

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO

“MODELACIÓN DEL RIESGO A DESLIZAMIENTOS DE
LADERAS INDUCIDAS POR SISMOS EN ÁREAS
VULNERABLES DE LA CIUDAD DE CHILPANCINGO, GRO.”

T E S I S

PRESENTA:

OMAR GARCÍA REYNA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ FRANCISCO SOTELO LEYVA

ASESOR METODOLÓGICO:

DR. FRANCISCO JAVIER ROMERO PÉREZ

ASESOR TEMÁTICO:

DR. MANUEL I. RUZ VARGAS

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme tener una encantadora familia, principalmente a mis padres Francisco y Rosalba por todo su apoyo incondicional, comprensión y cariño en todos los momentos de mi vida.

A mis hermanas Lupita y Mary por ser muy amables, comprensivas y consejeras en esta vida, de igual forma saben que cuentan conmigo hoy, mañana y siempre, mucho éxito en todo. Las quiero mucho.

Al Dr. José Francisco Sotelo Leyva por su guía, consejos y llamados de atención, sin los cuales no hubiera terminado de la mejor manera este trabajo de investigación y en especial, por su confianza depositada en mi para la relación de este proyecto.

Al Dr. Francisco Javier Romero Pérez y al Dr. Manuel Ignacio Ruz Vargas quienes realizaron grandes aportes en el desarrollo de esta tesis de posgrado, en especial, por su tiempo y gran colaboración.

A Wendy por ser mi súper amiga, mi consejera y al mismo tiempo mi novia. También te agradezco por todo el apoyo y por estar a mi lado todo este tiempo, te quiero mucho.

Y a todos aquellos que han colaborado de alguna manera en la realización de este trabajo.

A todos aquellos que también me otorgaron
su apoyo para la culminación de este trabajo,
en especial a mi familia; que sin ellos esto
nunca habría sido posible.

“Gracias Dios mío por darme la fuerza de levantarme, trabajar y compartir”

ÍNDICE

Introducción.....	7
Planteamiento del problema:	10
Hipótesis:	11
Objetivos:	11
CAPÍTULO 1. COSMOVISIONES Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO, DESASTRE Y VULNERABILIDAD.....	13
1.1 Riesgo, desastre y sociedad; definiciones, conceptos y evolución teórica	14
1.1.1. El concepto del riesgo, amenaza y vulnerabilidad	16
1.1.2. El concepto de Fenómeno Natural y Desastres	22
1.2. La cosmovisión del riesgo, sus enfoques y la búsqueda de seguridad	24
1.2.1. La Cosmovisión Antigua.....	25
1.2.2. Época Prehispánica.....	30
1.2.3. La Visión Colonial y Moderna	33
1.3. Los tres enfoques del riesgo.....	36
1.3.1. Enfoque de las Ciencias Naturales	36
1.3.2. Enfoque de las Ciencias Sociales	37
1.3.3. Enfoque de las Ciencias Aplicadas.....	38
1.4 La gestión global del riesgo; de lo global a lo local.	39
1.4.1 Los Marcos de Acción de YOKOHAMA, HYOGO Y SENDAI	40
1.4.2 La Gestión del Riesgo	44
1.4.3. La Gestión del Riesgo en México	48
CAPÍTULO 2. LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA: COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS PRINCIPALES.....	54
2.1 Los procesos de remoción en masa.....	55
2.2 Clasificación de los deslizamientos en laderas y conceptos sobre la amenaza, peligro y riesgo.....	58
2.2.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos	59
2.3 Factores que determinan la inestabilidad de laderas.....	65
2.3.1 Parámetros de inestabilidad.....	65
2.3.2 Factores internos	71

2.3.3 Factores externos.....	72
2.3.4 Causas humanas o antrópicas.....	78
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTO INDUCIDOS POR SISMOS.....	81
3.1 Estudios de casos análogos de los deslizamientos inducidos por sismos.....	83
3.1.1 Deslizamientos en Japón.....	83
3.1.2 Deslizamientos en el Salvador.....	85
3.1.3 Deslizamientos en México.....	86
3.1.4 Otros deslizamientos inducidos por sismos a través de la historia.....	89
3.2 Enfoques metodológicos para la evaluación de peligros y riesgos geológicos.....	90
3.2.1 Metodologías cualitativas.....	91
3.2.2 Metodologías cuantitativas.....	91
3.2.3 Metodologías mixtas.....	92
3.2.4 Análisis de la actividad de los deslizamientos.....	93
3.2.5 Análisis de la susceptibilidad geomorfológica.....	93
3.2.5 Análisis de las unidades de paisaje o Land System.....	93
3.3 Estimación del peligro sísmico y la metodología de evaluación.....	94
3.4 Fundamentos entorno al riesgo sísmico.....	95
3.4.1 Peligrosidad sísmica.....	97
3.5 Comportamientos sísmicos en los deslizamientos de laderas.....	98
3.5.1 Sismicidad.....	100
3.5.2 Magnitud.....	100
3.5.3 Intensidad.....	102
3.5.4 Aceleración pico (PGA).....	104
3.6 Incertidumbres y enfoque cualitativo de análisis.....	105
CAPÍTULO 4. LA INESTABILIDAD DE LADERAS INDUCIDA POR SISMOS Y SU METODOLOGIA DE EVALUACION.....	106
4.1 Inestabilidad de laderas en el Estado de Guerrero.....	107
4.1.1 Factores meteorológicos.....	107
4.1.2 Factores geomorfológicos.....	110
4.1.3 Sismicidad.....	111

4.2 La ciudad de Chilpancingo de los Bravo	114
4.2.1 Geomorfología	116
4.2.2 Geología	116
4.2.3 Clima y vegetación.....	119
4.3 Metodología para la determinación de amenazas por deslizamientos	121
4.4 Criterios para estimar el peligro de deslizamientos	124
4.4.1 Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales	124
4.4.2 Estimación del peligro de deslizamiento de una ladera	125
4.4.3 Velocidad y distancia de recorrido.....	126
4.5 Consideraciones para estimar el riesgo de deslizamiento de laderas.....	127
4.5.1 Enfoques del análisis del riesgo	127
4.5.2 Determinación de los elementos en riesgo.....	127
4.5.3 Estimación de vulnerabilidades.....	128
4.5.4 Administración del riesgo	128
CAPÍTULO 5. MODELACIÓN PARA ESTIMAR EL PELIGRO Y EL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS	130
5.1 La colonia “Héroes de Guerrero”	131
5.2 La colonia “El mirador”.....	132
5.3 Investigación geotécnica y geomorfológica para identificar el fenómeno de deslizamientos.....	133
5.3.1 Ensayo de laboratorio.....	134
5.4 Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales en las dos colonias de Chilpancingo de los Bravo	136
5.5 Análisis del riesgo a deslizamientos de laderas	143
5.5.1 Memoria de cálculo.....	144
5.5.2 Resultado del análisis.....	144
5.6 Sismicidad y ocurrencia de procesos de remoción en masa	146
5.7 Vulnerabilidad física.....	149
6. Conclusiones y recomendaciones	152
Bibliografía.....	158

INTRODUCCIÓN

Los problemas de inestabilidad de laderas se encuentran entre los peligros naturales más destructivos de nuestro planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo. Cada año estos desastres ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de laderas, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo proceden y los factores que lo generan (Weppen, 2001).

Los efectos inducidos por un sismo son de naturaleza diversa, proporcionales a la magnitud, y se disminuyen con la distancia al epicentro del evento. Una de las causas más frecuentes de los daños asociados a los terremotos son los deslizamientos, aunque se requiere una alta intensidad para que estos tengan lugar y ciertos factores de susceptibilidad del terreno, por ejemplo: laderas inestables, pendientes elevadas, suelos de baja resistencia y escarpes rocosos.

La amenaza por deslizamientos disparados por sismo es un problema que recientemente se debate y evalúa a nivel mundial, ya que el desarrollo urbanístico, la construcción de infraestructura e implantación de redes viales ha generado una importante exposición a dicha amenaza, combinada obligatoriamente a sus potenciales impactos sobre las actividades humanas, pérdidas económicas, devastación de terrenos y morbilidad entre otras, como lo plantea Ingeominas (2008).

Como en la mayoría de los riesgos naturales, el estudio del peligro de los deslizamientos de laderas requiere disponer de un modelo matemático que permita la evaluación y análisis de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en una determinada región y durante el tiempo dado.

La comunidad científica en los últimos años se ha esforzado por encontrar el modelo que mejor se adapte a la realidad; una tarea que resulta difícil y complicada, debido principalmente a que los deslizamientos son fenómenos complejos que involucran gran cantidad de parámetros entre sí, como son la morfología del terreno, geología, nivel de precipitaciones, sismicidad y tectónica de la región, entre otros.

En varios estados de la República Mexicana existen centros de población que con frecuencia están expuestos a la ocurrencia de movimientos repentinos pendiente abajo de masas de suelos y rocas en laderas, por lo que su atención recae en las autoridades de Protección Civil. Fenómenos geotécnicos como los deslizamientos con frecuencia tienen antecedentes o exhiben manifestaciones que permiten señalar la posibilidad de su ocurrencia futura (Gutiérrez, 2006).

