramente son considerados como un riesgo. Debido a esto se le ha dado poco o nula importancia en el desarrollo urbano, cambio de uso del suelo y la industria de la construcción. La modificación del paisaje sin tomar en cuenta el peligro por erosión y sus efectos provoca daños en la infraestructura que, si bien hasta ahora no han provocado pérdidas humanas, son constantes y provocan un gasto constante en su reparación. En este trabajo se presentan los primeros resultados de la identificación de los daños a la infraestructura urbana causados por la erosión. Se identificaron tres tipos que son: 1) fracturas semicirculares; 2) erosión de la base de los cimientos; y 3) hundimientos alargados, en este orden de abundancia.

En el trabajo de Rodarte-Guerrero (2010) llamado “atlas de riesgo del estado de Zacatecas” realizado en conjunto por la coordinación general jurídica de este mismo estado, estipula que la vulnerabilidad de los asentamientos humanos hace necesaria la generación de instrumentos que permitan conocer, de manera precisa, los peligros a los que se expone una sociedad determinada y el nivel de riesgo ante la presencia de los distintos fenómenos perturbadores. Con ello, será posible establecer medidas preventivas y de mitigación más adecuadas para hacer frente a los desastres que, en un momento dado, pudieran presentarse. En este orden de ideas, es evidente e impostergable la elaboración del Atlas Estatal de Riesgos digitalizado, que permita tomar decisiones racionales en materia de desarrollo urbano y prevención, tanto a las autoridades como

a los propios miembros de la sociedad, y los ayude, además, a elaborar planes y programas que reduzcan los riesgos a los que están expuestas sus comunidades.

Flores-González *et al.* (2018) en su proyecto de investigación “Identificación de peligros naturales a partir de la cartografía geológica y perfiles de georradar en la Unidad Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas”, presenta los resultados de la cartografía geológica y la interpretación de perfiles de georradar, con antenas de 100 MHz y 500 MHz, hechas en el edificio de la UACB para evaluar el riesgo geológico por deslizamiento. La estratigrafía local está definida, de la base a la cima, por el Miembro de Tobas Pumicíticas del Conglomerado Zacatecas que se encuentra de moderado a bien consolidado. Lo cubre una Toba Cristalina moderadamente argilitizada de aproximadamente 1 m de espesor. La parte superior de la secuencia es el miembro Derrame Riolítico, el cual está brechado en bloques de hasta 0.50 m de diámetro. En la parte occidental de la UACB hay un paleodeslizamiento con gradación normal formado por clastos principalmente de riolita que en la base tienen en promedio 0.50 m de diámetro.

En el proyecto “La influencia de la geomorfología en los procesos de erosión y sus efectos en la Loma de las Bolsas, Zacatecas, Zacatecas” de Barrios-Del rio (2018), describe la identificación de los factores geológicos y geomorfológicos que favorecen el desarrollo de fracturamiento y la definición de zonas donde la erosión y el riesgo generado por ella es mayor. Se determinó que la pendiente, la distribución de la red hidrográfica y la presencia de fallas son los factores que intervienen en la efectividad de la erosión. Se definieron cuatro tipos de intensidad de la erosión en el área de estudio: alta, media, baja y muy baja. A partir de las anteriores, se determinaron cuatro clases de riesgo provocado por la erosión: alto, moderado, bajo y muy bajo riesgo. En particular, las áreas donde la intensidad de los procesos erosivos es alta y media son aquellas

donde el fracturamiento fue más abundante y su densidad fue clasificada como alta y media con base en gráficas de distribución, están ubicadas, además, en zonas planas y laderas y se encuentran dentro del área de influencia de la hidrología y fallas normales, a 70 m alrededor de ellas.

Beltrán-Zhizhko *et al.* (2014), realizó un estudio con georradar, antena de 100 MHz, en cuatro sitios selectos hacia donde las ciudades de Zacatecas y Guadalupe están creciendo. Las unidades litológicas, fallas y fracturas de los cuatro sitios fueron observadas en los radargramas, los cuales fueron procesados con varios filtros para obtener una mejor resolución. Los resultados de esta investigación muestran la complejidad en la estructura del suelo y subsuelo en los primeros 14 m de profundidad. Las estructuras del mapa geológico coinciden con las interpretadas en los radargramas, y se interpretan también nuevas estructuras. Concluyó que es necesario considerar en la planeación urbana los rasgos litológicos y estructurales presentados, a pesar de que estos aún no han afectado de forma significativa las escasas obras de infraestructura.

La publicación "Evaluación del hundimiento de la tierra asociado con la erosión intensa. Zonas en los cuadrángulos de Zacatecas y Guadalupe, México" de Escalona-Alcázar *et al.* (2010), planteó usar cambios que no tengan en cuenta el medio ambiente y los procesos geológicos / geomorfológicos que operan. Debido a la modificación del paisaje y la erosión, la inestabilidad de la tierra es actualmente común fenómeno, y se desarrolla principalmente depósitos de astrágalo. Desde hace unos años, se han realizado varios intentos para identificar y definir la geología y procesos geomorfológicos que operan actualmente en estas ciudades (Enciso-De la Vega, 1994; Escalona-Alcázar *et al.*, 2003; Escalona-Alcázar, 2009). Sobre esa base, junto con mapeo geológico de campo y mediante el análisis de mapas topográficos de los cuadrángulos de

Zacatecas y Guadalupe, en este trabajo se presentó el primer mapa con un modelo que define áreas con diferente erosión potencial.

### 7.3 Marco teórico

Para Capra *et al.* (2005), alrededor del mundo y a través de la historia los seres humanos se han estado enfrentando a la amenaza de fenómenos naturales que afectan la seguridad de su vida y sus propiedades. Por ello, los procesos gravitacionales o de remoción en masa cobraron mayor importancia en el planeta en las tres últimas décadas del siglo XX debido al considerable incremento en los daños y desastres relacionado con el avance de los asentamientos hacia zonas peligrosas. Entre algunos factores principales que provocan este fenómeno se encuentran, la influencia del agua superficial y subterránea, la litología, la estructura geológica y el relieve, además de la sismicidad y la actividad humana.

#### 7.3.1 Remoción en masa

Según CIMPP, (2014), la remoción en masa se entiende como el desplazamiento masivo de materiales del suelo superficiales, en volúmenes ampliamente variables, que se desprenden y desplazan pendiente abajo por acción de la fuerza debida a la gravedad. Las remociones en masa son procesos geológicos naturales que hacen parte de la dinámica externa de la Tierra, fenómenos generados por la pérdida de resistencia como consecuencia, en la mayoría de los casos, de agentes detonantes como las lluvias, sobrecargas, aunque eventualmente pueden presentarse por aumento de fuerzas cortantes durante sismos. Sin embargo, para Pasive (2018), la remoción en masa es un fenómeno que normalmente se presenta alrededor del mundo, dejando una cantidad alarmante de víctimas mortales humanas e importantes pérdidas económicas, sobre todo aquellos detonados por interacciones ambientales como el clima, la topografía y la geología, el cual nos indica los índices de susceptibilidad a los movimientos de los terrenos. El entendimiento de la interacción entre todos estos factores ambientales es fundamental para la

identificación de zonas susceptibles a este tipo de procesos, en efecto permite la elaboración de estrategias adecuadas en la prevención de desastres naturales relacionados con este tipo de movimientos. De igual manera, los procesos de remoción en masa son producto de la evolución de las laderas, que forman un papel notable en los movimientos de masas; por lo tanto, es el riesgo más frecuente que causa desastres en todo el mundo, aumentando el nivel de peligrosidad al que se encuentran expuestos los asentamientos humanos que se localizan en pendientes pronunciadas, como consecuencia del crecimiento de la población, causando pérdidas económicas y humanas. A su vez, otro de los factores que ocasiona la remoción en masa son los sistemas complejos exogénicos y endogénicos; los sistemas complejos exógenicos son conocidos como los sistemas meteorológicos y los sistemas endogénicos, como los tectónicos. Estos son ocasionados por las características de la geomorfología, hidrología y las condiciones geológicas del lugar; que al modificarlas favorecen los procesos geodinámicos, la alteración ambiental, como el uso de suelo y la acción de hombre sobre el lugar, que activan los movimientos de forma lenta y casi imperceptible (Adame, 2013). Por otra parte, la amenaza por remoción en masa puede ser de origen natural, socio-natural o antrópico, en el primer caso por lluvias, sismos o erupción volcánica, y en los otros dos casos con ayuda de la acción del hombre, a su vez, la remoción en masa es un proceso generado por la pérdida de resistencia como consecuencia, en la mayoría de los casos, de agentes detonantes como las lluvias, sobrecargas, aunque eventualmente estos pueden presentarse por aumento de fuerzas cortantes durante sismos, además, puede haber contribución importante por actividad antrópica (CIMPP, 2014). El movimiento de ladera, “slope movement” (Varnes, 1978) o “landslide” (Sharpe, 1938) citados en Jiménez (2005), el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la

erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, 2001). Otra definición que se manifiesta en términos análogos es la aportada por Corominas y García Yagüe definiendo movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997 citados en Jiménez, 2005). Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978) citado en Jiménez (2005).

### 7.3.2 Clase de Movimientos de Ladera

La clasificación de los movimientos de ladera depende de los criterios utilizados para su diferenciación. A continuación, se presentan los movimientos en ladera según Varnes (1958), (1978); Ayala *et al.*, (1987), Corominas y García Yagüe, (1997) citados en Jiménez (2005), basados en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos.

**Deslizamiento.** En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas.

La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido. Sin embargo, Geologiaweb (2016), también es útil comprender las partes básicas de un deslizamiento de tierra típico. En la figura 3 se muestra la posición y los términos más comunes utilizados para describir las partes únicas de un deslizamiento de tierra.

Figura 3. Partes de un deslizamiento.



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura]. Flujo de lodos. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

Una de las variables importantes es la velocidad, la cual suele ser dinámica. De acuerdo con Jiménez (2005), en función de la geometría de la superficie de rotura se puede discernir entre deslizamiento traslacional o planar, cuando la superficie es un plano con una inclinación más o menos constante, y deslizamiento rotacional, cuando la superficie de rotura es de una superficie cóncava.

Para Castrillón y Quintero (2012), en este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. Por el contrario, los deslizamientos traslacionales suelen producirse sobre materiales heterogéneos con superficies de discontinuidad bien definidas. Cuando los movimientos de ladera tienen una superficie de rotura con una geometría mixta se denominan deslizamientos compuestos (Antoine 1992, citado en Jiménez 2005).

Según Geologiaweb (2020), un deslizamiento de tierra es un movimiento descendente de roca o suelo, que ocurre en la superficie de la ruptura, ya sea curva (deslizamiento rotacional) o ruptura plana (deslizamiento traslacional), en la que gran parte del material a menudo se mueve como una masa coherente o semicoherente con poca deformación interna. Cabe señalar que, en algunos casos, los deslizamientos de tierra también pueden implicar otros tipos de movimiento, ya sea al inicio de la falla o más tarde, si las propiedades cambian a medida que el material desplazado se mueve cuesta abajo.

Los más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques). Este tipo de movimientos tienen lugar en laderas cubiertas por material no consolidado y el agua es un motor principal en el proceso. Son movimientos muy rápidos y frecuentemente están relacionados con tormentas (Jiménez 2005). Comprender las características del tipo específico de peligro de deslizamiento de tierra en su área es de vital importancia a tener en cuenta al planificar o adoptar medidas mitigadoras apropiadas para disminuir la amenaza por pérdidas y daños. En la tabla 1 se muestran los movimientos en masa y su descripción, en la cual los deslizamientos de tierra se describen utilizando dos términos que se refieren respectivamente al material y movimiento (es decir, caída de rocas, flujo de escombros, etc.). Los deslizamientos de tierra también pueden formar una falla compleja que abarca más de un tipo de movimiento (deslizamientos de rocas y flujos de escombros. (Geologiaweb, 2020).

Tabla 1. Tipos de movimientos en masa y su descripción.

<b>TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rotacionales</li> <li>– Traslacionales en rocas y suelos</li> </ul>
Flujos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujos de lodo, Flujos de detritos, Flujos rocosos, Reptación, Soliflucción</li> </ul>
Desprendimientos o Caídas	Desprendimientos de rocas y suelos
Vuelco	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vuelco de rocas, Volcamiento flexural de macizos rocosos</li> </ul>
Avalanchas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Avalanchas de rocas</li> <li>– Colapsos</li> </ul>
Desplazamientos laterales	Suelos y bloques rocosos

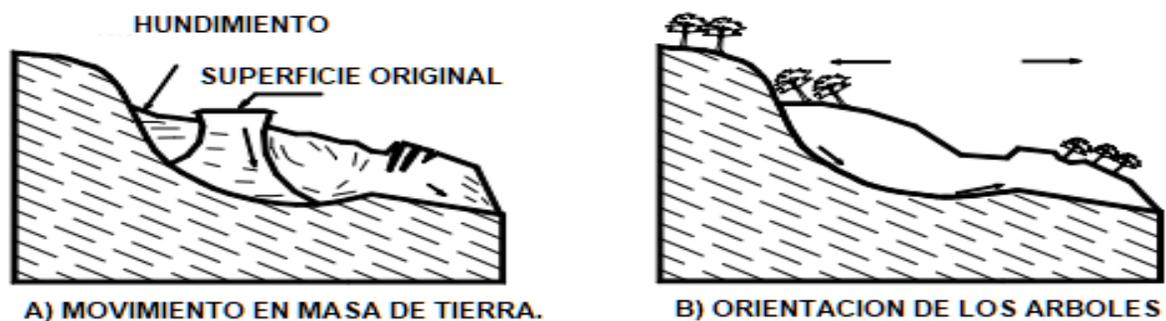
Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Tabla]. Tipos de movimientos en masa. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

Para Suarez (1998), en un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento, visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y

cóncavos en la dirección del movimiento como se ve en la figura 4. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento, en muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de cuchara. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

Figura 4. Deslizamiento rotacional en rocas y suelo.

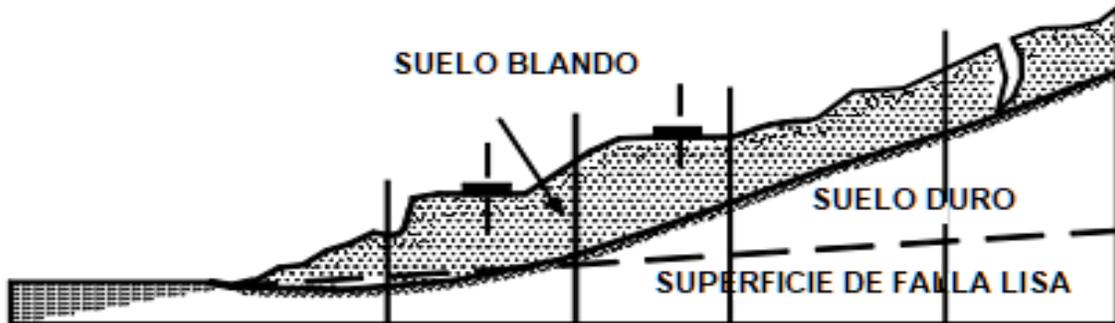


Fuente: Suarez, J (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Deslizamiento rotacional. Consultado: 31 de julio de 2018. Disponible en: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf>

Para Suarez (1998), en el deslizamiento traslacional el movimiento en masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 5), la diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de

estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones.

Figura 5. Deslizamientos traslacionales en suelos y rocas.



Fuente: Suarez, J (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales,

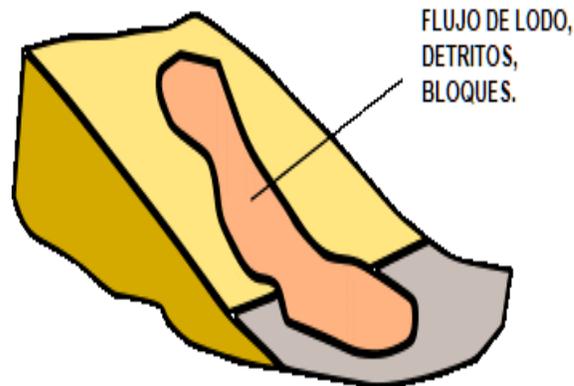
Deslizamientos traslacionales. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf>

Según Varnes (1978) citado en Jiménez (2005), los flujos de tierra bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento. En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los flujos (Figura 6) son movimientos espacialmente continuos, dado que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular.

Los flujos envuelven todos los tipos de materiales disponibles y se clasifican con base en su contenido, por tanto, se dividen en flujos de rocas, flujos o corrientes de derrubios y flujos de arena o suelo.

Figura 6. Flujos de lodo o tierra.



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura]. Flujo de lodos. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

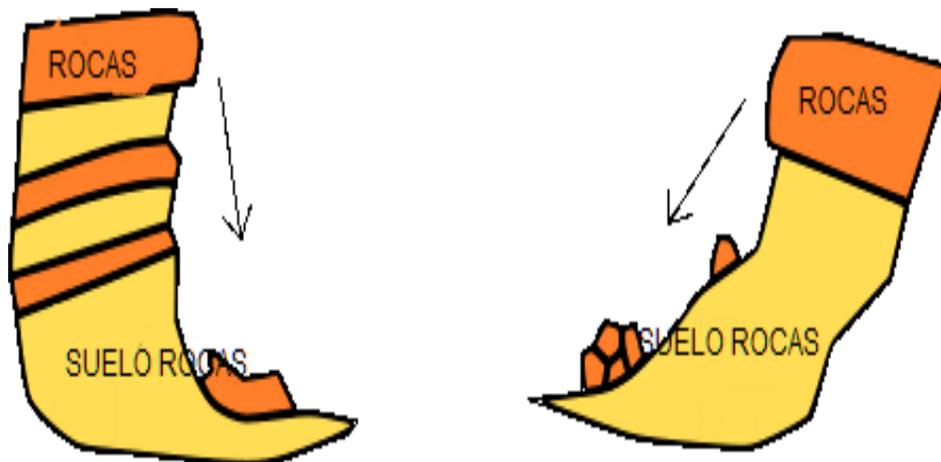
<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

Los flujos son deslizamientos que adquieren grandes velocidades y que se comportan como fluidos viscosos en movimiento. Las masas se comportan como un fluido, pero su comportamiento es diferente al de los fluidos convencionales como el agua. Los deslizamientos tipo flujo (flujos de rocas y residuos, flujos de residuos y de lodo y flujos hiperconcentrados) son fenómenos muy complejos que involucran grandes volúmenes de roca, residuos y suelo. Estos fenómenos presentan diferentes tipos de movimiento inicial (caídos, deslizamientos traslacionales, etc.) seguidos de un movimiento de flujo de fragmentos de roca o residuos con una movilidad anormal (Hung *et al.* 2001).

### 7.3.3 Desprendimientos de rocas

Los desprendimientos o caldas (Figura 7) son los movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar o fluir ladera abajo posteriormente. Estos movimientos son definidos con base en el material involucrado, por lo que se clasifican de manera general en caídas o desprendimiento de rocas, caídas o desprendimiento de detritos y caídas o desprendimientos de suelos. La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o externadamente rápida, a excepción de cuando la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes. 1996). Estos movimientos ocurren en laderas fuertemente inclinadas, tanto de tipo natural como artificial.

Figura 7. Desprendimientos de rocas.



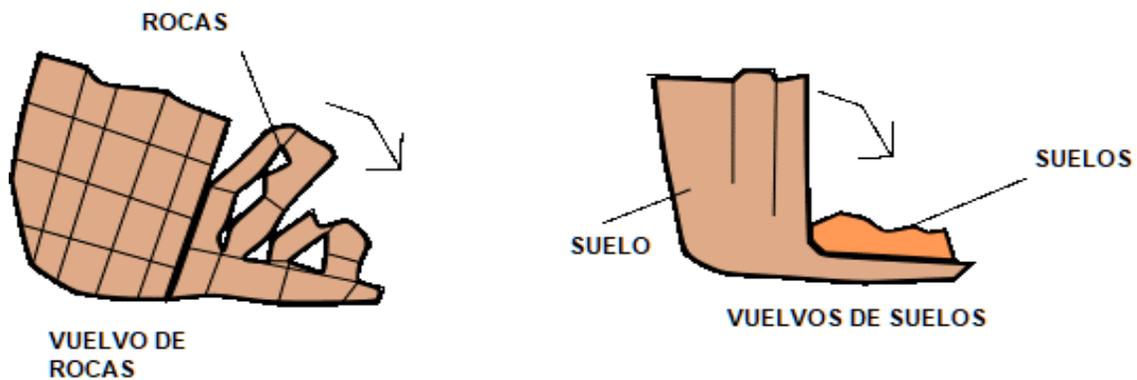
Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura].

Desprendimientos de rocas. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

- **Vuelco de Rocas y Suelos**, ocurren cuando los frentes de rocas presentan estratos verticalizados que se encuentran buzando en sentido contrario a la ladera, Figura 8 (Geologiaweb, 2020).

Figura 8. Volcamiento de rocas y suelos.



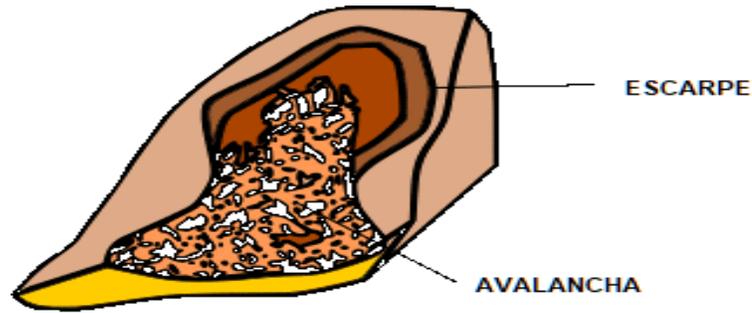
Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura].

Volcamiento de rocas y suelos. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

- **Avalanchas de rocas**, se forman cuando existe el colapso de grandes volúmenes de masas rocosas, suelen estar asociados al colapso de calderas volcánicas, Cuando ocurre este movimiento en masa, suele ser un proceso violento, que genera la trituración de grandes bloques de rocas, el resultado es la formación de una brecha compuesta por bloques de gran tamaño en una matriz fina de rocas trituradas (Figura 9).

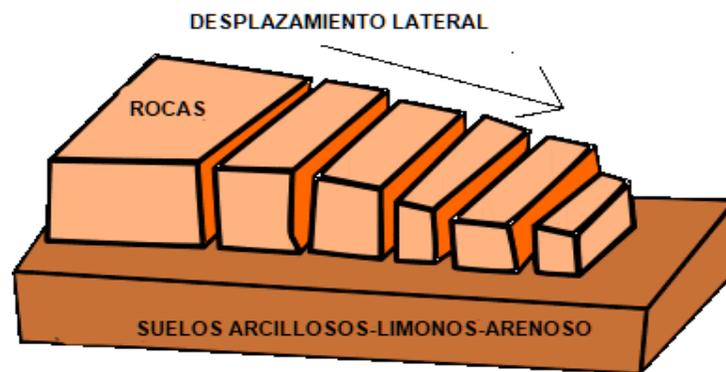
Figura 9. Avalancha de rocas.



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura]. Avalancha de rocas. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>.

- **Desplazamientos laterales**, este tipo de movimiento en masa suele ser regional, se origina debido a que un tipo de roca masivo y competente se encuentra sobre un material blando y deformable, lo que permite desplazamientos laterales lentos y constantes (Figura 10).

Figura 10. Partes de un deslizamiento.



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos [Figura].

Desplazamiento lateral. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

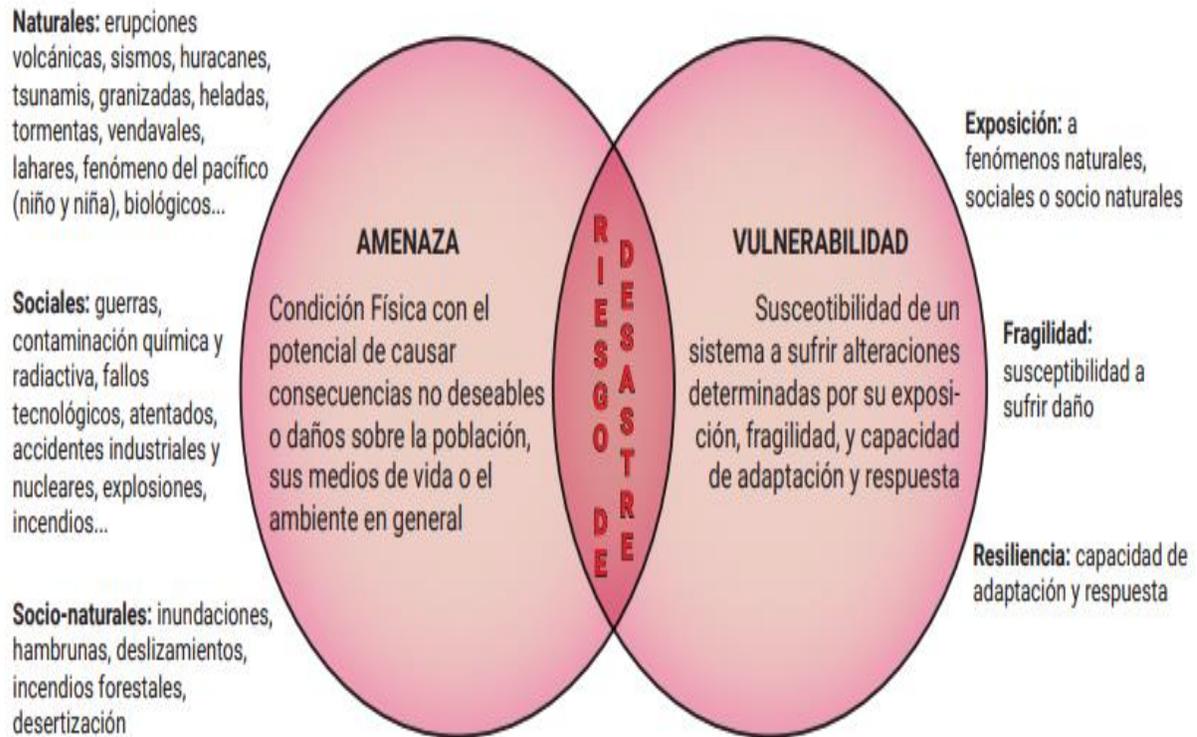
<https://geologiaweb.com/deslizamientos/>.

De acuerdo con Guzzetti *et al.*, (2012), en el inventario de movimientos en masa se registra la ubicación (como punto o polígono), fecha de ocurrencia (donde se conozca) y tipo de movimiento en masa que ha dejado señales o rastros identificables en un área. Se propone incluir dentro del inventario de procesos morfodinámicos, tanto los movimientos en masa, como los rasgos o características geomorfológicas indicativas de inestabilidad. Así mismo, se presenta la información y los requisitos mínimos que debe contener el inventario de procesos morfodinámicos tanto para la elaboración del inventario en sí mismo, como para su uso en los análisis de susceptibilidad y amenaza.

Algunas ubicaciones son extremadamente difíciles de llegar. En estos casos se opta por la utilización de imágenes de sensores remotos (análogas o digitales), entre los principales lo son, fotografías aéreas, imágenes de satélite de alta resolución y mapas de sombras derivados de modelos digitales de elevación. Por lo tanto, es necesario realizar un adecuado proceso de identificación y caracterización de este tipo de procesos. Para ello, diferentes autores, como Dikau *et al.*, (1996), Naranjo (2015), Suárez (1998), Trabuck & Lutgens (2005) y van Westen (2013), con base en sus propias experiencias en el tema, han planteado criterios para identificar los diferentes tipos de movimientos en masa con base en aspectos morfológicos del terreno, la vegetación, el drenaje y la variación de las pendientes del terreno.

La Figura 11 presenta cómo el riesgo de desastre se da en la medida en que coinciden unas condiciones de amenaza y vulnerabilidad, que son los factores de riesgo, de manera que para una adecuada gestión del riesgo es necesario entender la forma como interactúan dichos factores y configuran situaciones de riesgo concretas que representan posibilidades reales de afectación a comunidades, los ecosistemas que los soportan y sus medios de vida (Albarracín *et al.*, 2017).

Figura 11. Factores del riesgo de desastre desde el enfoque holístico.



Fuente: Albarracin *et al.*, (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remociones en masa, y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas.

Factores del riesgo de desastres desde el enfoque holístico. Consultado: 1 de junio de 2020.

➤ **Amenaza**

Según la Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres realizada en el 2009. Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales; hay diferentes clases de amenaza. Entre ellas están:

a) Amenaza biológica - un proceso o fenómeno de origen orgánico o que se transporta mediante vectores biológicos, lo que incluye la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas que pueden ocasionar la muerte, enfermedades u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

b) Amenaza geológica - un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

c) Amenaza hidrometeorológica - un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

d) Amenaza natural - un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales; Amenaza socio-natural. El fenómeno de una mayor ocurrencia de eventos relativos a ciertas amenazas geofísicas e hidrometeorológicas, tales como aludes, inundaciones, subsidencia de la tierra y sequías, que surgen de la interacción de las amenazas naturales con los suelos y los recursos ambientales explotados en exceso o degradados.

e) Amenaza tecnológica - una amenaza que se origina a raíz de las condiciones tecnológicas o industriales, lo que incluye accidentes, procedimientos peligrosos, fallas en la infraestructura o actividades humanas específicas que pueden ocasionar la muerte, lesiones, enfermedades u otros

impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales o económicos, o daños ambientales.

#### 7.3.4 Zonificación de la Susceptibilidad y Amenaza

La metodología Mora-Vahrson es una de las más usadas y consiste en la ponderación de parámetros condicionantes (litología, humedad, pendiente) y detonantes (sismo, lluvia) para los tipos de movimientos en masa. Además, para la elaboración del presente proyecto es necesario la recolección y uso de información preliminar que permita tener una amplia gama de datos y una base firme; en el avance exitoso de la metodología enfoca en la ponderación de procesos condicionantes y procesos detonantes considerando el tipo de movimiento en masa, es primordial contar con el conocimiento de expertos en la zona.

Según Mora-Vahrson (1994), la interpolación de los factores se realiza considerando que los movimientos en masa ocurren cuando en una ladera compuesta por una litología determinada con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un nivel de susceptibilidad, dado que los factores externos como sismos y lluvias intensas se categorizan en factores de disparo o detonantes.

La amenaza de remoción en masa es resultado de la interacción del grado de susceptibilidad y de la acción de los factores detonantes sismo y lluvia como se muestra en la ecuación 1.

$$H = (Sr \times Sh \times Sl) \times (Ts + Tp) \quad \text{Ec. (1)}$$

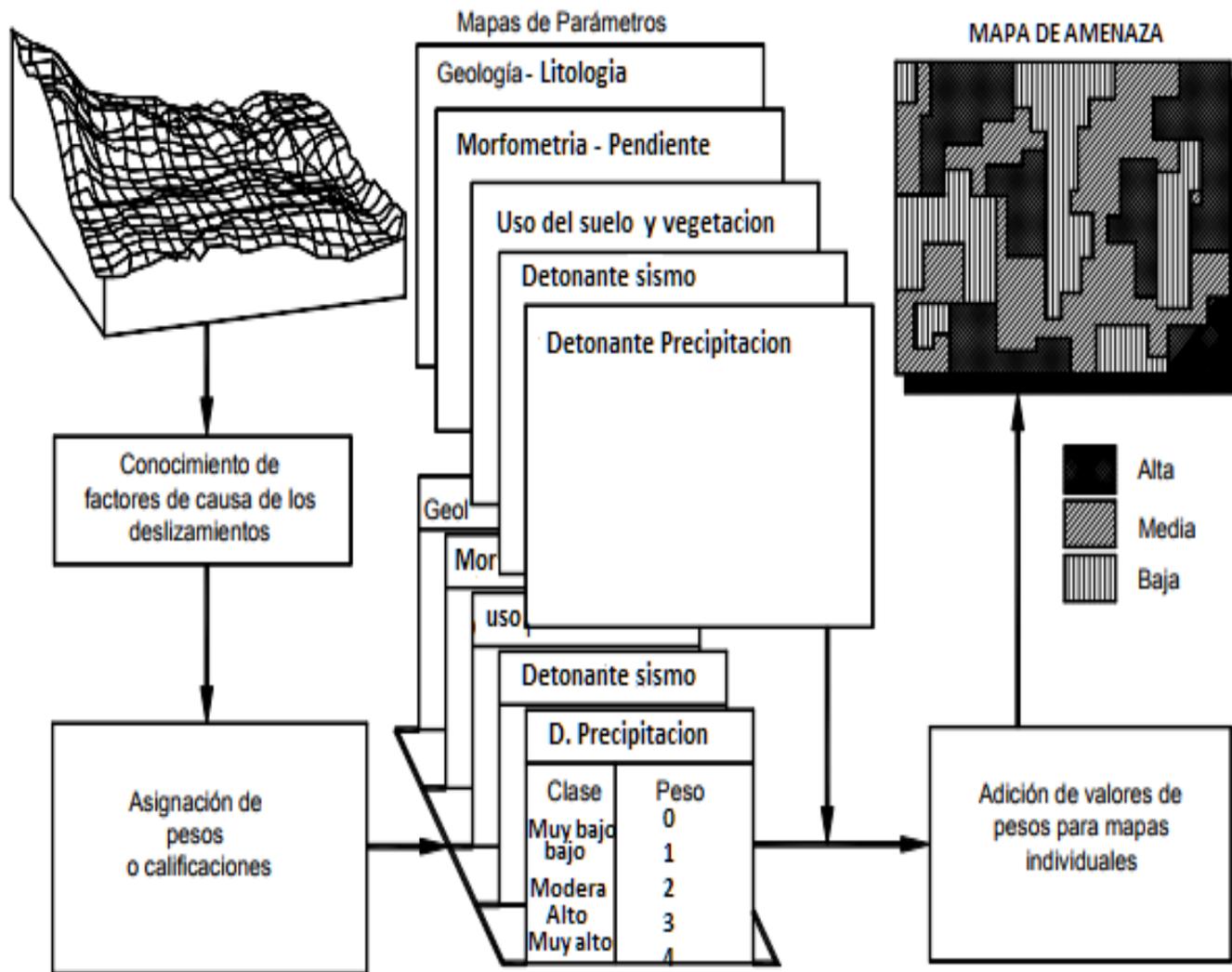
Donde,  $H$  - Grado de amenaza,  $Sr$  - Factor relieve relativo,  $Sh$  - Factor humedad del suelo,  $Sl$  - Factor litología,  $Ts$  - Factor de disparos por sismos,  $Tp$  - Factor de disparos por precipitaciones.

De acuerdo con Mora-Vahrson (1994). Citado por Chiquin, (2017), esta metodología por si misma resulta aplicable a países en vías de desarrollo, debido a que requieren pocas variables morfodinámicas y su aplicación es relativamente sencilla, incluye los factores más significativos desde el punto de vista de la inestabilidad de laderas, se basa en parámetros que puedan determinarse de manera ágil y económica. Los mapas generados pueden ser utilizados como insumos en la toma de decisiones para los procesos de planificación del uso del terreno, urbana y de líneas vitales.

#### 7.3.5 Determinación de los ponderados en SIG

La herramienta SIG es una de las más rápidas de dibujo y cuantificación con un amplio uso en ciencias ambientales y de la tierra. Los criterios planteados de sector en sector y para este análisis se deben utilizar los valores de peso con los diferentes insumos y desarrollar por medio de un profesional especializado una ponderación según su experiencia en la zona, como ejemplo se presenta la figura 12.

Figura 12. Uso de ArGIS 10.3 para combinación cualitativa de mapas.



Fuente: Soeters y Van Westen (1996). Slope instability Recognition, analysis and zonation

[Figura]. Uso SiGs. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/209803184\\_Slope\\_instability\\_Recognition\\_analysis\\_and\\_zonation](https://www.researchgate.net/publication/209803184_Slope_instability_Recognition_analysis_and_zonation)

➤ **Factor morfométrico (Sp)**

Este factor conforma las características geomorfológicas del terreno asociado a una base numérica, para este proyecto en específico se empleará la condición de pendiente del terreno por su incidencia en el tipo de proceso de remoción en masa mayormente encontrado en el área afectada, la cual se determinará por medio de un modelo digital de elevación (MDE) proporcionado por el instituto nacional de estadística y geografía (INEGI,2010).

- **Pendiente.** Según Lugo (1988) y Pedraza (1996), la pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve; prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo a su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno. En este contexto, existen intervalos bien definidos para describir la pendiente en el proyecto, con base en la metodología Mora-Vahrson (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de pendiente con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

RANGO (%)	DESCRIPCIÓN	FACTOR
0-8	Pertenece a relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados. Además de todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos dobles o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.	1

8-12	Pertenece a relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados	2
12-25	Pertenece principalmente a relieves mediana a fuertemente disectados.	3
25-40	Pertenece principalmente a relieves fuertemente disectados	4
40-70	Pertenece principalmente a relieves muy fuertemente disectados	5
70-150	Pertenece principalmente a relieves escarpados.	6
150-200	Pertenece principalmente a relieves muy escarpados.	7
>200	Pertenece a las zonas reconocidas como mayores a 200% en el mapa de pendientes	8

Fuente: Mora-Vahrson (1994).