En el estado de Guerrero, el panorama no es alentador debido a sus condiciones geográficas y topográficas de la entidad; es atravesado por la Sierra Madre del Sur, que alcanza alturas de más de 3000 msnm., y baja rápidamente a alturas considerablemente menores en unos cuantos kilómetros en distancia horizontal y presenta en algunas áreas grandes extensiones erosionadas por la acción antropogénica, tales como la tala inmoderada, la apertura de tierras nuevas para el cultivo y la construcción de viviendas (González, 2009).

El presente trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos para una mejor comprensión y desarrollo. Para el capítulo uno que corresponde a los conceptos introductorios de la investigación, se desarrolla una pequeña síntesis de la misma; posteriormente también se describe la concepción del riesgo desde la época antigua hasta la modernidad como búsqueda de la seguridad en la población y se puntualizan los marcos de acción de los diferentes niveles nacionales e internacionales.

El capítulo dos se plantea varios conceptos básicos sobre deslizamientos de masas de tierra, su clasificación y los factores detonantes de los mismos, así como características generales sobre sismología en los deslizamientos, en cuanto a la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y el riesgo como tal.

El capítulo tres corresponde al análisis de la susceptibilidad a los deslizamientos inducidos por sismos, iniciando con algunos casos análogos del mismo en diversos países del mundo a través de la historia y al mismo tiempo se plantean las diferentes metodologías para la estimación de probabilidades de falla o deslizamiento, la consideración de los factores lluvia y sismo como detonantes de un deslizamiento.

El capítulo cuatro se desarrolla con una estimación del peligro sísmico en donde se describen las fuentes sísmicas, los efectos que pueden tener y los comportamientos de taludes y además, se describe la metodología a utilizar en esta investigación para la estimación de la amenaza en los deslizamientos de laderas.

Y el capítulo cinco pertenece a la contextualización y caracterización de la zona de estudio en cuanto algunos componentes geológicos, geográficos, entre otros. Además se describe la implementación de la evaluación del riesgo que tiene que ver con el modelo del Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) en donde primeramente se evalúan dos colonias con alto índice de vulnerabilidad a deslizamientos para posteriormente replicarlos en toda la ciudad tomando como base los mismos parámetros de evaluación.

Para finalizar se desarrolla la memoria de cálculo con un análisis multicriterio en donde nos arroja como resultado el índice de susceptibilidad a deslizamientos de laderas, la sismicidad y ocurrencia en este tipo de deslizamientos y la vulnerabilidad física en que está expuesta toda la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, representada por los diferentes mapas realizados con un modelo para software (sistema de información geográfica).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Chilpancingo de los Bravo es una ciudad que se caracteriza principalmente por su peculiar geología, su alto índice de deterioro ecológico y sus diversas acciones antropogénicas compuestas por la zona de barrancas, las cuales han originado que a lo largo de los años, sobretodo en temporada de lluvias, se presenten muchos tipos de deslizamientos.

El tipo de suelo en la que se encuentra establecida la ciudad es de sedimentos blandos, los cuales se caracterizan principalmente de capas alternadas de arcillas, arenas, conglomerados y caliche de diferentes espesores, y con una estratificación subhorizontal. Este tipo de suelo se puede llegar a presentar hasta en unos 100 metros de profundidad en algunas zonas de la ciudad por la acumulación de materiales en un medio lacustre antiguo.

En temporada de lluvias se han observado altos índices de precipitación que generan deslizamientos al saturar los materiales geológicos de la zona, ya que la filtración de agua en los materiales tiene el efecto de elevar el nivel freático rápidamente. Además su alto contenido de arcillas aumenta la presión del poro y a su vez la distribución irregular no permite una filtración rápida del agua, por lo que los materiales se saturan rápidamente, propiciando que se tengan las condiciones necesarias en el terreno para un deslizamiento.

A esto se le suma que también es una de las ciudades con mayor riesgo sísmico en México y en el mundo; en donde, existen dos factores al menos que lo indican, primero que es muy corta la distancia entre esta ciudad y las zonas de ruptura de la mayoría de los terremotos de subducción que se generan en el estado de Guerrero, y segundo, que la estratigrafía y la geología del valle, sobre la cual está ubicada la ciudad, generan amplificaciones bastante grandes del movimiento del suelo.

HIPÓTESIS:

La ciudad de Chilpancingo podrá considerar cuales son las zonas de amenaza en caso de que se presente un fenómeno de deslizamientos de laderas ya sea por lluvias o sismos. En el cual se mostrará un análisis de los procesos de remoción en masa y su inseparable relación con la vulnerabilidad de la población.

OBJETIVOS:

General:

- Establecer un modelo para deslizamientos de laderas inestables inducidas por sismos mediante una metodología que permita evaluar las pérdidas potenciales a eventos adversos a través del proceso de análisis de evaluación tomando como base un área vulnerable a deslizamiento para después replicarla en toda de la ciudad de Chilpancingo.

Específicos:

- Analizar y evaluar los factores de riesgo producto del movimiento en masa y sismicidad en las áreas vulnerables de la ciudad de Chilpancingo.
- Cuantificar los parámetros geotécnicos condicionantes para la generación de remociones en masa.
- Estimar las deformaciones del terreno basándose en regresiones de los parámetros sísmicos y caracterización de y caracterización de los taludes.



Fuente: Recuperado de <https://goo.gl/images/37iSHS>, 11 de mayo de 2017

CAPÍTULO 1

COSMOVISIONES Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO, DESASTRE Y VULNERABILIDAD

CAPÍTULO 1. COSMOVISIONES Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO, DESASTRE Y VULNERABILIDAD

A lo largo de la historia, la naturaleza no ha cesado de recordar al hombre su poder destructivo: erupciones volcánicas, huracanes, incendios, sismos, maremotos. La aparición de estos fenómenos naturales se pierde a través del paso del tiempo y ningún progreso previsible de la ciencia será capaz de proteger a la población eficazmente de ellos en el futuro. Se trata, por consiguiente, de adoptar medidas que limiten, porque es imposible suprimir, los efectos de estos fenómenos. Los últimos años han demostrado que independientemente de los estudios y predicciones científicas, los cambios climáticos han aportado un elemento muy dinámico en la generación y particularidades de los fenómenos, especialmente hidrometeorológicos, que han alterado sus tendencias estadísticas (Bello Gutiérrez B, 2004).

Las situaciones de desastres son cada vez más frecuentes e intensas y afectan a diferentes países, en los que originan cuantiosos daños de naturaleza física, socioeconómica y psicológica a un número cada vez mayor de personas en el mundo. Como parte de la atención que las Naciones Unidas presta a la reducción de desastres por diferentes vías y mediante el trabajo de diversas agencias, los pasados años 1990 se declararon como el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN) y en él se contribuyó a impulsar prácticamente en todo el mundo, la prevención y mitigación de desastres, así como los preparativos para la respuesta ante ellos y el suministro de la ayuda necesaria a los países para recuperarse de sus efectos (Sánchez, 2012).

Para una mejor comprensión y desarrollo, el presente capítulo corresponde a los conceptos introductorios de la investigación en los cuales se incluye una recapitulación de la misma, una concepción inicial de la concepción de riesgo, amenaza, vulnerabilidad, fenómeno natural y desastres. Posteriormente se presentará a manera de informe sintético las diferentes percepciones que se tienen del riesgo desde la época antigua hasta la actualidad, sus diferentes enfoques y los marcos de acción que tratan de mitigarlo de lo global a lo local para tener una perspectiva general y así poder contribuir en esta investigación.

1.1 Riesgo, desastre y sociedad; definiciones, conceptos y evolución teórica

El tema del “riesgo” hace referencia a las problemáticas generales en los desastres naturales, con frecuencia lo relacionamos en la probabilidad de pérdidas materiales, físicas hasta las psicosociales y culturales las cuales pueden producir daños en un futuro. Este riesgo constituye una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración (individuos, familias, comunidades, ciudades, infraestructura productiva, vivienda etc.). Como consecuencia de todo esto, esta condición está muy latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro. Esa posibilidad está sujeta a análisis y medición en términos cualitativos y cuantitativos.

La existencia de riesgo, y sus características particulares, se explica por la presencia de determinados factores de riesgo. Estos se clasifican, en general, en factores de amenaza y factores de vulnerabilidad. Una “amenaza” refiere a la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad. La “vulnerabilidad” se refiere a una serie de características diferenciadas de la sociedad, o subconjuntos de la misma, que le predisponen a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo, y que dificultan su posterior recuperación. Es sinónimo de debilidad o fragilidad, y la antítesis de capacidad y fortaleza. La vulnerabilidad es en fin la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente.

La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente. Incluye las que son propias del mundo natural, como son las asociadas con la dinámica geológica, geomórfica, atmosférica y oceanográfica (por ejemplo, sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis); las que son de naturaleza pseudo o socio-natural, producidas como resultado de la intersección o relación del mundo natural con las prácticas sociales, como son muchos casos de inundación, deslizamiento y sequía. En estas, la deforestación, cambios en los patrones de uso del suelo u otros procesos sociales, crean o amplían las condiciones de amenaza; y las antropogénicas, producto de la actividad humana, como son los casos de explosiones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales (Allan Lavell, 1996).