➤ **Factor litología (FL)**

El tipo de roca en la zona de estudio hace parte sustancial en el comportamiento dinámico de laderas. Según Mora-Vahrson (1994), consideran como un factor de amenaza significativo para la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa. Así, se refiere a la composición de las unidades geomorfológicas en cuanto a su sustrato rocoso y a los depósitos superficiales. En la Tabla 3 se describe la litología de la zona de estudio.

El conglomerado de Zacatecas, se dividió en miembros informales de acuerdo con sus relaciones de campo y la continuidad en sus características internas. En forma ascendente los miembros son; masivo y arenisca, clastos de granito, tobas de piedra pómez, clastos de basalto y riolita, y ricos en arena (Cohen *et al.*, 2015). Las areniscas se clasificaron como litharenita, arcosa o sublitarenita según la abundancia de sus componentes principales.

Los datos geoquímicos disponibles para la formación Zacatecas son limitados debido a que estas rocas sufrieron alteración hidrotermal / deuteriana y metamorfismo de facies de greenschist, los elementos fluidos móviles como K, Na, Rb o Sr deben tratarse con precaución en la interpretación petrogenética y tectónica.

Para el Complejo las Pilas, Ranson *et al.*, (1982) presentaron elementos principales y dos oligoelementos (Rb y Sr) de cinco rocas ígneas. Sin embargo, debido a la alteración hidrotérmica/deuteriana, estos resultados pueden verse comprometidos por procesos secundarios en lugar de reflejar firmas ígneas primarias.

Tabla 3. Descripción de litología de la zona con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

Tipo de roca	Formacion	Edad	Símbolo	Descripción del tipo de roca
Ignibrita	Conglomerado Zacatecas	Paleoceno-oligoceno inferior	ig	Las Ignimbritas son rocas piroclásticas que tienen textura eutaxítica. La mesostasis puede ser microcristalina, criptocristalina o vítrea. Están formadas por fragmentos de cristales, vidrio, roca y pómez, esta última en forma de fiammes.
Miembro conglomerado masivo y arenisca	Conglomerado Zacatecas	Paleoceno-oligoceno inferior	cma	Este es el miembro más bajo y surge en la parte central y occidental del valle ocupado por las ciudades de Zacatecas y Guadalupe El miembro está bien consolidado, domina el conglomerado pero, tiene interestratificados estratos de arenisca.

Miembro rico en areniscas	Conglomerado Zacatecas	Paleoceno inferior	mra	Representar un cambio de facies de los clastos de Basalto y Riolita, miembro, siendo esta última la parte más gruesa y la primera la más fina.
Toba	Conglomerado Zacatecas	Paleoceno inferior	tb	Afloran en la parte sur de las ciudades de Zacatecas y Guadalupe. La mesostasis varía de micro a criptocristalina; tienen fragmentos de cristales y, la abundancia de fragmentos líticos y pómez es variable
Cuarcita y filita	Formación Zacatecas	Triásico superior	cf	Las filitas son rocas de bajo grado de metamorfismo (metamorfismo por carga de sedimentos). La cuarcita es una roca metamórfica muy dura formada a partir de una arenisca rica en cuarzo.
Diorita	Complejo las pilas	Cretácico inferior	d	La diorita es una roca ígnea intrusiva o plutónica de tectura fanerítica, con abundantes

				<p>cristales de plagioclasa y escasos cuarzo y feldespato potásico.</p> <p>Tiene alteración hidrotermal y deutérica.</p>
Filita	Filita la escondida	Cretácico inferior	f	<p>Roca metamórfica de estructura laminar plana u ondulada, producida por la orientación de filosilicatos. Está compuesta por cristales finos de moscovita, cuarzo, talco y albita.</p>
Grauvaca, wacka y lodolita	Complejo las pilas	Cretácico inferior	gwl	<p>Son areniscas que contienen más del 15% de matriz (fracción &lt;30 micras). Se distinguen grauvacas feldespáticas (&gt;95% de feldespatos, y feldespatos &gt; fragmentos de roca), grauvacas líticas (&gt;95% de fragmentos de roca, y fragmentos de roca &gt; feldespatos), y cuarzo grauvacas (&lt;5% tanto de feldespatos como de fragmentos de roca).</p>

Lava almohadilla	Complejo las pilas	Cretácico inferior	la	Las lavas almohadilladas, por el contrario, tienen una estructura de almohada bien desarrollada, tubos de lava y, a veces, sedimentos de grano fino entre las almohadas.
Lava deformada	Complejo las pilas	Cretácico inferior	ld	Los flujos deformados exhiben una foliación, brecha y / o fractura intensa de desarrollo de moderado a moderado que dificulta reconocer cualquier estructura interna.
Lava masiva	Complejo las pilas	Cretácico inferior	lm	Los flujos masivos, cuando se folian, siempre muestran una foliación bien desarrollada definida por clorito. Se encuentran flujos foliados junto a las intrusiones dioríticas, lo que sugiere que los cuerpos dioríticos competentes actuaron como barreras de tensión durante la fase de deformación.

<p>Miembro de clastos de basalto</p>	<p>Conglomerado Zacatecas</p>	<p>Paleoceno inferior</p>	<p>mcb</p>	<p>Está cubierto por tobas y flujos de lava riolítica / dacítica de la secuencia volcánica cenozoica. Consolidado, posiblemente debido a la silicificación generalizada que disminuye la sección ascendente. La silicificación posiblemente esté relacionada con el origen de depósitos de mineral cercanos.</p>
<p>Miembro de clastos de granito</p>	<p>Conglomerado Zacatecas</p>	<p>Paleoceno inferior</p>	<p>mcb</p>	<p>Como su nombre lo indica, este miembro está compuesto principalmente de clastos de granito, ya sea en el conglomerado o en las capas de arenisca.</p>
<p>Toba de pómez y líticos</p>	<p>Secuencia volcánica terciaria</p>	<p>Oligoceno-mioceno</p>	<p>tpl</p>	<p>La parte más baja de este miembro es una toba de 5 m de espesor compuesta de plagioclasa, escasa biotita y fragmentos volcánicos en una matriz microcristalina a vítrea.</p>

				Está cubierto por una toba pómez de 3 m de espesor.
Volcaniclástico	Formación la pimienta	Jurásico inferior	v	Producidos inicialmente por actividad volcánica efusiva y explosiva, que se manifiestan sobre la superficie del terreno.

Fuente: Escalona *et al.*, (2009,2014,2016).

Para la respectiva ponderación del factor litológico se usará la metodología para la categorización realizada por Mora-Vahrson (1994). Finalmente ubicarlo y darle valor a los ponderados de la mejor forma posible. Este factor solicita una valoración detallada y profesional siguiendo la metodología (Tabla 4).

Tabla 4. Calificación del factor litológico con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

LITOLOGÍA	CLASE	FACTOR
Aluvión o rocas poco consolidadas, permeables, carbonatos permeables, intrusiones poco fracturadas, basaltos, ignimbritas o gneiss; bajo nivel de alteración, agua subterránea profunda, fracturas limpias y rugosas, resistencia a cizalla.	BAJA	1
Mayor grado de alteración de las rocas, menos resistencia a la cizalla y fracturas deformadas.	MODERADA	2

Rocas volcánicas, metamórficas. Intrusivas y sedimentarias considerablemente alteradas; suelos residuales arenosos, mayor fracturamiento, agua subterránea fluctuante	MEDIA	3
Rocas muy meteorizadas y alteradas, fuertemente fracturadas, rellenos de arcilla en las fracturas, piroclastos y suelos fluvio-lacustres probablemente compactados, agua subterránea superficial	ALTA	4
Rocas extremadamente alteradas, coluviones y suelos residuales con baja resistencia a la cizalla, agua subterránea muy superficial.	MUY ALTA	5

Fuente: Mora-Vahrson (1994).

➤ **Factor Uso del Suelo y Vegetación (SU)**

La información referente a la vegetación y uso del suelo de la zona de estudio se encuentra homogeneizada y se obtuvo de la base de datos del INEGI. Según Suarez (1998), la vegetación con mayor consistencia de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía. El control de erosión determina que en árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos, Rice y Krames (1970), sugirieron que el clima es implicado en el efecto relativo de la vegetación para prevenir deslizamientos en los climas sobre los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y en áreas de clima árido puede afectar en forma significativa la

ocurrencia de deslizamientos. Dicha ocurrencia a este tipo de movimiento en masa es mayor en áreas cultivadas que en los bosques naturales (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción del uso del suelo con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

CATEGORÍA	CLASE	DESCRIPCIÓN
Bosques, cultivos permanentes, manglares.	Alta cobertura	<p>Bosque: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.</p> <p>Cultivos: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas.</p>
Vegetación arbustiva, vegetación herbácea, páramos, cultivos, semipermanentes, cultivos anuales,		<p>Vegetación Arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas cuya estructura no cumple con la definición de bosque.</p> <p>Vegetación Herbácea: Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados</p>

<p>agropecuario mixto.</p>	<p>Baja cobertura</p>	<p>especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.</p> <p>Vegetación desarrollada en abruptos o sobre cangagua. Páramo: Incluye ecosistemas de páramo denso y en distintas etapas de recuperación después de disturbios antrópicos.</p> <p>Cultivo Semipermanente: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años. Cultivo Anual: Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año. Agropecuario mixto: Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivos donde su uso está caracterizado por variedad de productos.</p>
<p>Sin cobertura zonas erosionadas procesos de erosión</p>	<p>Sin cobertura</p>	<p>Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye playas, desiertos, gravas, salina industrial, salina natural, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico.</p>

Infraestructura	Mediana cobertura - antrópica	Pertenece principalmente a relieves fuertemente disectados
-----------------	-------------------------------------	--

Fuente: Mora-Vahrson (1994).

### ➤ Determinación del grado de Susceptibilidad

Según Mora-Vahrson (1994), una vez establecidos las ponderaciones de cada factor, se procede a determinar el valor y grado de Susceptibilidad para los procesos de caídas, en este proyecto se otorgaron valores del 1 al 5, los cuales se agruparon en nulo, bajo, moderado, alto y muy alto como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Nivel de susceptibilidad.

SUSCEPTIBILIDAD	CONVENCIÓN
Nula	
Baja	
Moderada	
Alta	
Muy Alta	

Fuente: Modificado de Mora-Vahrson (1994) por Alvarez (2020).

➤ **Factor de Disparo por Precipitaciones (TP)**

Con base en la metodología Mora-Vahrson (1994) se consideró a la intensidad de precipitación como factor de disparo. A partir de la aplicación de esta y basándose en los registros de estaciones meteorológicas empleando como dato principal el total mensual de precipitación en un periodo de 25 años proporcionados y actualizados por CONAGUA. En la tabla 7 se presenta el cuadro modificado para procesar el factor precipitación.

Tabla 7. Clasificación de precipitaciones total mensual con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

CLASE	PRECIPITACIONES TOTAL MENSUAL 1992-2016
Muy bajo	<100 mm
Bajo	100 mm - 300 mm
Mediano	300 mm - 600 mm
Alta	600 mm – 800 mm
Muy alta	>800 mm

Fuente: Mora-Vahrson (1994) modificado por Alvarez (2020).

➤ **Factor de Disparo Sismo (TS)**

Con base en la metodología Mora-Vahrson (1994) se considera a los sismos como factor de disparo. Se diseñó la tabla 8 presentando el cuadro modificado del factor sismo (Ts) siguiendo el criterio de Mora-Vahrson (1994).

Tabla 8. Calificación del factor sismo (Ts) con base en la metodología Mora-Vahrson (1994).

CALIFICATIVO	MAGNITUD
Leve	0 - 3.5
Muy bajo	
Bajo	
Moderado	3.5 - 4.5
Medio	
Elevado	4.5 - 6.0
Fuerte	
Bastante fuerte	7 - 8
Extremadamente fuerte	➤ 8

Fuente: Mora-Vahrson (1994).

➤ **Determinación del Grado de Amenaza (H)**

Según Mora-Vahrson (1994), una vez establecidos las ponderaciones de cada factor Detonante y de Susceptibilidad, se procede a determinar el valor y grado de Amenaza para los procesos de caídas en este proyecto, el grado de Susceptibilidad se otorgó en valores del 1 al 3, los cuales se agruparon en baja, media y alta mostrados (tabla 9).

Tabla 9. Nivel de amenaza.

SUSCEPTIBILIDAD	CONVENCION
BAJA	
MEDIA	
ALTA	

Fuente: Modificado de Mora-Vahrson (1994) por Alvarez (2020).

➤ **Herramientas utilizadas en ArcGIS**

**Herramienta *Intersect*.** la herramienta Intersecar calcula la intersección geométrica de cualquier cantidad de clases de entidad y capas de entidades. Las entidades, o porción de entidades, que son comunes a todas las entradas (es decir, intersecan) se escribirán en la clase de entidad de salida. La herramienta Intersecar realiza lo siguiente: a) Determina la referencia espacial para el procesamiento. También la referencia espacial de la clase de entidad de salida. Todas las entidades de entrada se proyectan en esta referencia espacial para su procesamiento; b) Genera vértices y crea clústeres en las entidades. La generación de vértices inserta los vértices en la intersección de los bordes de entidades; el clustering alinea los vértices que se encuentran dentro de la tolerancia xy; c) Descubre las relaciones geométricas (intersecciones) entre las entidades de todas las clases o capas; y d) Escribe estas intersecciones como entidades (punto, línea o polígono) en la salida.

**Herramienta *Slope*.** Según Chiquin-Camacho (2017), para cada celda esta herramienta calcula la tasa máxima de cambio del valor de esa celda a sus vecinos. Básicamente, el cambio máximo

en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus vecinos identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda, para emplearlo con la metodología, las unidades de medida de los datos de salida de la pendiente serán en porcentaje.

**Herramienta *Reclassify*.** Según desktop clasifica (o cambia) los valores en un ráster.

## **8. METODOLOGÍA**

Con el fin del cumplimiento y análisis de los objetivos anteriormente presentados se tienen en cuenta las siguientes actividades desarrolladas en su totalidad con experiencia de profesionales y visitas a campo.

### **8.1 Trabajo de campo**

El trabajo de campo fue hecho durante el día, con el apoyo de los dres. Bluhm y Escalona. El equipo de campo constituye de una cámara digital, el uso de una brújula y cinta métrica propiedad de la Universidad Autónoma de Zacatecas con el fin de evaluar, medir y establecer los distintos lugares que podrían sufrir algún tipo de movimiento en masa o que estuvieran notablemente en amenaza por proceso de remoción con probabilidades de afectación a las personas, viviendas, vías o ecosistema localizados en el área de estudio y sus alrededores (Figs. 1 y 2). Durante el trabajo de campo buscó el mejor lugar para aplicar la metodología y aportar conocimientos a la comunidad.

### **8.2 Recopilación de la cartografía digital básica**

Para la zonificación de la susceptibilidad y amenaza fue necesario tener en cuenta las características geo-ambientales que determinan o pueden determinar la ocurrencia de un movimiento en masa en una región de estudio, las cuales se determinaron a partir de; la morfometría (pendiente del terreno), litología, vegetación, uso del suelo, precipitación y sismos. Se descargaron imágenes satelitales de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y se obtuvo el modelo digital de elevación con una resolución de 15x15 m.

1. La pendiente del terreno fue realizada con el software ArcGIS 10.3 utilizando la herramienta *slope* en el modelo digital de elevación.
2. Para obtener la vegetación y uso del suelo de la zona de estudio, se tomó la capa de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Con la de mayor resolución disponible (1:50.000). Actualizado hasta el año 2020 la cual se realiza para la vegetación y uso del suelo en la misma capa shape, delimitando la capa con el área de la zona de estudio. Como resultado los mapas finales.
3. La capa de litología fue realizada con la experiencia del PhD Felipe De Jesús Escalona y otros investigadores con más de una década en la zona y con metodologías propuestas en estudios geológicos, geotécnicos y ambientales, como Escalona *et al.*, (2009), Escalona *et al.*, (2014), Escalona *et al.*, (2016), se realizó la capa digital en el programa ArcGIS 10.3 por los expertos mencionados. Para el análisis y procesamiento de datos en función de la metodología Mora-Vahrson (1994) se delimitó la capa con el área de la zona de estudio en este proyecto.
4. Para evaluar la detonante lluvia se realizó la capa de isoyetas en el programa ArcGIS 10.3 con la herramienta de interpolación IDW y datos de precipitación total mensual de las estaciones Zacatecas (Tabla 10), Guadalupe (Tabla 11) y la Bufo (Tabla 12), suministrados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020) con un periodo de 30 años, para su análisis y procesamiento de datos según la metodología Mora-Vahrson (1994) delimitando la capa con el área de la zona de estudio en este proyecto.

Tabla 10. Datos de precipitación total mensual de la estación Zacatecas, periodo 1992-2016.

AÑO	X	Y	PROM(mm)
1992	748830,2	2519143,9	162
1993	748830,2	2519143,9	221
1994	748830,2	2519143,9	187.3
1995	748830,2	2519143,9	145.5
1996	748830,2	2519143,9	175.5
1997	748830,2	2519143,9	171.3
1998	748830,2	2519143,9	216.5
1999	748830,2	2519143,9	119.3
2000	748830,2	2519143,9	146.6
2001	748830,2	2519143,9	219.8
2002	748830,2	2519143,9	205.7
2003	748830,2	2519143,9	182.5
2004	748830,2	2519143,9	250.3
2005	748830,2	2519143,9	121.5
2006	748830,2	2519143,9	202.3
2007	748830,2	2519143,9	195.5
2008	748830,2	2519143,9	175.7
2009	748830,2	2519143,9	227.5
2010	748830,2	2519143,9	134.6
2011	748830,2	2519143,9	81.1
2012	748830,2	2519143,9	75.1

2013	748830,2	2519143,9	189.6
2014	748830,2	2519143,9	147.1
2015	748830,2	2519143,9	362.3
2016	748830,2	2519143,9	151.9

Fuente: Comisión Nacional Del Agua (2020). Datos de precipitación de la estación zacatecas

(DGE). Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Mensuales/zac/00032086.TXT>

Tabla 11. Datos de precipitación total mensual de la estación Guadalupe, periodo 1992-2016.

AÑO	X	Y	PROM(mm)
1992	756048,1	2517657,2	420.9
1993	756048,1	2517657,2	327.7
1994	756048,1	2517657,2	575.6
1995	756048,1	2517657,2	339.3
1996	756048,1	2517657,2	491.5
1997	756048,1	2517657,2	443.7
1998	756048,1	2517657,2	257.1
1999	756048,1	2517657,2	312.2
2000	756048,1	2517657,2	473.9
2001	756048,1	2517657,2	381.6
2002	756048,1	2517657,2	671.3
2003	756048,1	2517657,2	495.1
2004	756048,1	2517657,2	751.7

2005	756048,1	2517657,2	316.1
2006	756048,1	2517657,2	579.6
2007	756048,1	2517657,2	450.3
2008	756048,1	2517657,2	506.9
2009	756048,1	2517657,2	363.6
2010	756048,1	2517657,2	506.5
2011	756048,1	2517657,2	221
2012	756048,1	2517657,2	338
2013	756048,1	2517657,2	689.6
2014	756048,1	2517657,2	386.3
2015	756048,1	2517657,2	933.1
2016	756048,1	2517657,2	373.2

Fuente: Comisión Nacional Del Agua (2020). Datos de precipitación de la estación Guadalupe. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Mensuales/zac/00032121.TXT>

Tabla 12. Datos de precipitación total mensual estación la Bufa, periodo 1987-2018.

AÑO	X	Y	PROM(mm)
1992	749805	2521098,8	265.2
1993	749805	2521098,8	387.8
1994	749805	2521098,8	233
1995	749805	2521098,8	370.2
1996	749805	2521098,8	231.1

1997	749805	2521098,8	355.8
1998	749805	2521098,8	340.1
1999	749805	2521098,8	334.3
2000	749805	2521098,8	325.1
2001	749805	2521098,8	493.2
2002	749805	2521098,8	358.1
2003	749805	2521098,8	293.4
2004	749805	2521098,8	268.6
2005	749805	2521098,8	497
2006	749805	2521098,8	274.3
2007	749805	2521098,8	310
2008	749805	2521098,8	312.8
2009	749805	2521098,8	406.6
2010	749805	2521098,8	202.5
2011	749805	2521098,8	252.8
2012	749805	2521098,8	287.1
2013	749805	2521098,8	338.9
2014	749805	2521098,8	721.9
2015	749805	2521098,8	317.7
2016	749805	2521098,8	265.2

Fuente: Comisión Nacional Del Agua (2020). Datos de precipitación de la estación La bufa (OBS).

Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible:

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Mensuales/zac/00032031.TXT>

5. Para evaluar el detonante sismo se realizó la capa de isosistas en el programa ArcGIS 10.3 con la herramienta de interpolación IDW y datos de eventos sísmológicos registrados en Zacatecas y suministrados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) con un periodo de 30 años (Tabla 13), para su análisis y procesamiento de datos según la metodología Mora-Vahrson (1994), delimitando la capa con el área de la zona de estudio en este proyecto.

Tabla 13. Eventos sísmicos en Zacatecas periodo 1990-2020.

EVENTO	X	Y	MAGNITUD
1	718721.13	2517417.95	4.4
2	732641.31	2547536.57	4.3
3	758406.84	2540201.59	3.9
4	722420.68	2524372.97	3.6
5	751787.95	2518616.47	2.2
6	749444.16	2523674.48	2.5
7	745253.75	2522365.25	1.5
8	752569.28	2521067.01	3.5
9	747083.99	2523525.05	2.5
10	753675.91	2516321.07	2.9
11	748411.58	2524001.00	3.1
12	747019.89	2514826.64	3.0

Fuente: Servicio Sismológico Nacional (2020). Datos de magnitudes registradas de sismos en Zacatecas. Consultado: 1 de junio de 2020. Disponible en:

<http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>

### 8.3 Revisión de los movimientos en masa

En la zona de estudio los movimientos en masa fueron descritos y cartografiados por Escalona-Alcázar et al. (2003). El análisis con distintos niveles de detalle, a nivel regional fue hecho por Escalona-Alcázar et al. (2012) y a nivel local en el área de estudio por Flores-González et al. (2018). La cartografía digital, en formato shapefile, de los deslizamientos de la zona urbana de Zacatecas y Guadalupe fue proporcionada por el Dr. Escalona.

En esta tesis se realizó una actualización y análisis con una metodología distinta que permite la zonificación de la amenaza por movimientos de masa. Para ello se realizaron visitas a la zona de estudio, localizando los puntos con notables deterioros que podrían desencadenar un movimiento en masa o ya lo hicieron y que están cerca las calles Boquilla del Carmen y San Antonio de Triana (actualmente cerradas al paso vehicular), el fraccionamiento o el Campus de la UAZ, para cada uno de estos se tomaron georreferencias usando GPS y fotos para su análisis. Se obtuvieron los aspectos o criterios citados en el formato de inventario realizado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

### 8.4 Elaboración del mapa de movimientos en masa de la zona de estudio

Para generar el mapa de movimientos en masa como parte de los insumos principales en el proyecto se utilizó el programa ArcGIS 10.3 digitalizando la información aportada por el inventario, mostrando el tipo de deslizamiento, su ubicación espacial y dirección con respecto al fraccionamiento Lomas del Patrocinio y el Campus de la UAZ.

## 8.5 Estimación y zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona

- Metodología de Mora-Vahrson (1994) modificada al proyecto zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa del margen occidental del Campus UAZ:

Teniendo en cuenta la base de datos de la zona de estudio se determina necesario la recopilación de información preliminar para tenerla en el formato adecuado y poder aplicar la metodología propuesta para este trabajo (Mora y Vahrson, 1994). Con base en lo anterior se presentan las ecuaciones modificadas para este proyecto (ver ecuación 2,3,4 y 5):

$$S = (Sp \times Su \times SL) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$Fd = (Ts + Tp) \quad \text{Ec. (3)}$$

$$H = S \times FC \quad \text{Ec. (4)}$$

$$H = (Sp \times Su \times SL) \times (Ts + Tp) \quad \text{Ec. (5)}$$

*H* - Grado de amenaza de la zona de estudio

*S* - Grado de susceptibilidad.

*Sp* - Factor morfométrico.

*Su* - Factor uso del suelo y vegetación.

*SL* - Factor litología.

*Fd*- Factores detonantes.

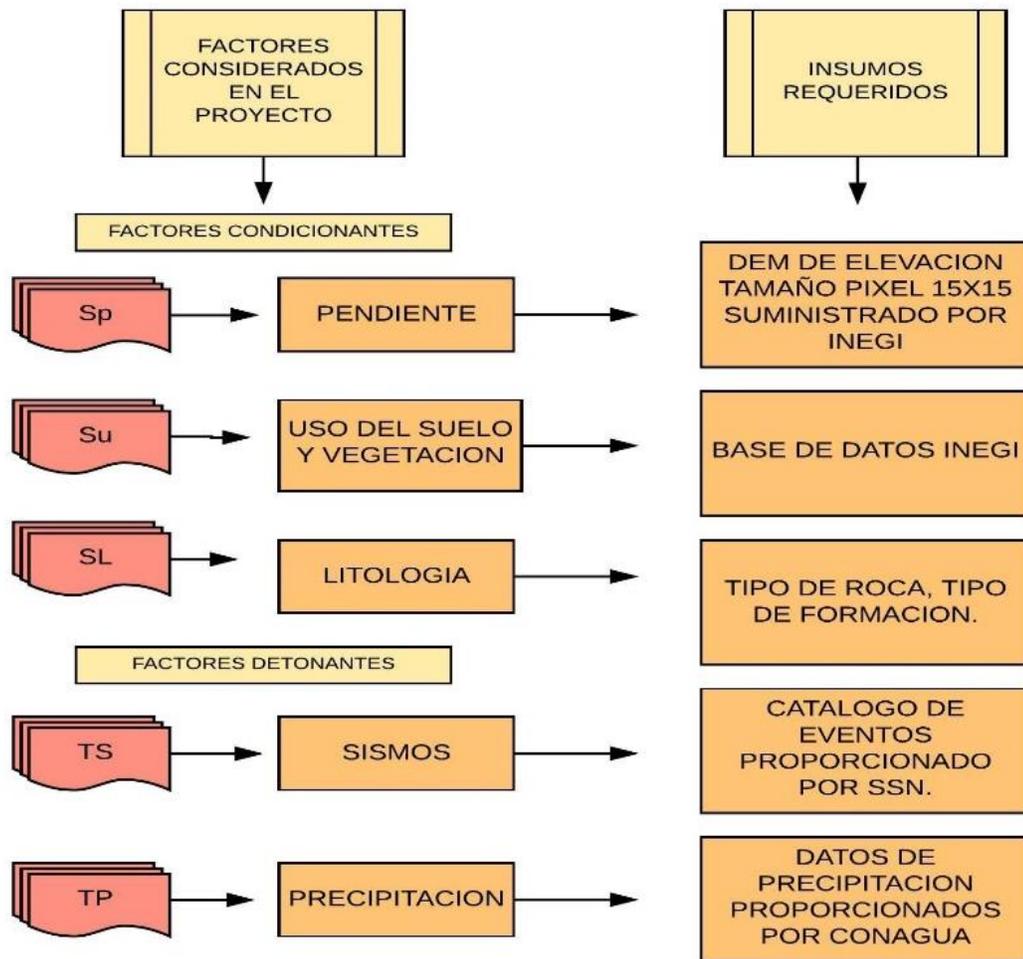
*Ts* - Factor de disparo por sismos.

*Tp* - Factor de disparo por precipitaciones.

*FC* - Factor detonante.

Según Mora-Vahrson (1994), la metodología no sustituye a los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes. El proceso metodológico para la generación de factores considerados se muestra figura 13.

Figura 13. Factores e insumos para la generación del proyecto.



Fuente: Modificado de Mora-Vahrson (1994) por Alvarez (2020).

Debido a que el tipo de movimiento en masa de la zona de estudio es de caída de rocas, se desarrollará el análisis de susceptibilidad para este movimiento en específico, con base en la

metodología Mora-Vahrson (1994) para zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa. La elaboración del mapa en ArcGIS 10.3 utilizó la siguiente información.

- Modelo Digital de Elevación 15 m (INEGI)
- Mapa de Vegetación y uso del suelo escala 1:50 000 (INEGI)
- Mapa Litología escala 1:50 000 (Escalona *et al.*, 2009-2014-2016)
- Mapa de curvas de nivel (ArcGIS 10.3)
- Mapa de Pendientes (ArcGIS 10.3)

Para unir las anteriores capas y emplearlas en este proyecto se asignaron los ponderados propuestos con base en la metodología Mora-Vahrson (1994), por consiguiente, el uso de la herramienta *intersect* para la aplicación de las ecuaciones descritas para el análisis de la susceptibilidad.

#### 8.6 Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio

Debido a que el tipo de movimiento en masa de la zona de estudio es de caída de rocas, se desarrollará el análisis de Amenaza para este movimiento en específico, con base en la metodología Mora-Vahrson (1994) para zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa. Para la elaboración del mapa en ArcGIS 10.3 utilizó la siguiente información.

- Modelo Digital de elevación 15m (INEGI)
- Mapa de Vegetación y uso del suelo escala 1:50 000 (INEGI)
- Mapa Litología escala 1:50 000 (Escalona *et al.*, 2009-2014-2016)
- Mapa de curvas de nivel (ArcGIS 10.3)
- Mapa de Pendientes (ArcGIS 10.3)
- Mapa de isoyetas (Detonante lluvia) (ArcGIS 10.3)

- Mapa de isosistas (Detonante sismo) (ArcGIS 10.3)

Para unir las anteriores capas y emplearlas en este proyecto se asignaron los ponderados propuestos con base en la metodología Mora-Vahrson (1994), por consiguiente, el uso de la herramienta *Intersect* para la aplicación de las ecuaciones descritas junto al análisis de amenaza.

## 9. RESULTADOS

### 9.1 Características y afectaciones de los movimientos en masa en la zona de estudio

la zona de estudio esta entre el Campus de la Universidad Autónoma de Zacatecas y el fraccionamiento Lomas del Patrocinio. A lo largo de las calles Boquilla del Carmen (Fig. 14) y San Antonio de Triana están los afloramientos de movimientos en masa (deslizamientos de ladera) y caída de bloques. Los efectos en las calles y construcciones se incrementan por el cambio de uso del suelo, el relleno con escombros, la modificación del terreno y las pendientes subverticales. Debido a estos factores y a los agentes geomórficos, principalmente el agua, son comunes la caída de rocas, colapsos y derrumbes que, aunque de pequeñas dimensiones. Esta zona presenta problemas en los taludes adyacentes a las viviendas y calles, la vegetación es escasa y de tipo pastizal inducido. Los procesos geomórficos actúan en los movimientos en masa provocando la erosión y la consecuente remoción de sedimentos que genera inestabilidad. El avance de la erosión se observa en la formación de fracturas, a lo largo de las cuales poco a poco se van rellenando con pasto (Figura 15). En los sitios con mayor afectación la canchales y guarnición han sufrido fracturamiento, inclinación y eventualmente el colapso. Aunque han sido reparadas (Figura 16), con el paso del tiempo los agentes geomórficos continúan con su trabajo y vuelven a colapsar. Una de las acciones que se ha hecho es ponerles una lechada hecha con agua, cemento y arena para cubrir la zona expuesta (Figura 17).

Figura 14. Inicio zona de estudio.

1. Punto de entrada

Coordenadas

X: 13N 750455

Y: 2520000

Elevación: 2433 msnm.

Descripción: Suelo más o menos orgánico, color café, vegetación pastizal inducido.



Fuente: Alvarez (2020).

2. Grieta vía abandonada.

Coordenadas

X: 13N 750467

Y: 2520025

Elevación: 2432 msnm.

Descripción: Se aprecia agrietamiento del pavimento.

Figura 15. Grietas y desgastamiento en la vía.



Fuente: Alvarez (2020).

3. Caída de guarnición (punto tomado para inventario)

Coordenadas

X: 13N 750470

Y: 2520041

Elevación: 2426 msnm.

Descripción: Caída de guarnición, se aprecia caída de detritos y desprendimiento de escombros y rocas que afecta a los edificios aledaños (Figura 16 y 17).

ANTES

DEPUES

Figura 17. Caída de guarnición



Figura 16. Caída de guarnición



Fuente: Álvarez (2020).

4. Perfil cambio de suelo

Coordenadas

X: 13N 750470

Y: 2520058

Elevación: 2426 msnm.

Descripción: Cambio de suelo producido por deslizamientos, todo el material rocoso se desplazó por

fuerza de corrientes de agua (Figura 18).

Figura 18. Perfil cambio de suelo.



Fuente: Alvarez (2020).

5. Muro ubicado en el fraccionamiento Lomas del Patrocinio (punto tomado para inventario).

Coordenadas

X: 13N 750470

Y: 2520041

Elevación: 2426 msnm.

Descripción: En la parte occidental del área de estudio y del fraccionamiento Lomas del Patrocinio hay una pendiente subvertical, en el miembro rico en Arenas cubierto por un paleodeslizamiento. La erosión produce la remoción de los materiales poco consolidados lo que provoca la caída de detritos y rocas (Figura 19) que, aunque se realicen obras de contención, muro, el proceso continúa (Figura 20).

## Muro antes

Figura 20. Muro antes.



Fuente: Álvarez (2020).

## Muro después

Figura 19. Muro después.



Fuente: Álvarez (2020).

En las figuras 21 - 25 se observan lugares con grietas de muro, huecos en el muro y cambio de material.

Figura 21. Grietas en el muro actual.



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 22. Huecos en el muro



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 23. Cambio del material 1.

6. Cambio del Material 1

Coordenadas

X: 13N 750471

Y: 2520092

Elevación: 2426 msnm.

Descripción: Cambio material antiguo nativo al material trasladado.



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 24. Cambio del material 2

7. Cambio del Material 2

Coordenadas

X: 13N 750519

Y: 2520185

Elevación: 2420 msnm.

Descripción: Notable cambio muy apreciable, abajo el material nativo y arriba el transportado.



Fuente: Alvarez (2020).

8. Cambio de Material 3.

Figura 25. Cambio de material.

Coordenadas

X: 13N 750555

Y: 2520159

Elevación: 2428 msnm.

Descripción: Cambio en los perfiles de suelo, nativo abajo y arriba transportado.



Fuente: Alvarez (2020).

## 9. Caída de rocas (100m)

Coordenadas

X: 13N 750571

Y: 2520137

Elevación: 2419 msnm.

Descripción: Carretera construida en 1975 y cerrada en 1988 por caída de rocas, se sigue presentando este tipo de caída (Figuras 26,27, 28, y 29).

Figura 27. Vía cerrada al paso



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 26. Vía cerrada al paso 2.



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 29. Vía antes.



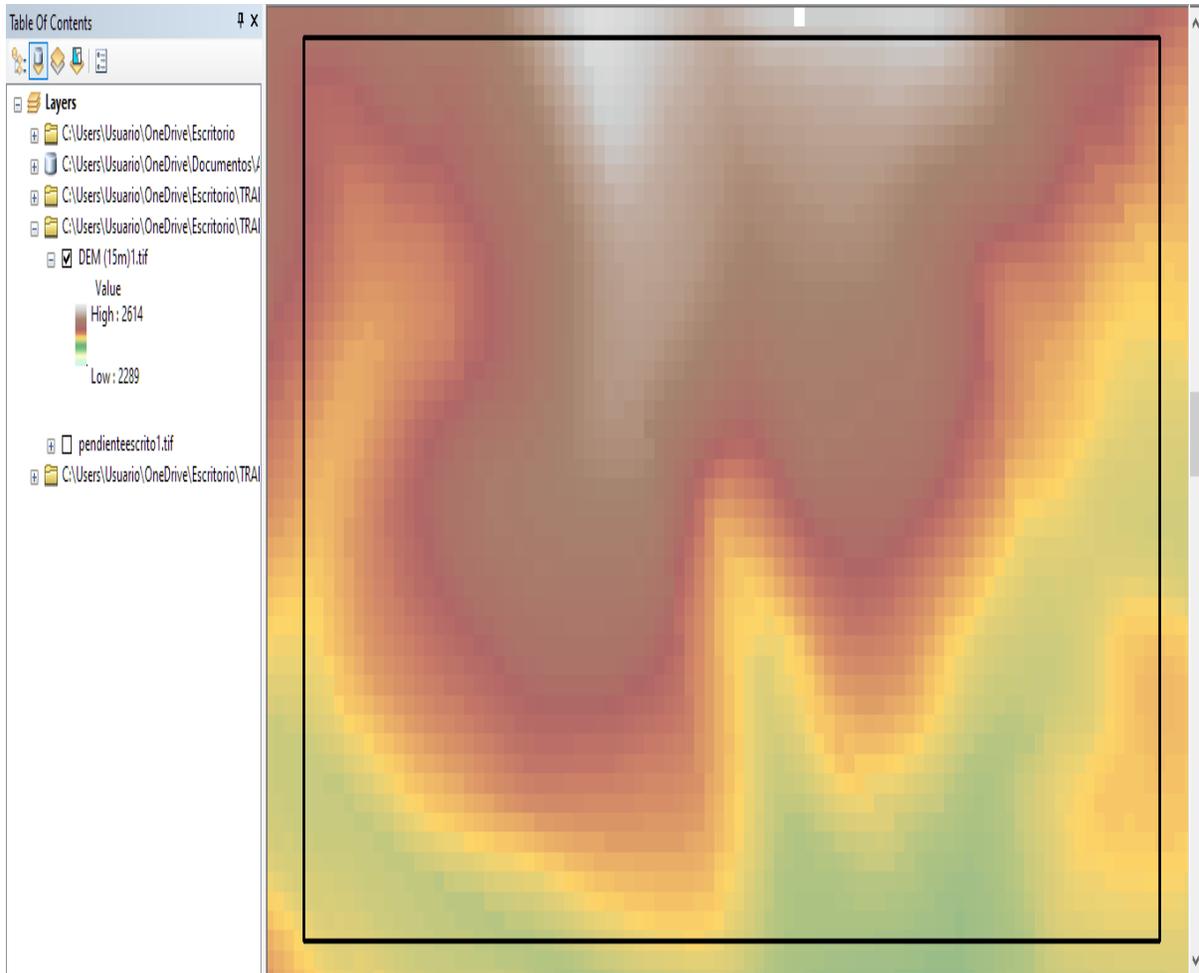
Figura 28. Vía Después.