La vulnerabilidad de la sociedad puede manifestarse a través de distintos componentes o elementos, cada uno resultado de un proceso social particular. Algunas de las manifestaciones o dimensiones prevalcientes de la vulnerabilidad se encuentran en la ubicación de población, producción e infraestructura en áreas de potencial impacto; la inseguridad estructural de las edificaciones; la falta de recursos económicos, de autonomía y de capacidad de decisión de la población, las familias, las comunidades o las unidades de producción, que les permiten hacer frente a contextos de amenaza o de recuperarse después del impacto de un evento físico determinado; la falta de una sociedad organizada y solidaria; la existencia de ideologías fatalistas y la ausencia de educación ambiental adecuada; la ausencia de instituciones u organizaciones que velen por la seguridad ciudadana y que promuevan la reducción y control de riesgo (Wilches Chaux, 1993).

El riesgo, producto de la interrelación de amenazas y vulnerabilidades es, al final de cuentas, una construcción social, dinámica y cambiante, diferenciado en términos territoriales y sociales. Aun cuando los factores que explican su existencia pueden encontrar su origen en distintos procesos sociales y en distintos territorios, su expresión más nítida es en el nivel micro social y territorial o local. Es en estos niveles que el riesgo se concreta, se mide, se enfrenta y se sufre, al transformarse de una condición latente en una condición de pérdida, crisis o desastre. Un desastre es el fin de un proceso, a veces muy largo, de construcción de condiciones de riesgo en la sociedad. El desastre es la realización o concreción de las condiciones de riesgo preexistentes en la sociedad. Esta realización ocurre en el momento en que un determinado evento físico, sea este un huracán, sismo, explosión, incendio, u otro, ocurre y revela el riesgo latente y lo convierte en un producto, con consecuencias en términos de pérdidas y daños.

Con el impacto y la generación de las condiciones de desastre automáticamente se conforman otros escenarios de riesgo en las zonas y poblaciones afectadas que difieren sustancialmente de aquellos existentes con anterioridad, aun cuando incorporan elementos y componentes importantes de los mismos. La dinámica y la expresión particular del riesgo existente con anterioridad han sido modificadas y presentadas en nuevos desafíos para la sociedad. El riesgo, las amenazas y vulnerabilidades son dinámicas y cambiantes a lo largo del tiempo, y no pueden ser objetos de análisis y de acciones estáticas (Allan Lavell, 1996).

1.1.1. El concepto del riesgo, amenaza y vulnerabilidad

A) Riesgo

Las personas comúnmente conciben al riesgo como algo que forma parte de su vida diaria en conjunto con la sociedad. Ya que este concepto se ha presentado a través del tiempo por diferentes ocasiones en las actividades humanas, su concepción implica una aproximación a diversos acontecimientos y en algunas veces se asocia a la idea de provenir sin certeza; por lo tanto, esta característica radica en la variabilidad que obstaculiza la manera de concebirla. Este acontecimiento no deseado por el hombre está asociado al espacio físico donde se desarrollan las actividades. La distribución espacial de esta afectación sobre el territorio geográfico también se caracteriza por su gran variabilidad. Estas dos características, temporal y espacial del riesgo, lo convierten en un concepto esencialmente dinámico (Soldado, 2009).

De manera general, los diferentes autores que definen al concepto riesgo demuestran cual ha sido evolución a través de las últimas tres décadas.

Según la *Real Academia Española*, la palabra riesgo viene del árabe “*rizq*” (lo que depara la providencia) a través del Italiano “*rischio*”, de igual forma en su diccionario de la lengua define al riesgo como “contingencia” (posibilidad de que algo suceda o no suceda) o proximidad (cualidad de cercano, que dista poco en el espacio o en el tiempo) de un daño (detrimento, perjuicio, menoscabo, dolor o molestia, pérdida, deterioro) (RAE, 2017).

En un diccionario de Arquitectura que define al concepto del riesgo, nos dice que es una “Proximidad de un daño o peligro” a manera de que “Cada uno de los accidentes o contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro: seguro a todo riesgo” (Wordreference, 2017).

Estas dos puntualizaciones son consideradas porque concluyen en que el riesgo es una aproximación de algún daño en particular, el cual puede surgir a manera de acción o como un accidente en algún lugar en específico. Independientemente de cual sea el origen de la palabra, cuando hablamos de riesgo hacemos referencia a una situación peligrosa, no segura, cuyos resultados no se encuentran garantizados.

La Organización de la Naciones Unidas (ONU), ha definido riesgo natural como el “grado de pérdida previsto debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad” (Aneas 2000). Esta definición hace insistencia en la incertidumbre y la cercanía o no de la consecuencia del evento potencialmente dañino. Por tanto, el concepto de riesgo por definición es imposible de cuantificar salvo que se utilicen escenarios determinados, términos relativos, ordenes de magnitud o probabilidades de ocurrencia.

Desde la perspectiva de los desastres naturales Omar Darío Cardona lo define de la siguiente manera:

Una concepción holística del riesgo, consistente y coherente, fundamentada en los planteamientos teóricos de la complejidad, que tenga en cuenta no solo variables geológicas y estructurales, sino también variables económicas, sociales, políticas, culturales o de otro tipo, podría facilitar y orientar la toma de decisiones en un área geográfica. Un enfoque de este tipo, integral y multidisciplinar podría tener en cuenta de maneras más consciente las relaciones no lineales de los parámetros del contexto y la dinámica de los sistemas sociales (Cardona, 2000).

No obstante no existe un límite claro de clasificación ya que muchos riesgos se interrelacionan entre sí como por ejemplo los riesgos naturales inducidos o mal gestionados por el hombre o muchos riesgos tecnológicos que son en realidad sociales. Sin embargo los riesgos pueden reducirse o manejarse.

Imagen 1. El riesgo es la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada



Fuente: Obtenido de <https://www.telesurtv.net>, Julio 2018

B) La amenaza

La amenaza se define como:

Peligro o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representando por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico, durante un tiempo de exposición determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente. Matemáticamente expresado como la posibilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en cierto sitio y en cierto periodo de tiempo (Cardona, 1993).

Pero para Anne-Catherine Chardon y Juan Leonardo González (2002) son: “aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él”. Los principales estudios realizados sobre amenazas naturales desde los últimos 10 años se han concentrado en Centro América.

Diferentes estudios revisados acogen y trabajan el concepto de "amenazas naturales" como a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. Se hace un énfasis en que la condición de "natural" excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre como la contaminación y los eventos naturales inducidos por el hombre a partir de sus condiciones sociales; exclusión que deja a las investigaciones en curso carentes de otras formas de análisis de la amenaza (González, 2002).

Las amenazas también pueden definirse como “la probabilidad más o menos concreta de que uno o varios fenómenos de origen natural o humano, se produzcan en un determinado tiempo y región que no esté preparada para afrontar sin traumatismos ese fenómeno” (Wilches, 1998). En la actualidad es cada vez más evidente que los procesos sociales no sólo intervienen en la construcción y acumulación de vulnerabilidades en la población, sino que también inciden en la ocurrencia de las amenazas (Cardona, 2001).

Los actuales procesos de urbanización e industrialización están generando mayores riesgos en las ciudades, ante la aparición de nuevas amenazas o intensificación de las existentes (Quarantelli, 1996).

Lavell (1996) propone una detallada clasificación de las amenazas, lo cual resulta fundamental para el estudio de riesgos en una comunidad puesto que el, o los fenómenos amenazantes, se relacionan de manera directa con los elementos que componen la vulnerabilidad existente. Esta clasificación contribuye a definir el tipo de medidas que se deberán tomar para prevenir o mitigar los efectos de posibles amenazas (Cardona, 2001).

Se debe tener cuidado con la relación y con el ambiente, y se debe estar consciente de las debilidades y vulnerabilidades frente a las amenazas existentes, en donde se pueda tomar medidas para asegurarse de que las amenazas no se conviertan en desastres. La variedad de amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad es muy amplia y tiende a aumentar constantemente. Incluye las que son propias del mundo natural, como son las asociadas con la dinámica geológica, geomórfica, atmosférica y oceanográfica (por ejemplo, sismos, deslizamientos de tierra, huracanes y tsunamis); las que son de naturaleza seudo o socio-natural.

En estas, la deforestación, cambios en los patrones de uso del suelo u otros procesos sociales, crean o amplían las condiciones de amenaza; y las antropogénicas, producto de la actividad humana, como son los casos de explosiones, conflagraciones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales etc. (Allan Lavell, 1996).

Imagen 2. La amenaza en la ocurrencia de un incidente



Fuente: Obtenido de: <http://www.eldiario.net>, Julio 2018

C) Vulnerabilidad

El diccionario de la *Real Academia Española* define a la vulnerabilidad como una “Cualidad de vulnerable” (RAE, 2017), al mismo tiempo un diccionario de Arquitectura *Wordreference* establece que es una “Cualidad de vulnerable: le atacaron porque conocían su vulnerabilidad” (Wordreference, 2017), aunque las definiciones en diccionarios son muy análogas, siempre tratan de dar una respuesta coherente en esta ocasión la vulnerabilidad se entiende como la situación en la que se encuentra alguna cosa respecto al riesgo.