## 9.2 Caracterización geo-ambiental de la zona de estudio

En la figura 30 se observa el DEM, utilizado para obtener el mapa de pendiente con elevaciones entre 2290 y 2614 msnm.

Figura 30. DEM zona de estudio tamaño de pixel 15 m.



Fuente: modificado de INEGI por Álvarez (2020).

### ➤ Factor morfométrico (SP)

La pendiente es uno de los factores más importantes que llevan a una condicionalidad del terreno, cabe mencionar que las pendientes donde fueron localizados los movimientos en masa

registrados en el inventario están en un rango cerca al 40 %. Según PMA (2017), se determina que a partir de estos valores se consideran caídas. Por consiguiente, debido a que en áreas estudiadas se superan los valores mencionados gracias a la acción antrópica (construcción de la vía abandonada, fraccionamiento Lomas del Patrocinio y Campus UAZ), se pondera este factor de susceptibilidad teniendo en cuenta la clasificación dada por Mora-Vahrson (1994) (Tabla 14).

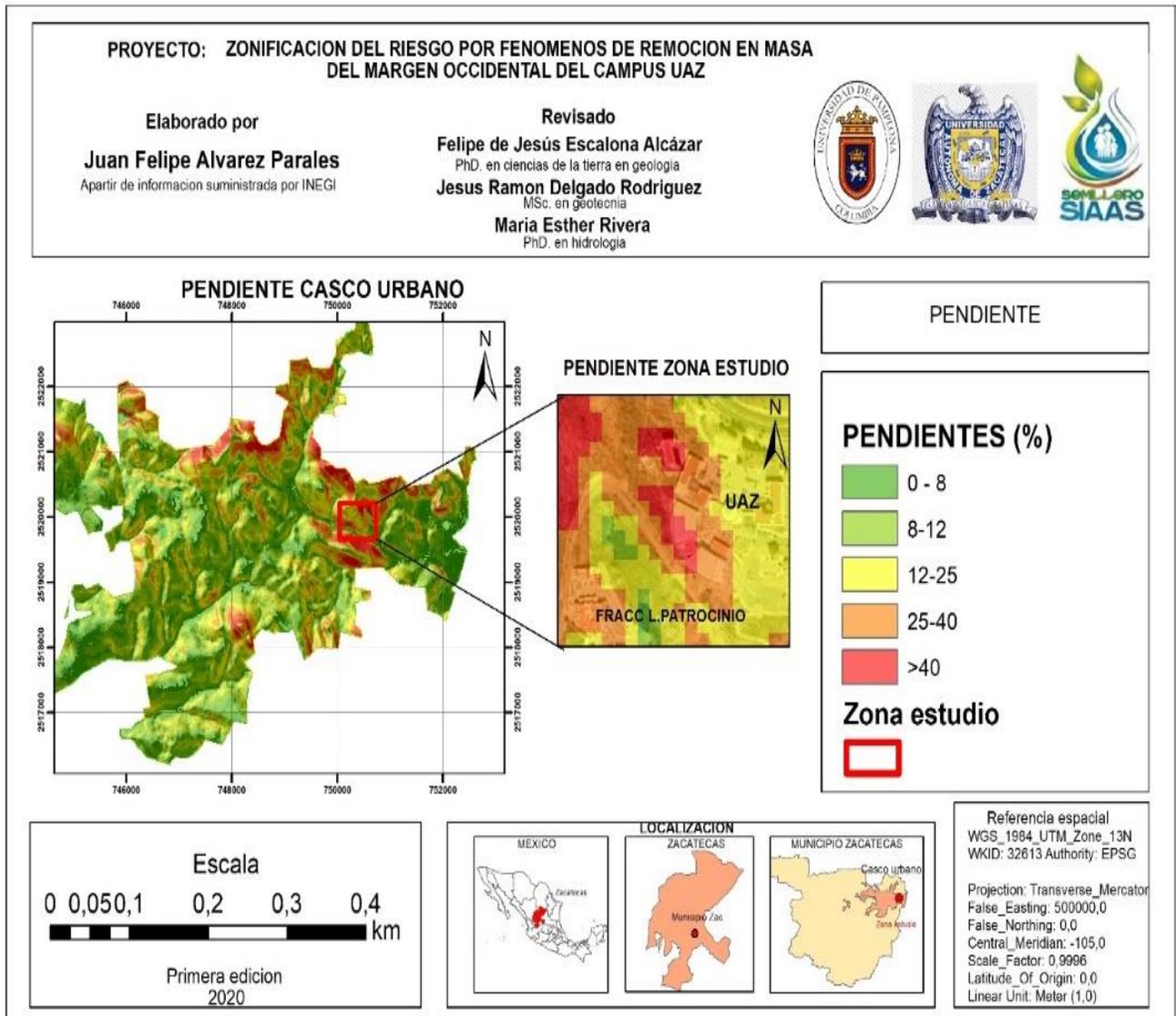
Tabla 14. Ponderación de pendiente.

PENDIENTE (%)	PONDERADO
0-8	0
8-12	1
12-25	2
25-40	3
>40	4

Fuente: Alvarez (2020).

En la figura 31 se muestra la capa de pendiente utilizada para el análisis de amenaza en la zona de estudio, dando como resultado los intervalos de porcentajes entre 0-8 %, 8-12 %, 12-25 %, 25-40 %, >40 %.

Figura 31. Pendientes de la zona estudio.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

➤ **Factor Litológico (FL)**

La litología de la zona de estudio es el principal insumo en el desarrollo de este proyecto, gracias a su amplio conocimiento y base de datos que otorga confiabilidad a los resultados de susceptibilidad y amenaza por procesos de remoción en masa. En la zona de estudio específicamente en las zonas aledañas al Campus de la UAZ se pondero este factor como se

muestra en la tabla 15, con base en los trabajos realizados por Escalona *et al.*, (2009-2014-2016). Según Flores *et al.*, (2018) las instalaciones de la universidad fueron construidas bajo un paleodezlisamiento conformado inicialmente por el conglomerado zacatecas, con una coloración roja soportada por clastos, los cuales tienen formas subangulares a subredondeadas, la mayoría con un tamaño de 3 cm y son de andesita, diorita, esquisto y cuarcita respectivamente. Los estratos de conglomerado están bien consolidados, mientras que los de arenisca varían de moderados a bien consolidados. El siguiente está constituido por tobas cristalinas que sobreyace al conglomerado Zacatecas e infrayace al derrame riolítico con una coloración que varía de rosa a gris claro, con una textura porfídica y estructura masiva y vesicular. El espesor del depósito cambia de unos pocos centímetros hasta cerca de un metro, presenta vetillas de cuarzo y finalizando con un derrame riolítico, este derrame tiene una coloración de rosa a rojo y una textura porfídica con una estructura de autobrechamiento que forma bloques de 50 cm de diámetro o incluso de más de 1 m. Tiene fenocristales de plagioclasas y escaso cuarzo; la estructura de la roca es bandeada.

Tabla 15. Ponderación litología de la zona de estudio.

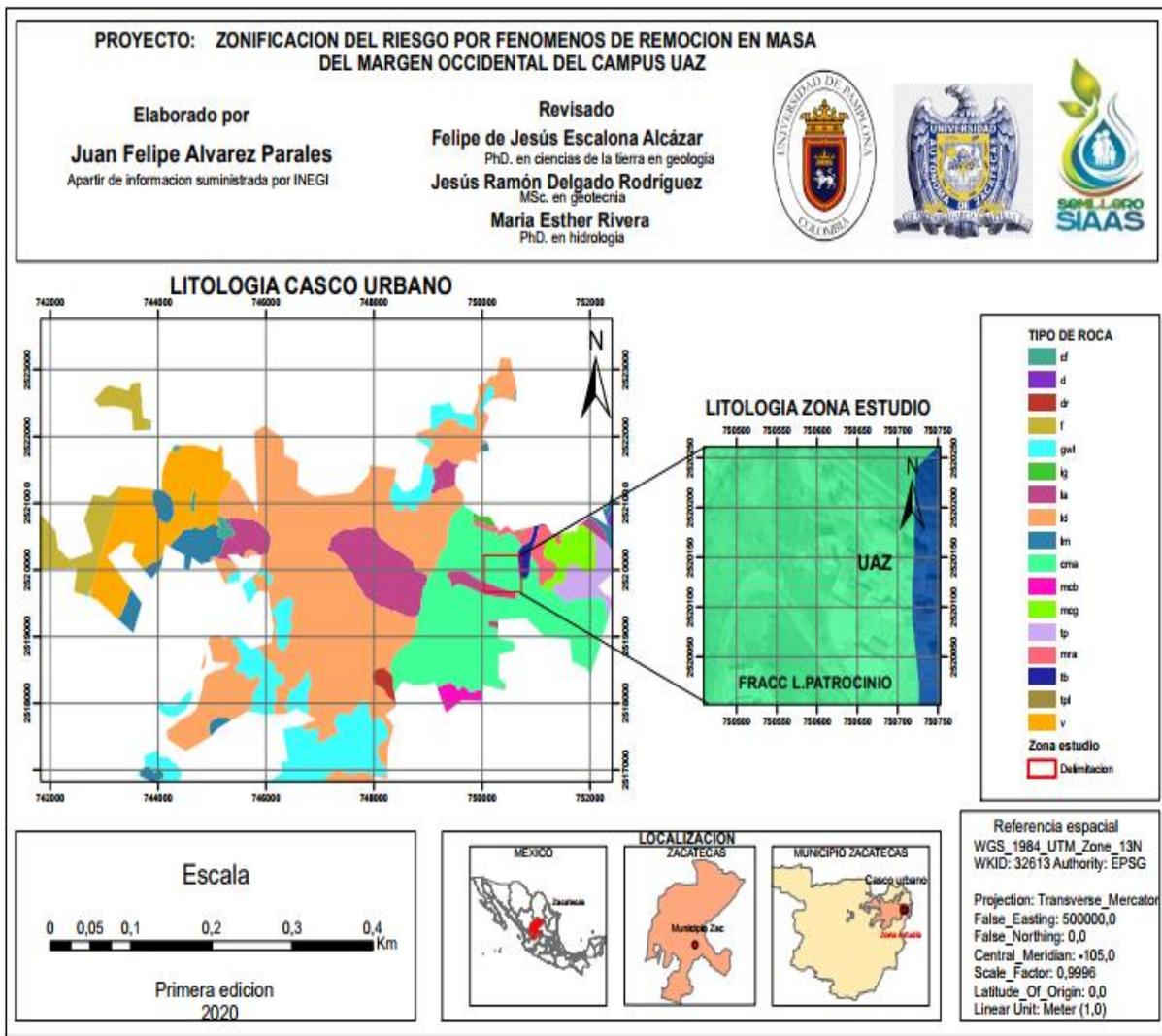
TIPO DE ROCA	PONDERADO
Ignibrita	1
Diorita	1
Domo riolítico	1
Lava masiva	1

Toba de pómez y líticos	1
Miembro conglomerado masivo y arenisca	2
Filita	2
Miembro rico en areniscas	2
Toba	2
Miembro de clastos de basalto	2
Miembro de clastos de granito	2
Lava almohadilla	2
Cuarcita y filita	3
Volcaniclástico	3
Grauvaca, wacka y lodolita	3
Lava deformada	4

Fuente: Alvarez (2020).

Se obtuvo como resultado que la litología en su gran mayoría corresponde al miembro de conglomerado masivo y arenisca con un porcentaje pequeño de toba como se puede apreciar en la figura 32.

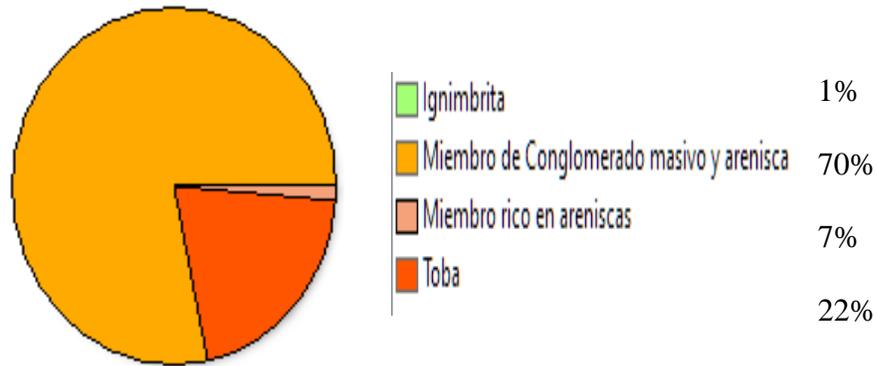
Figura 32. Litología de la zona de estudio.



Fuente: Modificado de Escalona *et al.*, (2009,2014,2016) por Alvarez (2020).

A continuación, se presenta por medio de un gráfico de torta la distribución de la litología en la zona de estudio Figura 33.

Figura 33. Porcentajes de la litología de la zona



Fuente: Alvarez (2020).

➤ **Factor Vegetación y Uso del Suelo (FU)**

La zona de estudio se divide en 2 principales usos del suelo (Figura 34), principalmente este es enfocado en el uso para zona urbana ya que esta área está en expansión y a futuro regirá la mayoría del terreno estudiado, las zonas que no han sido utilizadas como construcción tienen poca cobertura encontrando pastizales inducidos en varios sectores, especialmente entre la vía abandonada y el Campus UAZ (Tabla 16).

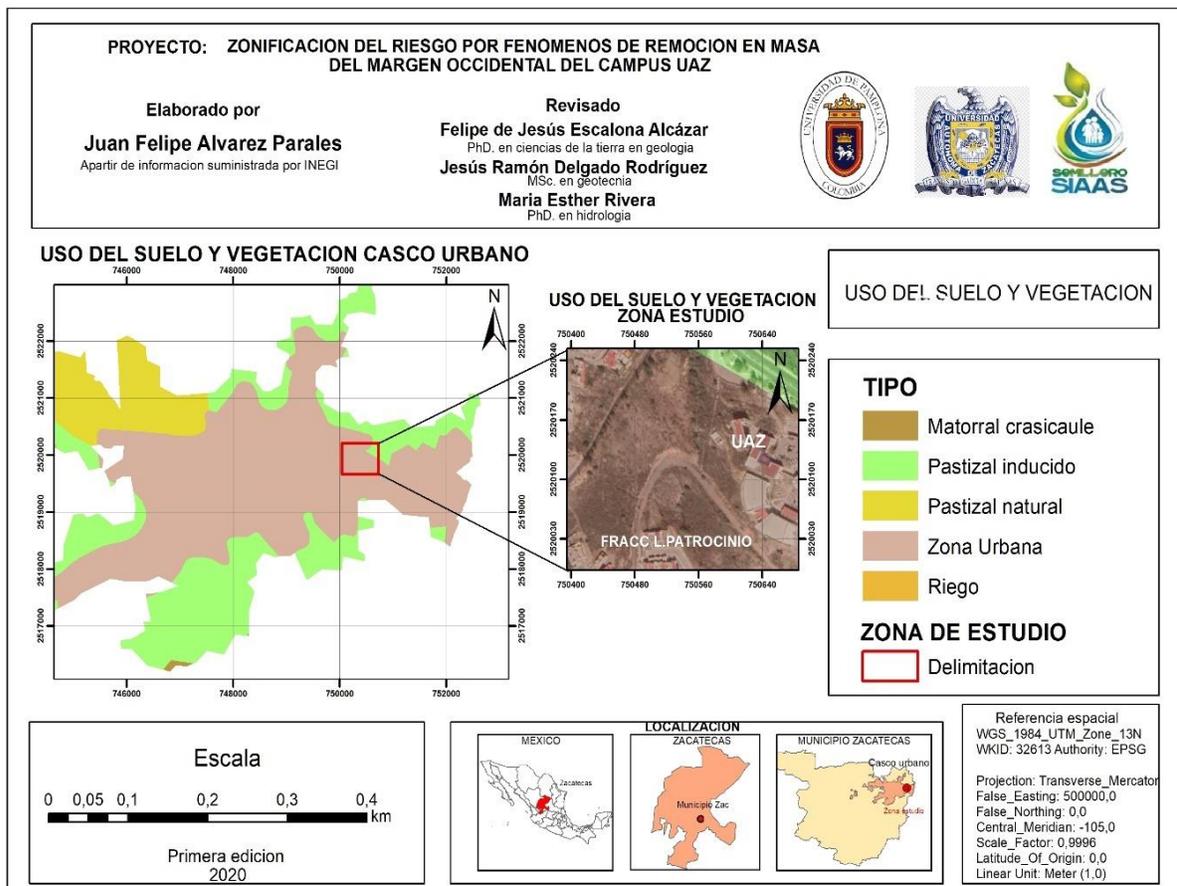
Tabla 16. Ponderación vegetación y uso del suelo.

VEGETACION Y USO DEL SUELO	PONDERADO
SIN COBERTURA	0
INFRAESTRUCTURA	1
POCA COBERTURA	2

Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

El resultado de esta clasificación en la zona de estudio se localizó una baja cobertura vegetal generada por los pastizales inducidos o naturales que en su mayoría son constituidos por especies como *Bouteloua aristiroides*, *Aristida glauca* y *Muhlenbergia microsperma*. Las áreas ocupadas por este tipo de vegetación se utilizan principalmente como agostadero para el pastoreo, pero debido a la localización y que también se determinó que el uso del suelo en su gran mayoría es usado en infraestructuras, vías y viviendas, lo que no genera posibilidad de pastoreo, agricultura y demás actividades que podrían ocupar un lugar.