De manera general y como introducción, se puede decir que la vulnerabilidad corresponde a la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, tecnológica o antrópica más generalmente, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, desarrollo político institucional entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales en el momento del impacto del fenómeno. La magnitud de estos daños estará asociada con el grado de vulnerabilidad. Una forma resumida de definir la vulnerabilidad puede ser la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente (González, 2002).

Cardona (1993) señala que un análisis de vulnerabilidad es un proceso por el cual se determina la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante un peligro específico, existiendo diversos tipos de vulnerabilidades. Kumpulainen (2006) señala que la vulnerabilidad es una parte esencial de los peligros, definiéndola como la susceptibilidad de las personas, comunidades o regiones ante los diversos peligros naturales o tecnológicos, identificando tres dimensiones: económica, social y ecológica. Para Lavell (2001) la vulnerabilidad corresponde a las características diferenciadas de la sociedad, o sus subconjuntos, predispuestos al sufrimiento de daños frente a un evento físico, dificultando la recuperación posterior, manifestándose por medio de distintos componentes, siendo cada uno de ellos resultado de un proceso social determinado.

Anderson y Woodrow (1989, en Cardona, 2001) plantearon su enfoque de vulnerabilidad, en aspectos, que dificultan la capacidad de la comunidad de responder a un suceso. Estos se pueden agrupar en tres grupos según el carácter:

- Físico-material: medio ambiente, infraestructura, vivienda, tecnología, capital, nivel de salud y capacidad de trabajo.
- Social-organizacional: actividades sociales y económicas, además de la estructura política.
- Motivación y actitud: concepción que tienen las comunidades de ellas mismas y sus interrelaciones con el medio ambiente y la sociedad.

Según Cardona, la relación que se establece entre el desarrollo y la vulnerabilidad es alta, al aceptar esta hipótesis, Blakie (1994, en Cardona, 2001) establece tres factores que dan origen a la vulnerabilidad, definiéndolos como:

- La exposición: Condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- La fragilidad social: Corresponde a la predisposición que surge como resultado de la marginalidad y segregación social de un asentamiento humano.
- Falta de resiliencia: Expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

Imagen 3. Vulnerabilidad ante los desastres naturales



Fuente: Obtenido de: <https://www.elspectador.com/>, Julio 2018

1.1.2. El concepto de Fenómeno Natural y Desastres

El desastre, es la correlación entre un fenómeno natural peligroso y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables (Romero y Maskrey, en Maskrey, 1993). Se caracteriza por el gran nivel de las consecuencias del episodio en el espacio, requiriendo de la ayuda externa, y sufriendo el deterioro económico y social de una región, sumado a la pérdida de vidas (Olcina, 2006). Por otro lado Wijkman y Timberlake (Wilches-Chaux, en Maskrey, 1993), agregan que es importante considerar en una definición el número de personas muertas y heridas, en conjunto con el valor monetario de las pérdidas materiales.

Para Lavell (2001) sostiene que el desastre es:

“Una ocasión de crisis o estrés social, observable en el tiempo y espacio, en que sociedades con sus componentes (comunidades, regiones, etc.) sufren daños o pérdidas físicas y alteraciones en su funcionamiento rutinario, a tal modo que exceden su capacidad de auto recuperación, requiriendo la intervención o cooperación externa” (Pág. 5)

Makrey (1993) considera el desastre como la correlación entre fenómenos naturales peligrosos y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables, y por tanto el desastre es consecuencia extrema y no causa de un fenómeno. El autor enfatiza diciendo que a pesar de una definición general, el desastre es eminentemente social, puesto que teniendo en cuenta el contexto social dado, es normal que un desastre ocurra, el cual corresponde entonces a un sistema social en situación de stress o de crisis en el tiempo y espacio, como un tipo de “prueba máxima” de dicho sistema afectado por daños o pérdidas físicas y alteraciones en su funcionamiento rutinario. Finalmente, el autor aclara que un desastre siempre se considera como producto de algo repentino, mientras es más bien la consecuencia de un largo proceso sobre el cual influyen factores de múltiples índole.

Cardona O.D., (1993): *Evento de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, que causa alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y/o el medio ambiente. Es la ocurrencia efectiva de un fenómeno peligroso que, como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos causa efectos adversos sobre los mismos* (pág. 75-93).

También Cardona (2003), clasifica las pérdidas de los desastres en directas e indirectas. Las directas, señala, “están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura de servicios públicos, en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat”. Mientras que las pérdidas indirectas, se pueden subdividir en sociales y económicas, entre las sociales están:

“Interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otra; y en efectos económicos, la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción (Pág.43)”.

Sin duda que la cuantificación de las pérdidas relacionadas con desastres se encuentra muy relacionada con la escala y disponibilidad de datos presentes. Las pequeñas materializaciones de riesgos, pueden tener implicancias graves dependiendo de la comunidad que resulte afectada. Un ejemplo de ello corresponde a inundaciones fluviales que afecten a comunidades rurales, sin duda la cuantificación de las pérdidas será de difícil estimación, más aún cuando hablamos de desarrollo local de la comunidad en cuestión.

La DRIDN (1992) considera que el desastre es la interrupción de la capacidad de funcionamiento de una sociedad que causa pérdidas de vidas humanas, bienes materiales y activos del medio ambiente, y supera la capacidad de la sociedad afectada para sobreponerse por sus propios medios a este acontecimiento.

La diferencia entre los conceptos radica en la dicotomía entre probabilidad y ocurrencia, así el riesgo es la probabilidad, mientras la catástrofe y el desastre corresponden a la materialización del riesgo (Lavell, 2001), pero con distintos niveles de daños. Sin ir más lejos Pagney (1994, en Olcina 2006: 13), se refiere al riesgo como “la espera de la catástrofe”, en clara alusión a la materialización de este. Pero esa denominación de catástrofe y/o desastre, se adquiere cuando “el hombre y/o sus actividades se encuentran involucrados” (Whittow, 1984), dependiendo del grado de daño sufrido por los mismos.

1.2. La cosmovisión del riesgo, sus enfoques y la búsqueda de seguridad

La seguridad es un concepto de vital importancia dentro de las sociedades contemporáneas. Todos los modelos de sociedad han desarrollado funciones de seguridad y control, pero éstas nunca alcanzaron las dimensiones que están tomando hoy en día. El riesgo está presente, en mayor o menos medida, en todos los ámbitos de la vida social. No debemos olvidar que todas las sociedades humanas, independientemente de su grado de desarrollo son conflictivas y polémicas. Siguiendo a Karl Marx podemos decir que el conflicto es el motor del cambio social, se encuentra situado en la propia estructura de la sociedad. Ralf Dahrendorf consideraba que existían causas endógenas a la propia estructura del sistema que explican el conflicto; y en las sociedades avanzadas esa razón es la desigual distribución de la autoridad.

En todas las sociedades se dan una serie de situaciones de oposición o enfrentamiento en torno a unos intereses determinados. Los conflictos generan tensiones que conducen a nuevos cambios sociales. La estructura de la sociedad actual excluye la unanimidad y en este contexto es más raro encontrar consenso que situaciones conflictivas. Consenso y conflicto se alternan dando una nueva dimensión a los riesgos que debemos asumir en la vida social. Esta situación conflictiva se hace más patente con el desarrollo de la sociedad global y la creciente conexión entre sociedades.

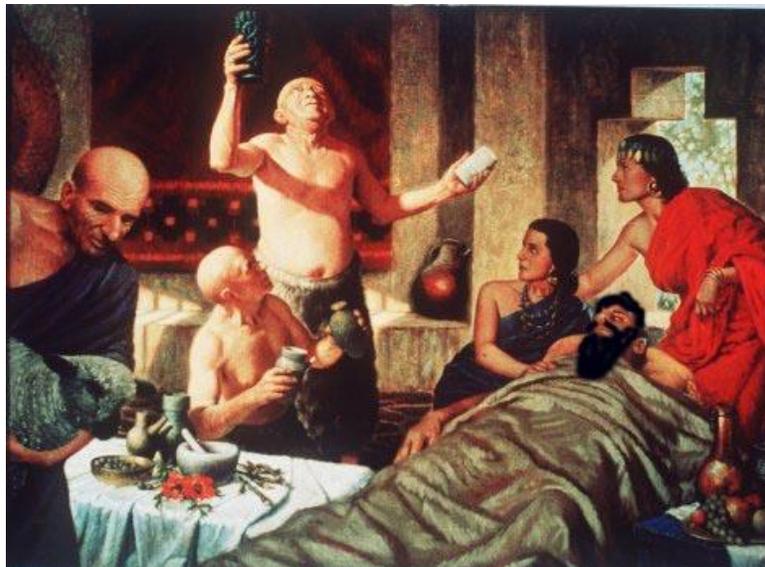
En este contexto, el conflicto y el riesgo asumen dimensiones mucho más complejas. Hemos aprendido a vivir con los conflictos, hemos aprendido a gestionar las situaciones conflictivas que nos rodean, en nuestras relaciones sociales y laborales., pero hoy es necesario aprender a gestionar los nuevos riesgos que aparecen como consecuencia de la dimensión global. El riesgo se ha convertido en algo natural de la sociedad humana, en parte del proceso de interacción social. El riesgo es hoy pluridimensional, no hay una única causa que explica el riesgo. Tiene una perspectiva global, pero experimentamos sus consecuencias individualmente, dependiendo de nuestras circunstancias sociales. La misión de los modernos sistemas de seguridad consiste en detectar donde pueden surgir esos riesgos y ponerles remedio. El problema es que dentro de las sociedades actuales el riesgo es imprevisible (Ruiz, 2005-2006).

1.2.1. La Cosmovisión Antigua

La percepción del riesgo asociado con los desastres naturales se encuentra presente en las sociedades humanas desde la antigüedad hasta nuestros días. Hacia el año 3200 A.C. en las comunidades de la antigua Babilonia que se encontraban ubicadas entre el Valle del río Éufrates y el Tigris, existió un grupo llamado el “Asipu” (Oppenheim 1977) el cual consistía en que solamente ellos podían tomar las decisiones difíciles por tal inseguras o inciertas que fueran sobre alguna acción venidera.

En este caso solo se podía consultar a un solo miembro del Asipu, donde él mismo tenía la capacidad de analizar la situación, buscar alternativas de solución y proponer las alternativas más factibles. También dentro del grupo existía un sacerdote, que tenía la capacidad especial de interpretar señales o datos de los dioses además de poder calificar todas las alternativas colocando más signos (si eran favorables) o menos signos (sino lo eran) para que al final pudiera recomendar la alternativa más beneficiosa para todos. Otro aspecto importante sobre el análisis de riesgo en la antigua Mesopotamia se debe a las ideas religiosas donde se relacionaban con la posibilidad de otra vida después de la muerte (Cardona, 2001).

Imagen 4. El Asipu o exorcista de Mesopotamia

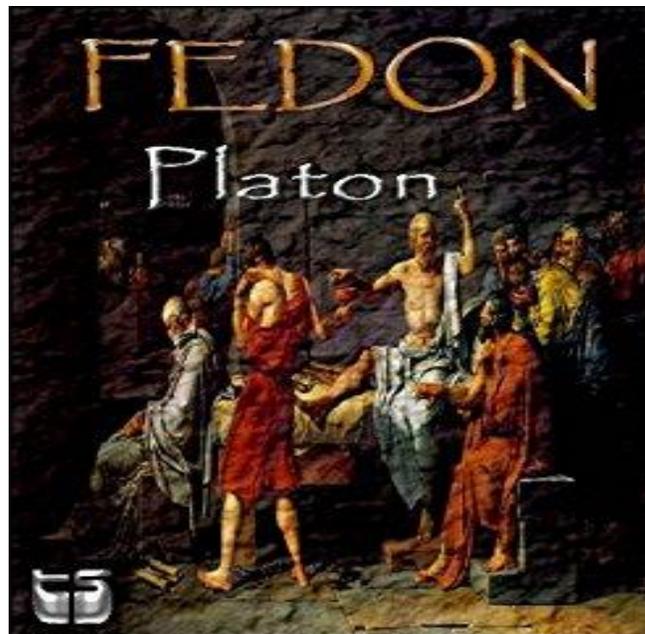


Fuente: Obtenida de <http://wendykatherineasdi.blogspot.mx/2013/04/historia.html>, Marzo de 2017

El origen de la figura del seguro como una antigua estrategia para afrontar los riesgos sucedió dos siglos después en la antigua Mesopotamia. Posteriormente, surgieron las primeras tasas de interés sobre préstamos entre agricultores, inicialmente en especie y luego en metálico, que variaban entre 0 y el 33% dependiendo del grado de riesgo asociado al préstamo. Las tasas reflejaban la percepción de incertidumbre del prestamista y fueron una de las primeras formas de cuantificar y administrar riesgo. Esta práctica posteriormente se amplió al incluir primas de riesgo cuando se trataba de préstamos asociados con el transporte de mercancías que podían perderse en el mar por tormentas, incendios o asaltos

Fue así como en el siglo IV A.C. Platón redactó “Fedón” y otros escritos importantes sobre la inmortalidad del alma; según el comportamiento de cada persona que conduce su aquí y ahora (Covello y Mumpower 1985). En el Fedón, se narra un dialogo sobre Sócrates; el cual consistía que él y sus amigos tenían que beber el veneno para dar a conocer la inmortalidad del alma, dejando a un lado el riesgo de morir y creer que valía la pena. Asimismo, para el siglo IV D.C. en una monografía en *contra de los paganos* escrita por Amobius el Viejo, redactaba que para esa época había dos alternativas: aceptar el cristianismo sobre lo que era ser pagano.

Imagen 5. El Fedón o sobre la inmortalidad del alma es un diálogo platónico que se ambienta en las últimas horas de vida de Sócrates



Fuente: Obtenida de <https://www.amazon.es/>, Abril de 2017

Planteaba que había otras posibilidades aunque todavía eran inciertas, la primera era que dios si existe y la segunda que dios no existe; este planteamiento se rige bajo los principios de la dominancia que era la base heurística para tomar las difíciles decisiones por tal inseguras o inciertas sobre las condiciones del riesgo en que se tenían, si Dios no existe no hay diferencia entre las dos alternativas, pero si Dios existe ser un cristiano es ampliamente mejor para el alma que ser un pagano. Estos planteamientos se sirven del principio de la dominancia; un soporte heurístico para la toma de decisiones bajo condiciones de riesgo e incertidumbre (Covello V.T., 1985).

Anteriormente todas las antiguas civilizaciones de América (Mayas, Aztecas e Incas) o China (Egipto y Mesopotamia), tenían presentes las situaciones de riesgo por inundaciones o deslizamientos y para prevenirlos o pronosticarlos realizaban sistemas de control y tenían criterios para poder reducir el impacto de estos sucesos ya sean naturales sociales.

Un claro ejemplo era el de los Egipcios, los cuales desarrollaron un sistema de predicción de hambrunas utilizando los niveles del agua en el Río Nilo, el historiador romano Plinio El Viejo narra que en alguna fecha o época del año los Egipcios dejaban marcas a la orilla del río y si se encontraban por debajo de ellas para el próximo año habría hambrunas, además de que otras marcas indicaban la escasez, la alegría por autosuficiencia y el placer por la abundancia. La gestión del riesgo en este caso era también una técnica de estimación de la superficie que sería inundada y fertilizada, utilizando esta herramienta como un análisis de riesgo que aplicaban en esa época. Sin embargo, la religión tuvo una gran influencia porque la relacionaban directamente con los fenómenos naturales, las pestes y otras crisis sociales, utilizando esta creencia durante varios siglos como designios divinos o de mala suerte. El riesgo a sufrir este tipo de desastres, normalmente estaban basadas en el sentido común, el saber tradicional de sus antepasados, el ensayo y el error, las creencias y la intuición de cada uno de los pobladores.

Kervem y Rubise (1991) distinguen en esa época tres periodos que caracterizaron al hombre como responsable del peligro, el primero llamado *la edad de sangre* que consistía en que el hombre tenía que ofrecer sacrificios a la divinidad para tranquilizar su temor; el segundo que era *la edad de las lágrimas* que con el desarrollo del Cristianismo tenían que realizar plegarias y procesiones de diversa índole; el tercero se dio a partir de 1755 y era

conocido como *la edad de las Neuronas*, esto sucedió cuando se produjo un terremoto en la ciudad de Lisboa y a partir de eso Rousseau confirmó que la culpa era de los habitantes porque los efectos fueron aterradores. Esta confirmación se utilizó como lo que se conoce hoy en francés, denominado *Cindynique*: que significa la ciencia del peligro (Soutadé 1998).

En la explicación de Aristóteles, la Tierra, que era naturalmente seca, se humedecía por razón de la lluvia, y calentada por el sol y por el fuego interior daba lugar a un soplo y exhalaciones que podían desplazarse hacia el exterior, originando el viento, o hacia el interior, dando lugar al temblor y produciendo consecuencias análogas a los estremecimientos y palpitaciones originados en el hombre por el soplo interior (Capel, 1980). Las ideas aristotélicas fueron tenidas en cuenta, de una manera o de otra, por todos los autores clásicos que trataron del tema; también fueron las dominantes durante la Edad Media y se difundieron, entre otras, a través de la obra de Alberto Magno en el siglo XIII, llegando con todo su prestigio a la época renacentista (Rubiano, 2009).

A las explicaciones aristotélicas hay que unir la de la física reflejada en las cuestiones Naturales, de Séneca; en el libro VI, después de repasar las distintas interpretaciones que se habían dado sobre los orígenes del agua, el fuego, la tierra, el aire o una combinación de ellos y lo describe de la siguiente manera:

"La principal causa, pues, de los temblores de tierra es el viento, elemento móvil de suyo y que cambia de un lugar a otro y si una causa exterior le agita y le asendereada y le mete en lugar estrecho, conténtese por entonces en cederle el puesto, y vagabundea si se le consiente pero en cambio si se le quita la posibilidad de salir y halla resistencia en todos lados, entonces indócil rueda y brama en sus cárceles y hace mugir profundamente la montaña" (Capel, 1980).