Figura 34. Cobertura vegetal y uso del suelo de la zona.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

➤ **Precipitación**

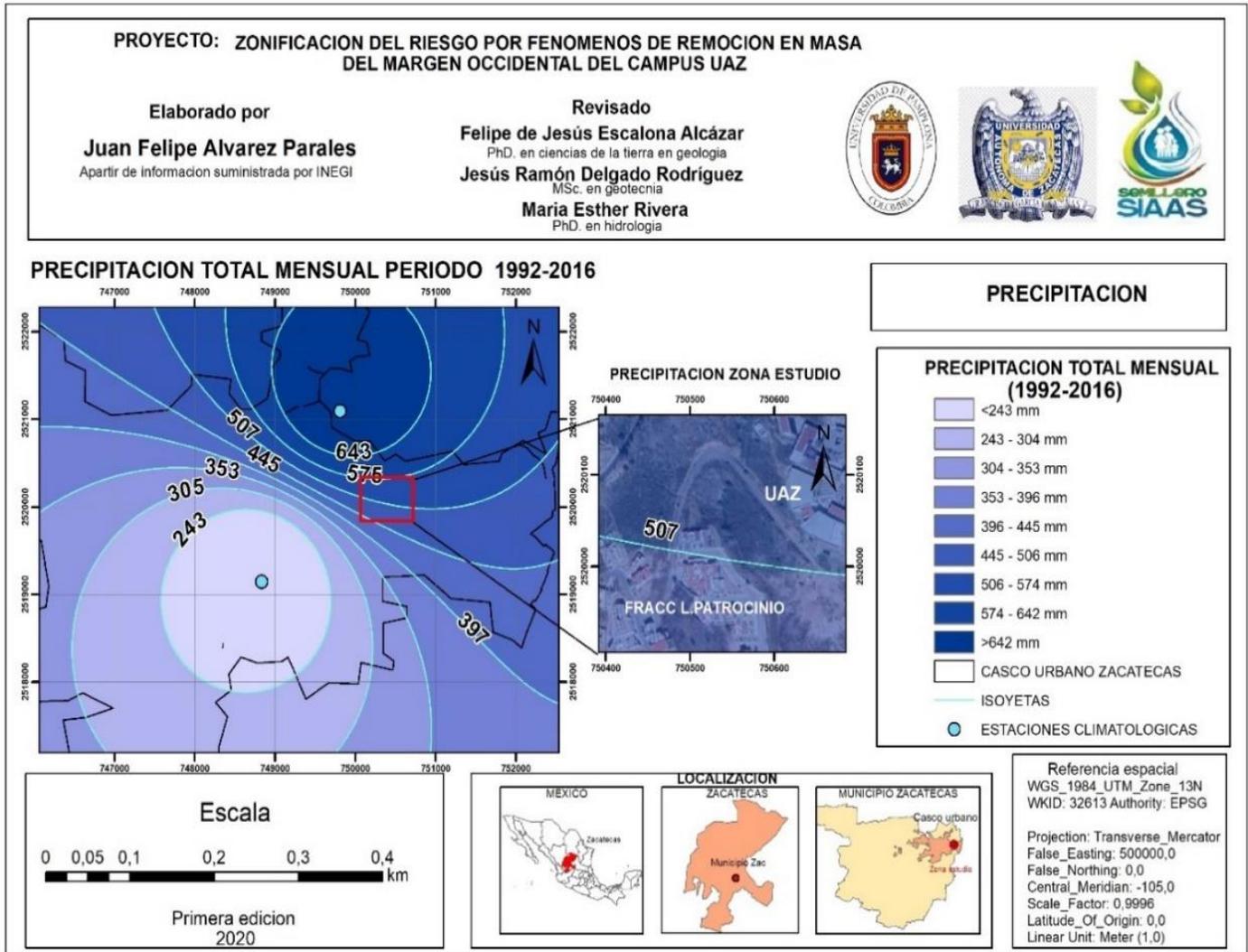
En la figura 35, en la zona de estudio los rangos de precipitación total mensual durante 25 años, los cuales varían entre 300 mm y 600 mm siendo relativamente baja intensidad respecto a otras zonas, por lo cual se designan valores mínimos en la clasificación; Pondera para este detonante como se aprecia en la tabla 17.

Tabla 17. Ponderación del Detonante lluvia.

PRECIPITACIÓN	PONDERADO
<300	0
300-600	1
>600	2

Fuente: Alvarez (2020).

Figura 35. Isoyetas de la zona estudio.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

### ➤ Sismos

Por medio de las isosistas se localizaron las zonas y unieron con base en rangos iguales en la escala de Richter en el mismo tiempo considerado (Figura 36). En la zona de estudio los valores en la escala de Richter varían entre 1.6 y 3.5 resultando un área con una sismicidad baja ya que según

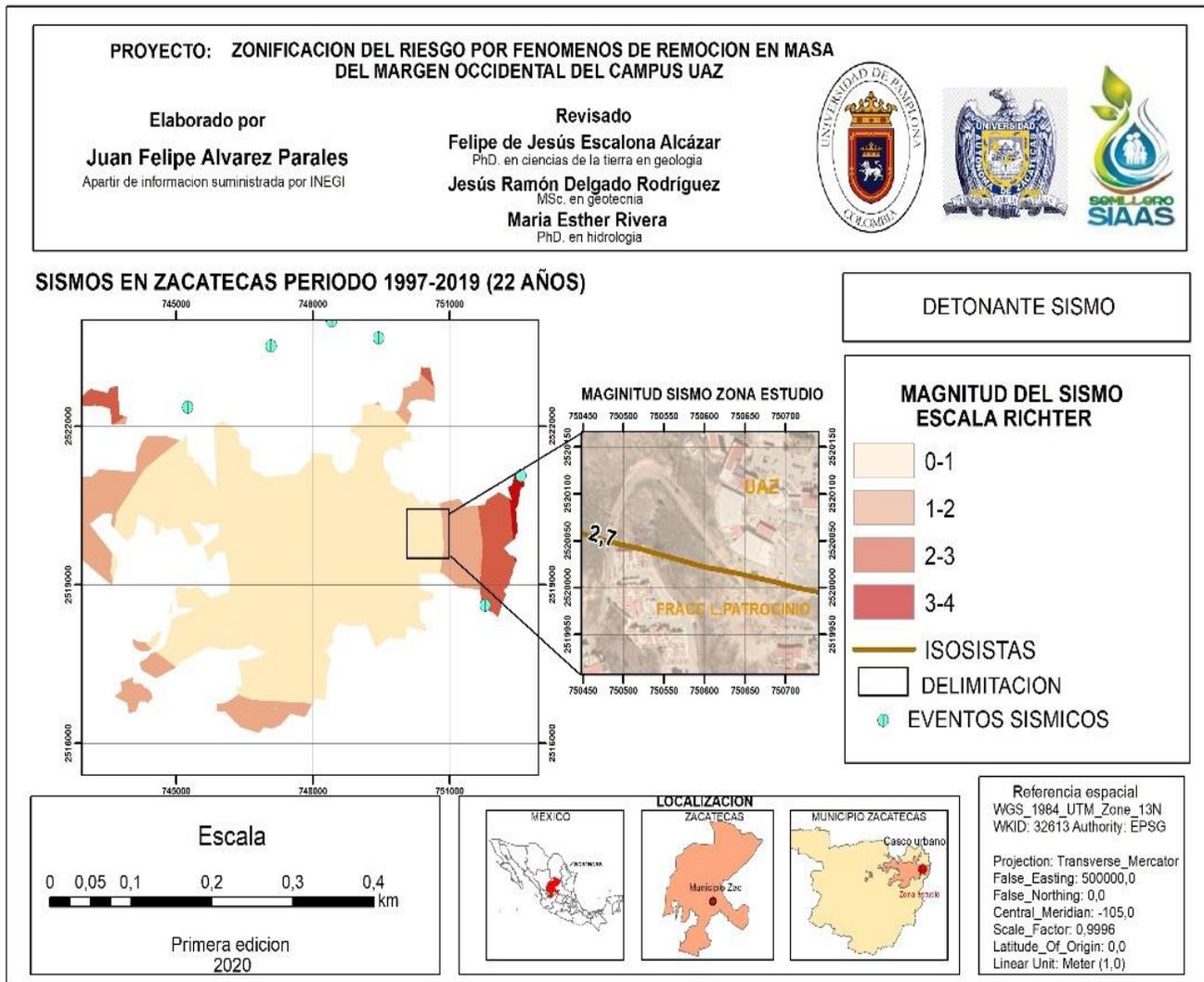
Mora-Vahrson (1994) tiene que superar la magnitud 4.5 considerándolo elevado o fuerte y ocasionar procesos de remoción en masa, por lo cual se designan valores mínimos en la clasificación; Pondera para este detonante considerando los efectos que aporta la magnitud de los sismos en la superficie (Tabla 18).

Tabla 18. Ponderación detonante sismo.

RANGO	PONDERADO
<3.9	1
3.9-4.5	2
4.5-5.5	3
5.5-6.9	4
>6.9	5

Fuente: Mora-Vahrson (1994).

Figura 36. Isosistas de la zona de estudio.

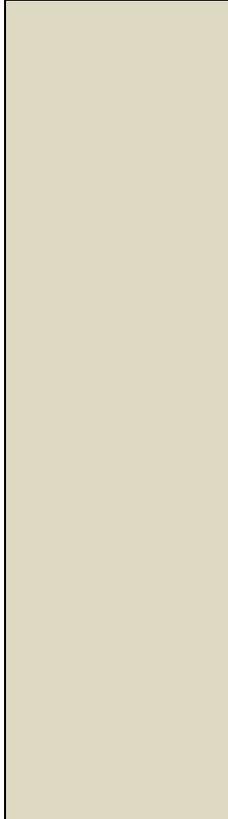


Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

### 9.3 Inventario de los movimientos en masa que se puedan identificar

En el inventario de movimientos en masa se categorizaron 4 puntos críticos los cuales ya han tenido un grado de daño en el fraccionamiento Lomas del Patrocinio, afectando sus viviendas y





SUPERFICIAL			SUBSUPERFICIAL			TIPO DE EROSIÓN		ESTADIO		FLUVIAL		LUDICA	
Tierras malas	<input type="checkbox"/>	Serios	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Cavernas	<input type="checkbox"/>	Antigua	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>	Severa	<input type="checkbox"/>
Carcavas	<input type="checkbox"/>	Hondadas	<input type="checkbox"/>					Reciente	<input type="checkbox"/>	Moderada	<input type="checkbox"/>	Socav. fondo	<input type="checkbox"/>
										Socav. lateral	<input type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>
										No	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>

COBERTURA Y USO DEL SUELO				REFERENCIAS									
Yeg. Herbacea	%	Cultivos	%	Ganadería	%	Área protegida	%	AUTOR	AÑO	TÍTULO	EDITOR	CIUDAD	PÁGINAS
Bosque/Selva	%	Construcciones	80	Agrícola	%	Vías	30						
Matorrales	%	Pastos	20	Recreación	%	Zona arqueológica							
Cuerpo de agua	%	Sin cobertura	20	Vivienda	50	Zona industrial							
				Minería	%	Sin uso	20						

EFECTOS SECUNDARIOS			
TIPO (Gruta)	REPRESAMIENTO	CONDICIONES DE LA PRESA	OTROS EFECTOS
I	Longitud (m)	Área (m²)	Tsunami (m)
II	Altura (m)	Caudal entrada	Inundación
III	Ancho (m)	Caudal salida	Empalme
	Volúmen (m³)	Tasa de Renado	Sedimentación
	Nivel agua bajo corona (m)		Sismo

POBLACION AFECTADA		DAÑOS	
Personas		TIPO DAÑO	VALOR (US\$)
Familias		E I A	
		E I A	
		E I A	
		E I A	
		E I A	
		E I A	
		E I A	
		E I A	

NOTAS		APRECIACION DEL RIESGO		FECHA		FOTOGRAFIA		ANEXO FOTOGRAFICO	
Coordenadas del movimiento son 13N 750467 y 2520025		Se presentan diferentes puntos en la misma vía que ya han ocasionado problemas, el riesgo para las personas es moderado, ya que su actividad está en latencia.							

ESQUEMA DEL MOVIMIENTO	
PLANTA	PERFIL
FECHA	OBSERVACIONES

PUNTO 2

### FORMATO MODIFICADO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Zonificación del riesgo por fenómenos de remoción en masa en el margen occidental del "Campus II de la UAZ" Zacatecas, Mexico.

IMPORTANCIA\* Alto  Medio

DATOS DE REGISTRO			
PROYECTADOR*	FECHA EVENTO*	FECHA REPORTE*	INSTITUCIÓN*
JUAN FELIPE ALVAREZ PARALES		04 JUN 2020	Universidad autónoma de Zacatecas - Universidad de Pamplona
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		DOCUMENTACIÓN	
Departamento*	Zacatecas	PLANCHAS	FOTOGRAFÍAS AERIAS
Municipio*	Zacatecas	AÑO	ESCALA
Vereda*	loma de los Encinos	EDITOR	Nro Foto
			Año
			Escala

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO		DESCRIPCIÓN		LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA			
EDAD	ESTADIO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	ESTRUCTURA	ORIENTACIÓN	ESPACIAMIENTO (m)	
<1 año	<input type="checkbox"/> 11-30 años	Activo	Complejo	El movimiento se desarrolla en sustrato nativo antiguo, con pendientes superiores a los 15° y poca humedad. Ubicado entre el material transportado y original de la zona conformado por el conglomerado Zacatecas.	Planes de Estratificación	DR	BZ
1-5 años	<input type="checkbox"/> 31-40 años	Reactivado	Compuesto			X2	3-0.6
6-10 años	<input type="checkbox"/> 41-50 años	Suspendido	Múltiple				0.5-0.2
11-15 años	<input type="checkbox"/> 51-60 años	INACTIVO	Unico				0.2-0.06
16-20 años	<input type="checkbox"/> > 60 años	Latente	Succeivo				
		Abandonado	Unico				
		Estabilizado					
		Indicito					

TIPO MOVIMIENTO		CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO				TIPO MATERIAL		HUMEDAD		PLAN			
Caída	<input type="checkbox"/>	Caída de roca	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional	<input type="checkbox"/>	Desl. por flujo	<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>	Mojado	<input type="checkbox"/>	Alta	<input type="checkbox"/>
Volcansiento	<input type="checkbox"/>	Caída de detritos	<input type="checkbox"/>	Desl. en culla	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional en culla	<input type="checkbox"/>	Detritos	<input type="checkbox"/>	Muy Húmedo	<input type="checkbox"/>	Medio	<input type="checkbox"/>
Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Volcans. flexural de roca	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional planar	<input type="checkbox"/>	Avanzado	<input type="checkbox"/>	Tierra	<input type="checkbox"/>	Húmedo	<input type="checkbox"/>	Baja	<input type="checkbox"/>
Flujo	<input type="checkbox"/>	Volcans. de roca	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional	<input type="checkbox"/>	Empujado	<input type="checkbox"/>	Lodos	<input type="checkbox"/>	Liger. húmedo	<input type="checkbox"/>	No plano	<input type="checkbox"/>
Propagación Lateral	<input type="checkbox"/>	Volcans. macizo rocoso	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional	<input type="checkbox"/>	Confinado	<input type="checkbox"/>	Turba	<input type="checkbox"/>	Seco	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Rotación	<input type="checkbox"/>	Desl. rotacional	<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional	<input type="checkbox"/>	Revolucionario	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Deform. Gravit. Profunda	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Desl. traslacional	<input type="checkbox"/>	Revolucionario	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

VELOCIDAD		SISTEMA DE CLASIFICACIÓN*	
Residual	<input type="checkbox"/>	Extr. Rápido (0.5 m/año)	Hutchinson, 1988
Sedimentario	<input type="checkbox"/>	Moderado (0.1-13 m/año)	Cruden y Varnes
		Lento (1-1.5 m/año)	Varnes, 1978
		Muy lento (0.15 mm/año)	

GENERAL		MORFOMETRÍA		INFORMACIÓN TERRESTRE		GEOLOGÍA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	10	Ancho de la masa desplazada Wd (m)		MODOS		Se ubica en una superficie abrupta, la cual ocasionada por la socavación y erosión del que logra desgastar la zona y generar el m.	
Longitud horizontal corona a punta (m)	5	Ancho de la superficie de ruptura Wv (m)	5	Ondulación	<input type="checkbox"/>		
Fahrbochung (grados)		Longitud de la masa desplazada Ld (m)		Escalonamiento	<input type="checkbox"/>		
Pendiente de ladera en Pre-falla (grados)		Longitud de superficie de ruptura Lr (m)		SEVERIDAD			
Pendiente de ladera en Post-falla (grados)		Espesor de la masa desplazada Dd (m)		Leve	<input type="checkbox"/>		
Dirección del movimiento (grados)	NSW	Profundidad de superficie de ruptura Dr (m)		Medio	<input type="checkbox"/>		
Azímuth del talud (grados)		Longitud total L (m)	11	Severa	<input type="checkbox"/>		

INDICENTES		CAUSAS DEL MOVIMIENTO		CONTRIBUYENTES - ORDINANTES	
Material plástico dilal	<input type="checkbox"/>	Material fisurado y agrietado	<input type="checkbox"/>	Movimiento tectónico	<input type="checkbox"/>
Material sensible	<input type="checkbox"/>	Orientación desfav. de discontinuidades	<input type="checkbox"/>	Sismo M E D <sub>e</sub> P	<input type="checkbox"/>
Material colapsible	<input type="checkbox"/>	Contraste de permeabilidad de materiales	<input type="checkbox"/>	Erupción volcánica	<input type="checkbox"/>
Material motor. fisicamente	<input type="checkbox"/>	Meteorol. por descomulgamiento/deshielo	<input type="checkbox"/>	Desmoronamiento de talud por corriente agua	<input type="checkbox"/>
Material motor. quimicamente	<input type="checkbox"/>	Meteorol. por expansión/contracción	<input type="checkbox"/>	Socavación de talud por olivaje	<input type="checkbox"/>
Material fallado por corte	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Socavación de talud por socavación	<input type="checkbox"/>
				Socavación de talud por socavación	<input type="checkbox"/>
				Socavación de talud por socavación	<input type="checkbox"/>
				Socavación de talud por socavación	<input type="checkbox"/>
				Socavación de talud por socavación	<input type="checkbox"/>