La idea de un mundo planificado, sujeto a la intervención divina, la podemos encontrar también en los caldeos, egipcios y babilonios, que atribuían todo lo natural y sobrenatural al movimiento de las estrellas designado por Dios, sin distinguir las causas de los eventos que generaban desastre (Bennassar, 1996).

Como parte de este enfoque, algunos geógrafos consideran que La Iliada y La Odisea, de Homero (siglo IX a.C.) son de las primeras obras geográficas (Unwin, 1995). En ellas se ilustró sobre los lugares, sus peligros y las gentes. Posteriormente, con la exploración y

1.2.2. Época Prehispánica

En la época prehispánica se tomaron diferentes actitudes y acciones, de acuerdo a una concepción permeada por la religión politeísta y a un desarrollo económico basado principalmente en la agricultura dentro del área mesoamericana. En esta ubicación geográfica se presentaron frecuentes desastres asociados a fenómenos meteorológicos y geológicos, lo cual provocó la construcción de una organización social preocupada por situaciones calamitosas.

La población buscó hacerle frente a partir de varias medidas que consideraron preventivas o de respuesta. Sus acciones consistieron en la construcción de templos a diferentes dioses, sacrificios, ofrendas, penitencias y ceremonias rituales, cuando se pensaba que las hambrunas, esterilidad de la tierra y presencia de fenómenos meteorológicos eran castigos divinos que, en ocasiones, eran profetizados o pronosticados por los ancianos, como ocurrió con la sequía de 1333 en Tula Hidalgo (Ixtilxochitl, 1975, I: 531; apud, García, 2003, 1333:11). De sacrificios, cuando en 1506, Moctezuma decide asietear a un hombre con la intención de aplacar a los dioses, porque según señalaban los viejos, llevaban doscientos años que en el año 1 Conejo siembre tenían hambre (Códice Telleriano Remensis, IV lám. XXIV, véase Códice Vaticano A, 1964-1967, f.84; apud, García, 2003, 1506:104).

Imagen 7. Códice Telleriano Remensis



Fuente: Obtenida de www.famsi.org, Abril de 2017.

En una sociedad profundamente religiosa se implementaron estrategias de prevención o de mitigación de los desastres, ya fuera en forma de ofrendas a los dioses para calmar su ira, o con medidas de tipo ingenieril para evitar inundaciones. Los desastres ocuparon en este periodo una preocupación constante por parte de la población. Las altas jerarquías buscaron estrategias de control, almacenando granos o tratando de reducir las inundaciones, pues los desastres y las epidemias atentaban contra su propia estructura de poder, al tener que dejar partir a sus vasallos (Cortés, 2007).

En todos los pueblos indígenas de México, y aun fuera del país, existe el concepto de la inestabilidad del mundo. Tal como ahora nos revelas, el universo está destinado a desaparecer, y sólo nació después de varios ensayos infructuosos que terminaron en cataclismos.

El número cuatro domina toda la cosmología. Según los zuñis, una de las tribus de los indios pueblo, los hombres buscaron, en el principio de los tiempos, el centro del mundo, único punto estable del universo. Cuatro veces creyeron lograrlo, y cuatro veces los temblores de tierra los desalojaron de allí: tan solo al quinto intento encontraron el centro y la inestabilidad en el valle Zuñi. Creencias análogas, en que el número cuatro desempeña el mismo papel, se encuentran desde el norte de México, entre los tarahumaras, hasta el sur, entre los mayas-quichés, cuyo libro sagrado, el Popol Vuh, contiene la descripción de los cuatro mundos desaparecidos.

Los aztecas pensaban que la vida humana se extinguía periódicamente a causa de diferentes calamidades; a cada era o ciclo le denominaron “Sol”. El quinto Sol, el actual, cuyo signo era *nahui ollin* (cuatro movimientos) debería terminar a causa de un terremoto. Así, los aztecas pretendían retrasar el cataclismo que habría de poner fin al quinto Sol mediante *chalchihuatl*, el agua preciosa del sacrificio (Soustelle, 2012).

El sacrificio es un rito y como tal forma parte de una acción simbólica capaz de afectar al mundo sobrenatural, se ofrenda la vida por el bienestar de otra persona o de la sociedad al establecer un intercambio de energía con lo sobrenatural (Austin, 2005).

Si la práctica del sacrificio humano estuvo tan difundida en el mundo antiguo, incluida Mesoamérica, cabría preguntarse por qué el estereotipo se aplica casi exclusivamente a los mexicas. Obviamente, existen otras vías mucho más rigurosas para aproximarse a un fenómeno tan complejo y con implicaciones económicas, políticas, religiosas, éticas, etc. Los dioses, conforme transitaban y actuaban en el mundo, se fatigaban y perdían paulatinamente su poder. Para recuperar sus fuerzas, debían alimentarse. Por dicha razón crearon a los seres humanos, criaturas que estaban obligadas a rendirles culto y darles de comer con ofrendas y sacrificios.

La relación entre seres humanos y dioses era recíproca. Los seres humanos se sentían beneficiarios de los favores divinos en sus diarias faenas y, en general, en todos los momentos importantes de su existencia; recibían con gratitud la lluvia, la fertilidad de la tierra, la salud, su propio poder reproductivo, el éxito en la guerra, etcétera. Por ello, los fieles se veían en la obligación de entregar ofrendas y sacrificios a los dioses para retribuir sus dones, para propiciarlos o para aplacar su ira. Los obsequiaban con el aroma de las flores y el incienso, con el humo del tabaco y las primicias de las cosechas, y con la sangre y la carne que los reavivaba. Los seres humanos cumplían así con un eterno intercambio, impidiendo que se interrumpieran los ciclos, que cesaran el curso del Sol, el flujo del tiempo, la sucesión de la vida y de la muerte (Austin, 2005).

Imagen 8. Sacrificio por extracción de corazón. Códice Magliabechiano



Fuente: Obtenida revista de Arqueología Mexicana del 02 de Mayo de 2017

1.2.3. La Visión Colonial y Moderna

La llegada de los españoles a América trajo sed de riquezas, nuevas formas de dominación y explotación, la unificación de una enorme diversidad de grupos étnicos, con un rico bagaje cultural, bajo el dominio de la corona europea. La simplificación y anulación de las diferentes expresiones étnicas bajo una misma categoría, la de “indios”. Trajo también una nueva religión y un etnocidio dado por las modalidades en las formas de explotación, así como la llegada de nuevas enfermedades y epidemias.

La estructura de poder en la Nueva España se sustentó sobre una base social y política, cuya característica fue el poder monárquico en España, así como el predominio de una sociedad agraria, característica de una cultura barroca y que en la Ciudad de México se integró por los poderes del virrey, audiencia e iglesia que formaron una estructura jerárquica de relaciones políticas. La mayoría de la población vivía en el campo y los pocos ricos provenían de puestos burocráticos, comercio y de sus propiedades territoriales (Villar, 1996).

A lo anterior se suma una larga lista de desastres asociados a fenómenos meteorológicos y geológicos que influyeron para que se escribieran bandos y decretos por parte de las autoridades para enfrentar los desastres en los cuales no tenían experiencia. En la Nueva España existían algunos desastres asociados con fenómenos naturales que no ocurrían en España, como los huracanes y maremotos. Ante estas nuevas manifestaciones, los españoles recurrieron frecuentemente a la abogacía de los santos, para que intercedieran por ellos ante su dios. Una nueva forma de ver los desastres se construyó en esos siglos y por tanto surgieron nuevas formas de prevención y acciones para enfrentarlos. Desde entonces, los desastres fueron vistos parcialmente y solo se consideró al fenómeno natural como una expresión del poder divino.

Con la Colonia, las relaciones productivas que se construyeron, junto con la nueva religión y mentalidad en general, cambió sustancialmente, aunque los castigos del nuevo dios católico se relacionaron también con el mal comportamiento de los hombres (Cortés, 2007).

La nueva concepción religiosa tenía diferencias con respecto a las que la antecedieron, pues presenta al mundo:

“Como una realidad creada; no posee, por tanto carácter sagrado ni trascendente. El sol, la luna y las estrellas no son dioses o semidioses, como lo eran en otras religiones y/o culturas; son creación de Dios. Ni Dios ni el ser humano son parte de la naturaleza. La naturaleza no domina, cual destino fatal, la vida humana, ni influye en la voluntad divina. Los cuerpos celestes no son objeto de culto. El Dios creador no se confunde con la creación, ni se diluye en ella, ni se mueve en el horizonte de los procesos naturales, sino que mantiene su independencia, autonomía y trascendencia” (Tamayo, 2004).

Los españoles adjudicaron los primeros grandes desastres agrícolas, las grandes tormentas y las enfermedades traídas en forma de epidemias como un castigo a los “naturales” y muestra del gran poder divino. Ellos mismos estaban asombrados de las manifestaciones de la naturaleza en el continente.

En 1537, Fray Juan Bautista Moya fue protagonista de un “huracán” (posiblemente un tornado):

“Quiso el señor confirmar la predicación de su misionero con hechos prodigiosos, a fin de que hiciese mayor fruto entre aquellos indígenas algo refractarios a la nueva religión. Fue el primero un milagro en que mostró su dominio sobre la naturaleza. Una tempestad aterradora se desató sobre el poblado de Tlapa [Guerrero]. El huracán azotaba los campos y las cabañas como un látigo gigantesco; los árboles caían arrancados de cuajo y arrastrados por la furia del vendaval; el granizo destrozaba sin piedad los sembrados de maíz [...] los cielos –llovían rayos por gotas de agua; para mayor espanto, los terremotos se sucedían con breves intervalos” (Virginia García Acosta, 2003).

Al considerar que la causa de la calamidad era de origen divino, tanto las autoridades civiles como eclesiásticas decretaron acciones encaminadas en esa dirección, de tal manera que las medidas estaban dirigidas a misas, procesiones, rogativas, plegarias, etc.; ya sea para pedir agua o por exceso de la misma y, dependiendo del tipo de manifestación, la preocupación se encaminaba a las rogativas a diferentes santos de acuerdo con su devoción. Las procesiones, novenarios y rogativas con los santos de su devoción eran imprescindibles. Las imágenes de los santos fueron sacadas de los templos una y otra ocasión cada vez que había preocupación o “necesidad” de sus habitantes.

El siguiente cuadro muestra las acciones preventivas y de mitigación de tipo religioso contra las calamidades públicas. La virgen de los Remedios fue muy socorrida en esta época. Desde 1575 se le veneró con ritos asociados a sequías y epidemias, por lo que debido a su intersección, el gobierno acordó nombrar la patrona de la Ciudad (Cortés, 2007).

Imagen 9. Procesión al Exvoto novohispano a la Virgen de los Remedios



Fuente: Museo regional de Puebla, Puebla.

Durante la Colonia, los desastres, aunque devastadores, no atentaron contra el régimen, como en algunos reinados de la época prehispánica. Pero sí ocasionaban la pérdida de recursos e ingresos al grupo hegemónico local y a la Corona, además de una importante inestabilidad, que las autoridades enfrentaron con el escrito de bandos, decretos y represión para evitar la migración y la pérdida de su fuerza de trabajo, por desnutrición, sobre explotación, hambre o enfermedad.

El concepto de prevención no es como lo entendemos en la actualidad, tenía un sesgo religioso, sólo dios podía terminar con la calamidad. De cualquier manera, la implementación de algunas medidas como la limpieza de las acequias para evitar posibles inundaciones o las grandes obras hidráulicas en la Ciudad de México y Michoacán, mencionadas anteriormente (Cortés, 2007).

1.3. Los tres enfoques del riesgo

La definición de términos y conceptos es un paso fundamental y una influencia dominante en la organización del pensamiento y, por consiguiente, en la dirección de la investigación y la aplicación sobre los riesgos (Lavell, 1992).

La investigación sobre los desastres y los riesgos aún ha de producir un cuerpo de teoría y terminología sólido y de amplia aceptación. Como tal, tanto los conceptos como sus significados reflejan diferentes perspectivas y enfoques hacia el riesgo que han evolucionado mediante los años bajo la influencia de diferentes disciplinas académicas.

En la teoría sobre los desastres y los riesgos, se han incorporado gradualmente los aportes de las ciencias naturales, aplicadas y sociales, hasta llegar a modelos y conceptos más complejos y holísticos. Estos enfoques influyen decisivamente en las estructuras y estrategias creadas para la gestión de los riesgos en América Latina, en la conceptualización y aplicación del análisis de riesgos en el contexto de tales estructuras y estrategias, y en el diseño de aplicaciones de SIG para el análisis de riesgos (Maskrey, 1998).

1.3.1. Enfoque de las Ciencias Naturales

El primer período de investigación sobre el riesgo fue dominado por los aportes de las ciencias naturales. Se consideraba a los desastres como sinónimos de eventos físicos extremos, denominados desastres naturales. En su versión menos sofisticada, lo que podríamos llamar el enfoque de las ciencias naturales, postulaba que un terremoto, erupción volcánica, huracán u otro evento extremo era de por sí un desastre.

Como resultado, la magnitud de un desastre fue considerada como función de la severidad, magnitud e intensidad del evento físico (Lavell, 1992). Como consecuencia, la investigación de los desastres se centraba en el estudio de los procesos geológicos, meteorológicos, hidrológicos y otros procesos naturales que generan amenazas naturales, un término utilizado para describir la probabilidad de ocurrencia de un evento físico extremo en un lugar y período determinados.

La investigación sobre el riesgo se centraba en la ubicación y distribución espacial de las amenazas, su frecuencia y periodicidad temporal, y su magnitud e intensidad. Este enfoque elude cuestiones de responsabilidad social o política para los riesgos, mediante la categorización de los desastres como 'actos de Dios' o, si no, como productos inevitables de fuerzas naturales extremas. La semiótica del enfoque está poblada por imágenes de fenómenos naturales imponentes e incontrolables. Mediante la conceptualización de los desastres como eventos inevitables, no previsibles y extremos que interrumpen procesos políticos, sociales y económicos "normales", el enfoque difunde una visión de los desastres como eventos discretos, fundamentalmente desconectados de la sociedad (Maskrey, 1998).

1.3.2. Enfoque de las Ciencias Sociales

El enfoque de las ciencias aplicadas representó un cambio en el énfasis del estudio de las amenazas hacia el estudio de sus impactos y efectos. Un segundo cambio de énfasis se produjo en los años 70, cuando científicos sociales empezaron a cuestionar muchos de los supuestos implícitos en el enfoque de las ciencias aplicadas acerca de la vulnerabilidad.

La investigación sobre el impacto social de las amenazas enfocó, en particular, cambios en los patrones de interacción social a diferentes niveles: el individuo, la familia, la comunidad y la sociedad más amplia (Drabek, 1986). Sin embargo, es cuestionable hasta qué punto la investigación sociológica norteamericana representaba una ruptura con el enfoque de las ciencias aplicadas, en la medida que consideraba que los eventos extremos causan diferentes tipos de cambio y disrupción en estructuras sociales normales, en el contexto de un sistema o subsistema social determinado, implicando que, al igual que en las ciencias ingenieriles, los desastres se catalogan como eventos sociales anormales.

Mediante esta radical redefinición de la vulnerabilidad como una condición socialmente producida, la magnitud de un desastre dejó de ser considerada como función de las pérdidas y daños ocasionados por un evento extremo; considerándose como función de los procesos en la economía política que generan la vulnerabilidad, empujando la responsabilidad para la ocurrencia de los desastres hacia el centro del ámbito político, económico y social (Hewitt, 1983).

El enfoque social redefinió a los desastres como problemas no resueltos del desarrollo (Wijkman, Timberlake, 1984) o como períodos de crisis en el marco de procesos sociales preexistentes en una sociedad (Lavell, 1992). Los desastres empezaron a identificarse tanto con los patrones de vulnerabilidad como con los patrones de amenaza; mientras que los patrones de vulnerabilidad, a su vez, se asociaban con determinados procesos históricos de cambio social (Maskrey, 1998).

1.3.3. Enfoque de las Ciencias Aplicadas

Una vez que la investigación se amplió hacia el estudio de las pérdidas y daños asociados con diferentes amenazas, surgió el concepto de que la magnitud de un desastre o del riesgo no fuera necesariamente función de la magnitud de la amenaza. Un ejemplo, ya hecho popular en la literatura, es que un terremoto de gran magnitud no necesariamente causaría un desastre si es que ocurriera en un desierto no habitado. Excluyendo posibles modificaciones al paisaje del desierto, no existiría un impacto físico, económico o social medible del sismo. Por lo tanto, bajo la influencia de ciencias aplicadas, como la ingeniería, se postuló que para producirse un desastre tiene que haber un impacto medible en el medio ambiente, sociedad o economía donde se manifiesta la amenaza.

La investigación, por lo tanto, dio un salto importante, del concepto que sostenía que los riesgos son sinónimos de las amenazas, hasta el concepto de que los desastres están estrechamente relacionados con los impactos producidos por eventos físicos extremos. Se empezó a considerar a los eventos extremos como los catalizadores que transforman una condición vulnerable en desastre (Cuny, 1983). Otros definieron a desastre como un evento no esperado, que causa alteraciones intensas a elementos expuestos; por ejemplo, la muerte, daños a la infraestructura o cambios ambientales (Cardona, 1992).

Como tal, el objetivo social de muchas investigaciones de las ciencias aplicadas ha sido el diseño de medidas estructurales y otro tipo para mitigar las pérdidas causadas por eventos extremos y, por ende, lograr que la sociedad sea segura (Maskrey, 1998).

1.4 La gestión global del riesgo; de lo global a lo local

La Gestión del Riesgo de Desastre definida de forma genérica, se refiere a un proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles. Admite, en principio, distintos niveles de coordinación e intervención que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar.