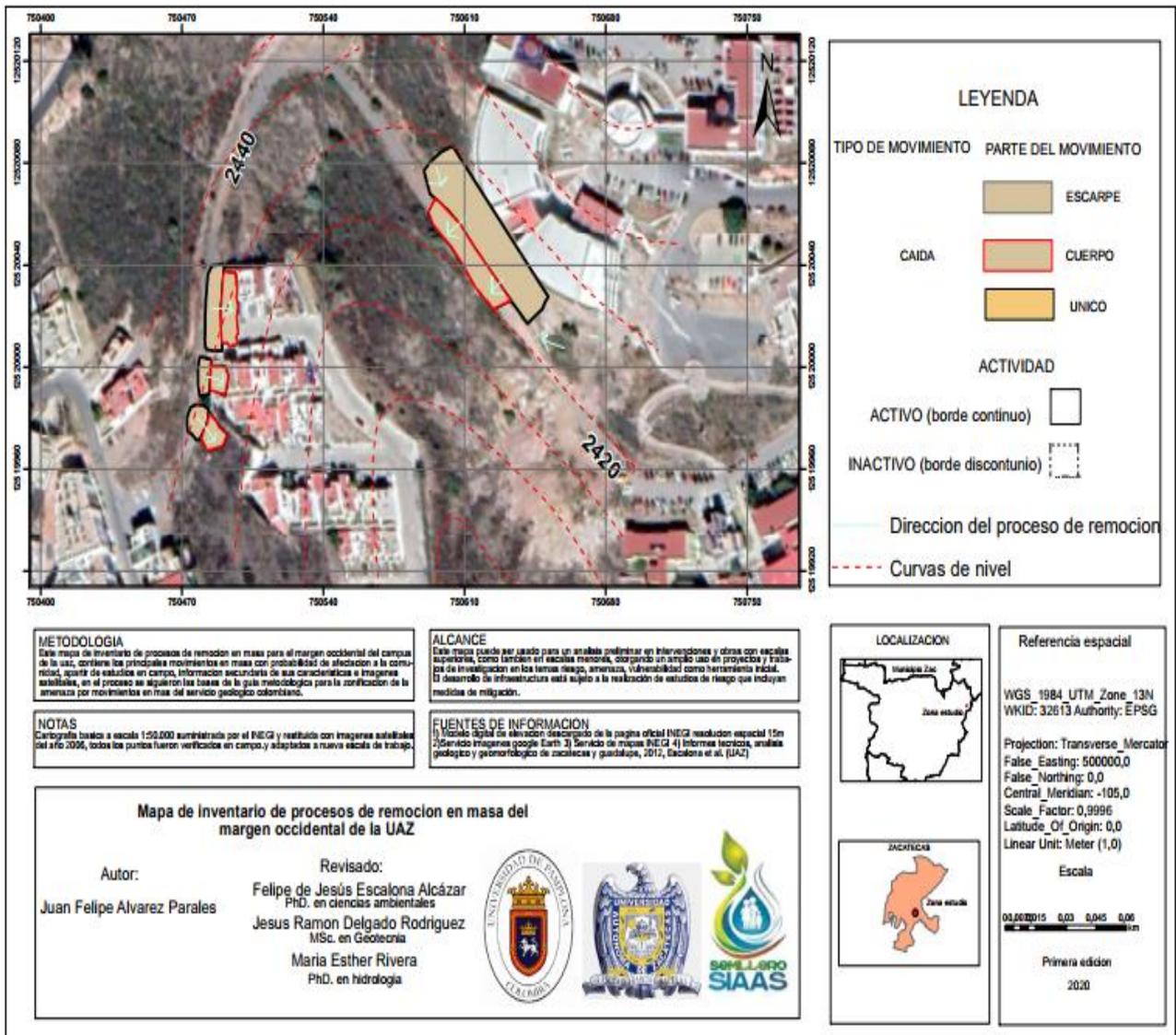
SUPERFICIAL		SUBSUPERFICIAL		TIPO DE EROSIÓN		ESTADO		FLUVAL		EDUICA																															
Tierras malas <input type="checkbox"/>	Surcos <input type="checkbox"/>	Laminar <input type="checkbox"/>	Cavernas <input type="checkbox"/>	Antigua <input type="checkbox"/>	Baja <input type="checkbox"/>	Severo <input type="checkbox"/>	Socio. fondo <input type="checkbox"/>	Socio. lateral <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>																															
Canales <input type="checkbox"/>		Tubificación <input type="checkbox"/>		Reciente <input type="checkbox"/>		Moderada <input checked="" type="checkbox"/>																																			
COBERTURA Y USO DEL SUELO				REFERENCIAS																																					
<b>COBERTURA DEL SUELO</b> Veg. herbácea ___% Cultivos ___% Ganadería ___% Área protegida ___% Bosque/Selva ___% Construcciones 30 ___% Agrícola ___% Vías 20 ___% Materiales ___% Pastos 10 ___% Recreación ___% Zona arqueológica ___% Cuerpo de agua ___% Sin cobertura 55 ___% Minería ___% Sin uso ___%				AUTOR _____ AÑO _____ TÍTULO _____ EDITOR _____ CIUDAD _____ PAGINAS _____																																					
EFECTOS SECUNDARIOS																																									
REPRESENTACIÓN				CONDICIONES DE LA PRESA				OTROS EFECTOS																																	
TIPO JIGASA		ANCHORES DE LA PRESA		TIPO DE PRESA		CONDICIONES DE LA PRESA		TIPO DAÑO		VALDR (DSS)																															
I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> VI <input type="checkbox"/>		Longitud (m) _____ Volumen (m³) _____		Longitud (m) _____ Área (m²) _____		Obstrucción parcial <input type="checkbox"/> Moderadamente sacada <input type="checkbox"/> Fuertemente sacada <input type="checkbox"/> Totalmente sacada <input type="checkbox"/>		Fluante (DSS) <input type="checkbox"/> Inundación <input type="checkbox"/>																																	
		Altura (m) _____ Talud arriba (°) _____		Área (m²) _____ Caudal salida <input type="checkbox"/> Erosión de la presa <input type="checkbox"/> Fuertemente sacada <input type="checkbox"/> Parcialmente fallada <input type="checkbox"/> Sedimentada <input type="checkbox"/> Sismo <input type="checkbox"/>																																					
		Ancho (m) _____ Talud abajo (°) _____		Volumen (m³) _____ Nivel agua bajo corona (m) _____																																					
POBLACIÓN AFECTADA				DAÑOS																																					
Habitantes _____ Vidas _____ Desaparición _____ Personas _____ Familias _____				<b>INFRAESTRUCTURA, ACTIVIDADES ECONÓMICAS, DAÑOS AMBIENTALES</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> <th>TIPO DAÑO</th> <th>VALDR (DSS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IIIA</td> <td>Afectación a la vía</td> <td></td> <td>DL DM OS <input checked="" type="checkbox"/> NC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IIIA</td> <td>Reducción vías de entrada Campus uaz</td> <td></td> <td>DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IIIA</td> <td>Generación de escombros y daño al paisaje.</td> <td></td> <td>DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IIIA</td> <td></td> <td></td> <td>DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IIIA</td> <td></td> <td></td> <td>DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO	VALDR (DSS)	IIIA	Afectación a la vía		DL DM OS <input checked="" type="checkbox"/> NC		IIIA	Reducción vías de entrada Campus uaz		DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC		IIIA	Generación de escombros y daño al paisaje.		DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC		IIIA			DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC		IIIA			DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC	
TIPO	CANTIDAD	UNIDAD	TIPO DAÑO	VALDR (DSS)																																					
IIIA	Afectación a la vía		DL DM OS <input checked="" type="checkbox"/> NC																																						
IIIA	Reducción vías de entrada Campus uaz		DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC																																						
IIIA	Generación de escombros y daño al paisaje.		DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC																																						
IIIA			DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC																																						
IIIA			DL DM OS <input type="checkbox"/> OT <input type="checkbox"/> NC																																						
<b>TIPO DE DAÑO:</b> Infraestructura: edificios, carreteras, inst. educativas, puentes, servicios públicos, vía férrea, torre conducción eléctrica, obras lineales, planta eléctrica, torre de energía, caga asfáltico, pilones, tanque almacenamiento, repelones, diámetro riego, puentes peatonales, puentes vehiculares, acueducto. <b>Económicos:</b> agricultura, ganadería, cultivos, semovientes, transporte pasajeros y carga. <b>Ambientales:</b> parques, bosques, planta tratamiento de agua.				NOTA: E: Infraestructura, E: Económicos, A: Ambientales, DL: Daño leve, DM: Daño moderado, OS: Daño severo, OT: Daño total, NC: No cuantificable																																					
NOTAS		ASIGNACIÓN DEL RIESGO		FECHA		FOTOGRAFÍA		ANEXOS FOTOGRAFÍAS		OBSERVACIONES																															
El promedio se encuentra entre las coordenadas 13N 100W1 y 100W2		El riesgo para la comunidad es moderado ya que la caída de rocas está activa, pero algunas de estas son por acción antropica y no hay casas cerca que puedan sufrir daños por estas rocas.																																							
ESQUEMA DEL MOVIMIENTO																																									
<b>PLANTA</b> 						<b>PERFIL</b> 																																			
FECHA _____ OBSERVACIONES _____						FECHA _____ OBSERVACIONES _____																																			

Fuente: Alvarez (2020).

#### 9.4 Elaboración del mapa de inventario de movimientos en masa para la zona de estudio

Con base en el inventario de movimientos en masa, sus características principales, y metodologías aplicadas se obtuvo el mapa final de la zona conjunta al margen occidental del Campus UAZ (Figura 37).

Figura 37. Mapa de inventarios de movimientos en masa en la zona de estudio.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

## 9.5 Estimación de la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona de estudio

Según los factores Influyentes en el resultado de susceptibilidad para la zona de estudio se ha determinado el uso de 5 clases:

➤ **Susceptibilidad nula**

La categoría de susceptibilidad nula pertenece a las zonas más planas del terreno, con un área de 0.004806 km<sup>2</sup> equivalente al 1.3% del total de la zona de estudio como se muestra en la tabla 20. En el lugar se encuentran pendientes con valores de 0-8%. Está ubicado sobre una litología de tobas, ignimbrita y diorita, que presenta una cobertura en su mayoría por infraestructuras o áreas urbanas constituidas por los fraccionamientos, principalmente Lomas del Patrocinio como se muestra en la Figura 38.

➤ **Susceptibilidad baja**

La categoría de susceptibilidad baja pertenece a las zonas más planas del terreno, con un área de 0.021603 km<sup>2</sup> equivalente al 5.7% del total de la zona de estudio como se muestra en la tabla 20. En el lugar se encuentran pendientes con valores de 8-12% y algunas mayores del 12%. Está ubicado sobre una litología del conglomerado masivo areniscas, filitas, tobas y en algunos sectores ignimbrita y diorita, que presenta una cobertura en su mayoría por infraestructuras o zonas urbanas constituidas por los fraccionamientos, principalmente Lomas del Patrocinio (Figura 38).

➤ **Susceptibilidad media**

La categoría de susceptibilidad media pertenece a las zonas con una pendiente moderada del terreno, con un área de 0.177026 km<sup>2</sup> equivalente al 46.6% del total de la zona de estudio la cual es la mayor entre todas las categorías propuestas como se muestra en la tabla 20. En el lugar se encuentran pendientes con valores de 12-25%. Está ubicada sobre una litología constituida por el conglomerado rico en areniscas o conglomerado masivo areniscas, en algunos sectores por filitas,

tobas e ignimbrita, que presenta una cobertura en su mayoría por infraestructuras o zonas urbanas constituidas por los fraccionamientos, principalmente Lomas del Patrocinio (Figura 38).

➤ **Susceptibilidad alta**

La categoría de susceptibilidad alta pertenece a las zonas con una pendiente medianamente pronunciada, con un área de 0.154054 km<sup>2</sup> equivalente al 40.6% del total de la zona de estudio la cual es la segunda mayor entre todas las categorías propuestas como se muestra en la tabla 20. En el lugar se encuentran pendientes con valores de 25-40%. Está ubicada sobre una litología constituida por el conglomerado rico en areniscas o conglomerado masivo areniscas, en algunos sectores por filitas, tobas e ignimbrita, que presenta una cobertura en su mayoría por infraestructuras o zonas urbanas constituidas por los fraccionamientos, principalmente Lomas del Patrocinio y el Campus UAZ (Figura 38).

➤ **Susceptibilidad muy alta**

La categoría de susceptibilidad muy alta pertenece a las zonas con una pendiente medianamente pronunciada, con un área de 0.018151km<sup>2</sup> equivalente al 4.8% del total de la zona de estudio como se muestra en la tabla 20. En el lugar se encuentran pendientes con valores superiores al 40%. Está ubicada sobre una litología constituida por el conglomerado rico en areniscas o conglomerado masivo areniscas y que presenta una cobertura en su mayoría por infraestructuras o zonas urbanas constituidas por los fraccionamientos, principalmente Lomas del Patrocinio y el Campus UAZ (Figura 38).

Tabla 20. Área y porcentaje de la susceptibilidad.

SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA	PORCENTAJE
NULA	0.004806 km <sup>2</sup>	1.3%

BAJA	0.021603 km <sup>2</sup>	5.7%
MEDIA	0.177026 km <sup>2</sup>	46.6%
ALTA	0.154054 km <sup>2</sup>	40.6%
MUY ALTA	0.018151 km <sup>2</sup>	4.9%

Fuente: Alvarez (2020).

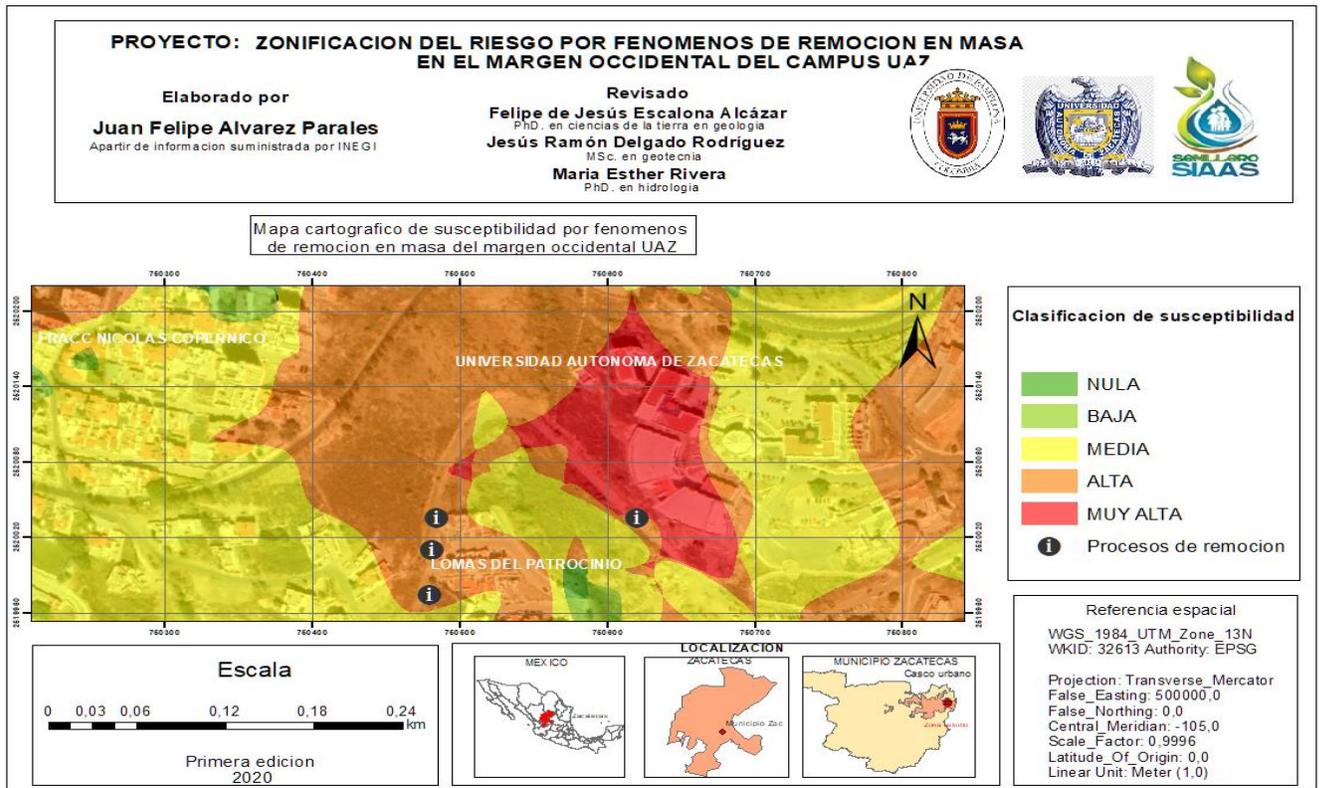
En la tabla 21 se muestran los valores obtenidos los cuales se categorizaron de acuerdo con la metodología Mora-Vahrson (1994).

Tabla 21. Valores obtenidos de susceptibilidad en la zona de estudio bajo la metodología Mora-Vahrson (1994).

SUSCEPTIBILIDAD	RANGOS	VALORES OBTENIDOS
NULA	0	0
BAJA	0.0-1.0	0.7
MEDIA	1.1-2.0	1.0 / 1.3
ALTA	2.1-4.0	2.7
MUY ALTA	>4.1	4 / 5.3

Fuente: Alvarez (2020).

Figura 38. Mapa de la susceptibilidad de la zona de estudio.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

## 9.6 Evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio

El modelo de amenaza analizado para este proyecto se categoriza en 3 niveles, bajo, medio, alto como se muestra la figura 42. Los resultados de las zonas de amenaza alta consideran una afectación al 1% ( $0.184428 \text{ km}^2$ ) del área total estudiada ( $0.38 \text{ km}^2$ ), la cual es localizada en 2 zonas muy cercanas a las infraestructuras de la UAZ. Al realizar las visitas de campo se logra apreciar en dichas zonas de amenaza que han ocurrido procesos de remoción en masa de tipo caída. El primero mostrado en la figura 39 con daños físicos a uno de los muros del edificio por procesos de remoción en masa de tipo caída de rocas, el cual, en un evento registrado de lluvia en junio del 2016, se generó el proceso de remoción en masa el cual con un fragmento de un derrame riolítico

rompió la pared del Laboratorio de Docencia de Química y Bioquímica (figura 40), debido a sucesos similares se incorporó un muro de contención para evitar futuros problemas encadenados a estos procesos (Figura 39 y Figura 40).

Figura 39. Derrame riolítico y muro contención margen occidental del Campus universitario.



Fuente: Alvarez (2020).

Figura 40. Evento registrado de caída de rocas, afectación Campus universitario.



Fuente: Flores *et al.*, (2018) modificado por Alvarez (2020).

La segunda zona tiene una notable amenaza por caída de rocas que llegan a los 40 cm de diámetro y en algunos casos hasta 1 m, la cual, por la repetitiva caída de rocas y desgaste de la vía afectada, esta misma fue cerrada al paso vehicular como se muestra en la figura 41 con el fin de evitar problemas de escalas mayores.

Figura 41. Caída de rocas de aproximadamente 100 metros de longitud.



Fuente: Alvarez (2020).

Un total de 0,193155 km<sup>2</sup> representando el 50.5% del área estudiada, las pendientes presentes en el lugar se encuentran entre 12- 25% y algunas mayores debido a los taludes creados por construcciones, con un uso del suelo en su mayoría de zona urbana y parte pastizal inducido, estos factores otorgan una ponderación de amenaza media situada cerca al fraccionamiento Lomas del Patrocinio afectando el incremento de la amenaza en la zona y los detonantes con calificativos bajos por su poca incidencia en esta zona en específico (Figura 42). Las zonas con una ponderación de amenaza baja se sitúan cerca al fraccionamiento Nicolás Copérnico y una parte del Campus de la UAZ afectando un total de 0.184428 km<sup>2</sup> representando el 50.5% del área estudiada, los factores detonantes en esta zona son iguales que en la anterior a excepción de que las pendientes presentes

en el lugar se encuentran entre 0 - 12% indicando áreas planas. La tabla 22 muestra los valores en áreas y porcentajes de la amenaza en la zona.

Tabla 22. Área y porcentaje de Amenaza.

AMENAZA	ÁREA	PORCENTAJE
BAJA	0.184428 km <sup>2</sup>	48.5%
MEDIA	0.193155 km <sup>2</sup>	50.5%
ALTA	0.004003 km <sup>2</sup>	1.0%

Fuente: Alvarez (2020).

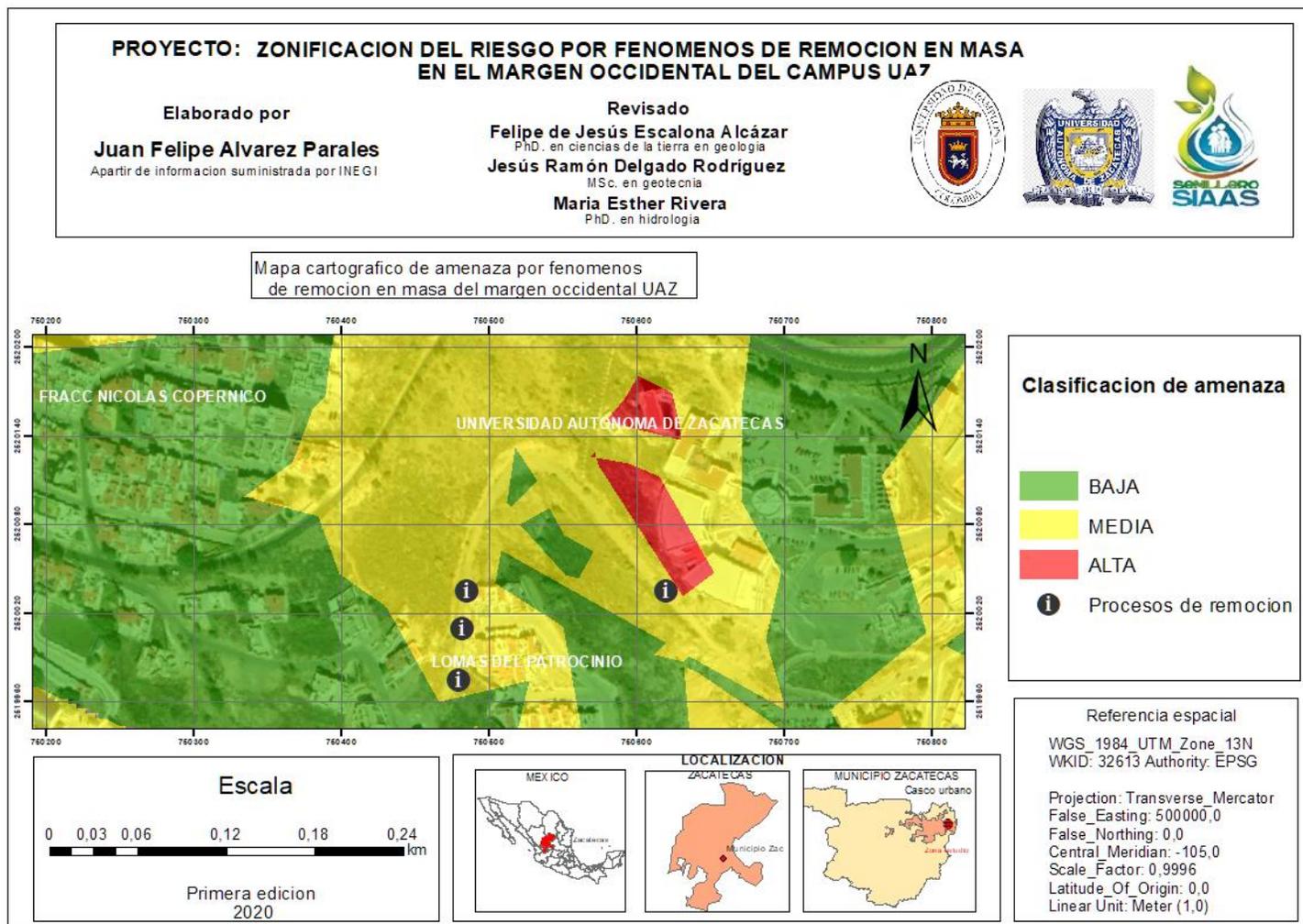
En la tabla 23 se muestran los valores obtenidos los cuales se categorizaron de acuerdo a la metodología Mora-Vahrson (1994).

Tabla 23. Valores obtenidos de amenaza.

AMENAZA	RANGOS	VALORES OBTENIDOS
BAJA	0.0-2.9	0 / 1.3 / 2.0 / 2.7
MEDIA	3.0-7.9	3.0 / 4.0 / 5.3 / 6.0
ALTA	>8.0	8 / 10.7 / 12

Fuente: Alvarez (2020).

Figura 42. Mapa de amenaza de la zona de estudio.



Fuente: modificado de INEGI por Alvarez (2020).

## 10. CONCLUSIONES

En conjunto con las metodologías propuestas, el resultado final del modelo fue acorde a la realidad según los resultados calculados, analizados y visitas a campo identificando las zonas críticas mostradas en los mapas de amenaza y susceptibilidad, se considera que la metodología empleada posee ciertas limitantes que pueden afectar resultados finales, ya que dependen y se ven afectados por la falta de información secundaria disponible, en el caso de la vegetación y uso del suelo fue indispensable adquirirla por medio del INEGI el respectivo mapa cartográfico actualizado a una escala adecuada, ya que en el presente existen problemas en cuanto a pérdidas de vegetación por incendios o por actividades antrópicas como la ampliación urbanística, que afecta su cobertura vegetal y uso del suelo. Por cuanto es esencial actualizar dicha cartografía para poder generar modelos más precisos. Si se realizan estudios más detallados de las zonas encontradas con un grado de amenaza alto, es necesario realizar laboratorios geotécnicos del terreno con el fin de tomar medidas de prevención y mitigación dependiendo del sitio.

La mayor concentración de procesos de remoción en masa se localiza en la zona noroccidental del Campus UAZ y el fraccionamiento Lomas del Patrocinio junto a la calle san Antonio de Triana que está cerrada al paso vehicular, catalogando 4 principales fenómenos y que en el área del cuarto movimiento en masa se presenta susceptibilidad muy alta y una amenaza alta a considerar.

La principal denominación litológica en la zona de estudio es el conglomerado masivo y arenisca, el cual tiene capas bien consolidadas y su grosor varía de 1 m a 3 m, intercaladas con capas de arenisca conglomeradas 20-60 cm de espesor que poseen poca incidencia o se ven relacionadas con un grado de amenaza alto por fenómenos de remoción en masa.

La ponderación de la zona de estudio en los factores detonantes fue de valor 2, ponderando uno para los detonantes lluvia y detonante sismo, además las fuertes pendientes de las zonas

intervenidas por la acción antrópica, en específico en el Fraccionamiento Lomas del Patrocinio y el margen noroccidental de la infraestructura perteneciente a la unidad académica UAZ, fueron determinantes en cuanto al grado de amenaza obtenido.

El 92.1% (0.35 km<sup>2</sup>) de la zona estudiada pertenecen a las áreas con valores de susceptibilidad medio, alto y muy alto principalmente debido a su relieve rocoso y abrupto y con baja cobertura desencadenan factores negativos en estas zonas. Las áreas que son caracterizadas por una susceptibilidad baja de 7.9 % (0.03 km<sup>2</sup>) del territorio analizado compuesta por los sectores que no han sido intervenidos por obras de infraestructuras o disposición final de escombros y se han consolidado generando estabilidad en el terreno.

El 48.5% (0.19 km<sup>2</sup>) de la zona estudiada pertenecen a las áreas con valores de amenaza baja principalmente debido a la baja incidencia de los detonantes como el sismo y el uso empleado del suelo para urbanizaciones junto a bajas pendientes son lugares poco amenazados. Las zonas que son caracterizadas por una amenaza media del 50.5% (0.21 km<sup>2</sup>), se encuentra con un cambio de vegetación y uso del suelo a pastizal inducido que junto a la acción del detonante lluvia y pendientes que menores al 40% generando este nivel de amenaza. El grado más alto de amenaza es atado a la incidencia de las prácticas antrópicas que generan inestabilidad por pendientes superiores a 40% y poca cobertura que por eventos ocasionados por los detonantes lluvia y sismo son puntos críticos y podrían afectar infraestructuras, vías, y personas.

El resultado de esta investigación puede ser empleado como insumo para acciones en los temas de planificación urbana, permisos en construcción de obras de infraestructura y regulación de uso del terreno.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara-Ayala, I., Murillo-García, F.G., (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas*, 66, 47-64.

Carmenantes. (2006). Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. 1 junio del 2020, de IMM Sitio web: <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517653001.pdf>

Carreras. (2014). Guía para la elaboración del mapa comunitario de riesgos (MCR). 1 junio del 2020, de Secretaría de Protección Civil Sitio web: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/5/2014/08/Guia-para-Elaboracion-Mapas-Comunitarios-de-Riesgos-Veracruz.pdf>

Castañeda. (2016). Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas. 1 de junio del 2020, de CENAPRED sitio web:

[http://www1.cenapred.unam.mx/coordinacion\\_administrativa/srm/fraccion\\_xli\\_a/23.pdf](http://www1.cenapred.unam.mx/coordinacion_administrativa/srm/fraccion_xli_a/23.pdf)

Chiquín-Camacho, N.V. , 2017, Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la parroquia Pomasqui-Ecuador: Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia, Tesis de Master en Ingeniería Geomática y Geoinformación, 79 pp.

Centro de Información Municipal para la Planeación Participativa (CIMPP), 2014, Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remociones en masa, avenidas torrenciales y eventos volcánicos en el municipio de Ibagué: Ibagué, Colombia, Documentos de la Revisión y Ajuste Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué, Capítulo 5.2 Amenaza por avenidas torrenciales en zona urbana, 49 pp.

Córdoba-Castaño, G., González-Vargas, I.C., 2017, Modelo de amenaza por fenómenos de remoción en masa mediante métodos heurísticos, en la cuenca de la quebrada frailes, municipio Dosquebradas, Risaralda: Risaralda, Colombia, Universidad Libre de Pereira, Programa Académico de Ingeniería Civil, Póster de estudiantes de V semestre, 5 pp.

Cruz-Mateo, M.R., (2015), Análisis de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la subcuenca del río San Marcos, Sierra Norte de Puebla, México.: San Luis Potosí, México, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Tesis de Maestría en Geociencias Aplicadas, 134 pp. 1 junio del 2020, de IPYCIT Sitio web:

<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/3016>Cruden. (1991). Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. 1 junio del 2020, de Bulletin of the International Association of Engineering Geology Sitio web:

[https://www.researchgate.net/publication/257144374\\_A\\_simple\\_definition\\_of\\_a\\_landslide](https://www.researchgate.net/publication/257144374_A_simple_definition_of_a_landslide)

Cruden, D.M., ( 1991). , Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. 1 junio del 2020, de Bulletin of the International Association of Engineering Geology Sitio web:

[https://www.researchgate.net/publication/257144374\\_A\\_simple\\_definition\\_of\\_a\\_landslide](https://www.researchgate.net/publication/257144374_A_simple_definition_of_a_landslide)

Cuanalo y Gallardo. (2016). Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo. 1 junio del 2020, de Vector Sitio web:

[http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11\\_5.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11_5.pdf)

Domínguez. (2016). Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas. 1 junio del 2020, de CENAPRED sitio web:

[http://www1.cenapred.unam.mx/coordinacion\\_administrativa/srm/fraccion\\_xli\\_a/23.pdf](http://www1.cenapred.unam.mx/coordinacion_administrativa/srm/fraccion_xli_a/23.pdf)

Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos. 1 de junio del 2020. Disponible en: <https://geologiaweb.com/deslizamientos/>

Guzzetti, Mondini, Cardinali, Fiorucci, Santangelo, & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, Vol. 112, pp. 42–66.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>

Hubp, Capra & Zamorano. (2005). La importancia de la geología en el estudio de los procesos de remoción en masa: el caso de Totomoxtla, Sierra Norte de Puebla, México. 1 junio del 2020, de Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Sitio web:

[https://www.researchgate.net/publication/28209812\\_La\\_importancia\\_de\\_la\\_geologia\\_en\\_el\\_estudio\\_o\\_de\\_los\\_procesos\\_de\\_remocion\\_en\\_masa\\_el\\_caso\\_de\\_Totomoxtla\\_Sierra\\_Norte\\_de\\_Puebla\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/28209812_La_importancia_de_la_geologia_en_el_estudio_o_de_los_procesos_de_remocion_en_masa_el_caso_de_Totomoxtla_Sierra_Norte_de_Puebla_Mexico)

Inegi, 2020. Referencias geográficas y extensión territorial de México. 1 de junio del 2020, sitio web: [https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-](https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/man_refgeog_extterr_vs_enero_30_2088.pdf)

[geografiademexico/man\\_refgeog\\_extterr\\_vs\\_enero\\_30\\_2088.pdf](https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/man_refgeog_extterr_vs_enero_30_2088.pdf)

Inegi. (1991). datos básicos de la geografía de México. 1 de junio del 2020, sitio web:

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_1.pdf)

J. M. Vera Rodríguez & A. P. Albarracín Calderón. Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. 1 junio del 2020, de *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 2, p. 109-136. Sitio web:

<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2309>

Jiménez. (2005). Sistemas y análisis de la información geográfica. 1 junio del 2020, del Manual de autoaprendizaje con ArcGIS sitio web:

<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/127>

Lugo. (1988). Elementos de Geomorfología Aplicada. 1 junio del 2020, de Instituto de Geografía sitio web: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/629/pendiente.pdf>

Marcano y Cartaya. (2013). Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones en las cuencas comprendidas entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela. 1 junio del 2020, de Revista de investigación Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/267652620\\_Zonificacion\\_de\\_la\\_amenaza\\_por\\_procesos\\_de\\_remocion\\_en\\_masa\\_originados\\_por\\_las\\_precipitaciones\\_en\\_las\\_cuencas\\_comprendidas\\_entre\\_Camuri\\_Chico\\_y\\_Punta\\_Tigrillo\\_estado\\_Vargas\\_Venezuela](https://www.researchgate.net/publication/267652620_Zonificacion_de_la_amenaza_por_procesos_de_remocion_en_masa_originados_por_las_precipitaciones_en_las_cuencas_comprendidas_entre_Camuri_Chico_y_Punta_Tigrillo_estado_Vargas_Venezuela)

Mora, R. (1993). Manual for Zonation on seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Geotechnical Society. 1 junio del 2020, de Master en ingeniería geomática y geoinformación susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la parroquia Pomasqui - Ecuador 72. 219p.

Mora, R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón San José. Costa Rica: Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas. Fundación de la Universidad de Costa Rica para la investigación. 15p.

Mora & Vahrson. (1993). Mapa de amenaza de deslizamientos, valle central, Costa Rica. Costa Rica: CEPREDENAC

Moral. (2014). Cálculo de la susceptibilidad de deslizamiento del terreno en Lorca mediante un sistema de información geográfica. 1 junio del 2020, de UPM Sitio web:

[http://oa.upm.es/33005/1/TFG\\_LAURA\\_MORAL\\_FERNANDEZ.pdf](http://oa.upm.es/33005/1/TFG_LAURA_MORAL_FERNANDEZ.pdf)

PMA: GCA. 2007. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No.4. 432 p. (1 CD-ROM).

Pineda. (2010). Procesos gravitacionales en el municipio de Lerma, Estado de México. 1 junio del 2020, de UADM Sitio web:

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33399/429464.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pineda. (2014). Procesos Gravitacionales en el municipio de Lerma, Estado de México. 1 junio del 2020, de UAEM Sitio web: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/33399>

Pedraza. (1996). Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones. 1 junio del 2020, del Editorial Rueda. Sitio web: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/629/pendiente.pdf>

Quesada. (2017). Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas. 1 junio del 2020, de Revista Geográfica. Sitio web:

<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/10444/12914>

Rason. (1982). Petrology of the metamorphic rocks of Zacatecas, Zac., Mexico. 1 junio del 2020, de Boletín Sociedad geológica Mexicana Sitio web:

<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1982v43n1a3>

Renda. (2017). Manual Para la Elaboración De Mapas De Riesgo. 1 junio del 2020, de Ministerio de Seguridad de la Nación Sitio web: <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf>

Sarmiento. (2017). Dividen una gran variedad de procesos que resultan en la caída, rotación, flujo y desplazamiento de un volumen de material que se encuentra en las pendientes y laderas. 1 junio del 2020, de IGAC Sitio web:

[https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files\\_ciaf/Sarmiento-Linares-Paula-Alejandra.pdf](https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Sarmiento-Linares-Paula-Alejandra.pdf)

SCDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. 1 junio del 2020, de UNISDR sitio web: [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)

Soeters y Van Westen. (1996). Slope instability Recognition, analysis and zonation. 1 de junio de 2020. De Universidad de Twente sitio web:

[https://www.researchgate.net/publication/209803184\\_Slope\\_instability\\_Recognition\\_analysis\\_and\\_zonation](https://www.researchgate.net/publication/209803184_Slope_instability_Recognition_analysis_and_zonation)

Suárez. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1 junio del 2020, de UIS Sitio web: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>

Servicio Sismológico Nacional. (2020). Datos de magnitudes registradas de sismos en Zacatecas. 1 de junio de 2020. Sitio web: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). Estándares para la presentación y almacenamiento de productos de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa para planchas a escala 1:100.000 Bogotá. 1 junio del 2020, de Grupo de Evaluación de Amenazas por Movimientos en Masa.

Suárez. (2010). Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. 1 junio del 2020, de IUGS Sitio web: [file:///E:/Downloads/librodeslizamientosti\\_cap13%20\(1\).pdf](file:///E:/Downloads/librodeslizamientosti_cap13%20(1).pdf)

Tanaka. (2016). Manual para la elaboración del mapa comunitario de riesgo. 1 junio del 2020, de CEPIG Sitio web: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2631/doc2631-contenido.pdf>

Varnes, D. 1984. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice. UNESCO.