Al tratar los niveles territoriales de intervención en la problemática del riesgo, el nivel local ha recibido bastante atención. Sin embargo, ha existido la tendencia de considerar o reducir la noción de lo local al nivel administrativo político dado por las municipalidades. En consecuencia en hablar de gestión local de riesgo, muchas veces estaríamos hablando, más exactamente, de la gestión municipal. Este reduccionismo pragmática dista de ser conveniente desde la perspectiva analítica y de intervención en vista de que, por una parte, lo local no puede reducirse a lo municipal, mientras a la vez el riesgo en su proceso de construcción no toma como punto de referencia ni de articulación absoluta el nivel local o municipal, aunque los daños y pérdidas asociados con los desastres se expresan y la atención inmediata y la reconstrucción mejor se manejan con impulso y coordinación en estos niveles.

Los ámbitos en que se expresa o se concreta el riesgo, y los actores que participan o deberían participar en su gestión, son numerosos y diversos; comprenden distintos sectores económicos y sociales, territorios de distinta complejidad y magnitud, familias e individuos.

Durante los últimos años, se ha dado atención particular a los niveles “locales”, de tal manera que hoy en día es común hablar de la gestión local del riesgo. No obstante, la gestión local constituye tan solo un nivel de la gestión del riesgo vista desde una perspectiva integral, la cual debe llevarse a la práctica en distintas escalas territoriales y sociales, las cuales deberían integrarse y armonizarse de forma tal que se apoyen mutuamente (Lavell, 2003).

1.4.1 Los Marcos de Acción de YOKOHAMA, HYOGO Y SENDAI

A) PLAN DE YOKOHAMA

La Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales que se llevó a cabo en la ciudad de Yokohama, Japón, los días 23 al 27 de mayo de 1994, reconoce que las pérdidas económicas y de vidas humanas, están en rápido aumento y en todo el mundo, debido a los desastres naturales.

- Hace un llamamiento al mundo para que, al llegar a la mitad del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales y en vista de las pérdidas de vidas humanas y los daños cada vez mayores que causan las catástrofes y animado de un nuevo espíritu de colaboración para construir un mundo más seguro, basado en el interés común, la igualdad soberana y la responsabilidad común de salvar vidas humanas y proteger los recursos humanos y naturales, el ecosistema y el patrimonio cultural, reafirme su compromiso de transformar, mediante actividades en los planos nacional, regional e internacional el marco internacional de acción para el Decenio en un resuelto plan de acción intersectorial.
- Invita a todos los países a proteger al ser humano del daño físico y los traumas, proteger los bienes y contribuir a velar por el progreso y la estabilidad, reconociendo en general que incumbe a cada país la responsabilidad primordial de proteger a su propio pueblo, así como de proteger su infraestructura y otros bienes nacionales de los efectos de los desastres naturales y aceptando al mismo tiempo que, en el contexto de una interdependencia mundial cada vez mayor, para que la acción nacional culmine con éxito son indispensables la cooperación internacional concertada y un entorno internacional propicio.
- Adopta los Principios, la Estrategia y el Plan de Acción que se enuncian a continuación:

1. La evaluación del riesgo es un paso indispensable para la adopción de una política y de medidas apropiadas y positivas para la reducción de desastres.

2. La prevención de desastres y la preparación para casos de desastre revisten importancia fundamental para reducir la necesidad de socorro en casos de desastre.

3. La prevención de desastres y la preparación para casos de desastre deben considerarse aspectos integrales de la política y la planificación del desarrollo en los planos nacional, regional, bilateral, multilateral e internacional.
4. El establecimiento y la consolidación de la capacidad para prevenir y reducir desastres y mitigar sus efectos constituyen una cuestión de suma prioridad que hay que tener en cuenta en el Decenio a fin de sentar una base sólida para las actividades posteriores a éste.
5. La alerta temprana de desastres inminentes y la difusión efectiva de la información correspondiente mediante las telecomunicaciones, inclusive los servicios de radiodifusión, son factores clave para prevenir con éxito los desastres y prepararse bien para ellos.
6. Las medidas preventivas son más eficaces cuando entrañan la participación en todos los planos, desde la comunidad local hasta los planos regional e internacional, pasando por los gobiernos de los países.
7. La vulnerabilidad puede reducirse mediante la aplicación de métodos apropiados de diseño y unos modelos de desarrollo orientados a los grupos beneficiarios, mediante el suministro de educación y capacitación adecuadas a toda la comunidad.
8. La comunidad internacional reconoce la necesidad de compartir la tecnología requerida para prevenir y reducir los desastres y para mitigar sus efectos; esta tecnología debería suministrarse libremente y en forma oportuna como parte integrante de la cooperación técnica.
9. La protección del medio ambiente como componente de un desarrollo sostenible que sea acorde con la acción paliativa de la pobreza es esencial para prevenir los desastres naturales y mitigar sus efectos.

Recalcando la necesidad de que el sistema de las Naciones Unidas preste especial atención a los países en desarrollo menos adelantados, a los países en desarrollo sin litoral y a los pequeños Estados insulares en desarrollo y recordando en este contexto que en el Documento Final de la Primera Conferencia Mundial para el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (ONU, 1994).

B) MARCO DE HYOGO (2005 – 2015).

Este es el instrumento más importante para la implementación de la reducción del riesgo del desastre que adoptaron los Estados miembros de las Naciones Unidas.

En el año 2005, la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres celebrada en Kobe, Hyogo (Japón), aprobó el Marco de Acción 2005-2015 denominado “Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres”. Este marco de acción identifica la educación como un aspecto fundamental en la creación de una cultura de seguridad y resiliencia a todo nivel, y propone, entre otras cosas, “promover la inclusión de nociones de gestión del riesgo de desastre en las secciones pertinentes de los programas de estudio escolares en todos los niveles”. Igualmente, propone programas de evaluación de riesgos y preparativos en caso de desastre en las escuelas, garantizando la igualdad de acceso de mujeres y los grupos vulnerables a oportunidades de formación y la educación en los aspectos de género y cultura, como parte integrante para la reducción del riesgo de desastre, poniendo especial énfasis en el “aprendizaje del entorno”.

Las áreas prioritarias para la toma de acciones en la gestión del riesgo en el marco de esta ley son:

1. Garantizar que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad nacional y local con una verdadera base institucional.
2. Identificar, evaluar y monitorear los riesgos de desastres y potenciar la alerta temprana.
3. Utilizar los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear una cultura de prevención y resiliencia a todo nivel.
4. Reducir los factores de riesgo subyacentes.
5. Fortalecer la preparación para casos de desastres a fin de lograr una respuesta eficaz (Colindres, 2012).

C) MARCO DE SENDAI PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2015 – 2030.

El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 se adoptó en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015. Siendo este el resultado de una serie de consultas entre las partes interesadas que se iniciaron en marzo de 2012 y de las negociaciones intergubernamentales que tuvieron lugar entre julio de 2014 y marzo de 2015, con el apoyo de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, a petición de la Asamblea General de las Naciones Unidas.

El Marco de Sendai es el instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, este Marco se basa en elementos que garantizan la continuidad del trabajo hecho por los Estados y otras partes interesadas en relación con el Marco de Acción de Hyogo, y presenta una serie de innovaciones que se solicitaron durante las consultas y las negociaciones.

Muchos comentaristas han indicado que los cambios más importantes son el marcado énfasis puesto en la gestión del riesgo de desastres en lugar de en la gestión de desastres, la definición de siete objetivos mundiales, la reducción del riesgo de desastres como resultado esperado, un objetivo centrado en evitar que se produzcan nuevos riesgos, la reducción del riesgo existente y reforzar la resiliencia, así como un conjunto de principios rectores, incluida la responsabilidad primordial de los Estados de prevenir y reducir el riesgo de desastres, y la participación de toda la sociedad y todas las instituciones del Estado.

Además, el alcance de la reducción del riesgo de desastres se ha ampliado considerablemente para centrarse tanto en las amenazas naturales como de origen humano, así como en las amenazas y los riesgos ambientales, tecnológicos y biológicos conexos. Se promueve plenamente la resiliencia sanitaria (Wahlstrom, 2015).

1.4.2 La Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo, como concepto central de la discusión en torno a la intervención en el riesgo y desastre, data esencialmente de la última mitad de los años noventa del siglo pasado y, desde entonces, ha reemplazado en muchos lugares las nociones de manejo, gestión o administración de desastres, tan comunes desde los años sesenta en adelante.

El mero cambio de terminología, sin entrar en el fondo de las distinciones sustanciales, ilustra cómo el eje de análisis y preocupación ha pasado del desastre mismo (el daño y la pérdida) hacia el riesgo, la potencialidad de daño y pérdida, con lo cual se abrió espacio para mayores consideraciones sobre los procesos de prevención y mitigación del riesgo, a diferencia de la respuesta a desastres ya ocurridos y los procesos posteriores de reconstrucción (Lizardo Narváez, 2009).

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse. El riesgo es una función de dos variables: la amenaza y la vulnerabilidad. Ambas son condiciones necesarias para expresar al riesgo, el cual se define como la probabilidad de pérdidas, en un punto geográfico definido y dentro de un tiempo específico. Mientras que los sucesos naturales no son siempre controlables, la vulnerabilidad sí lo es.

El enfoque integral de la gestión del riesgo pone énfasis en las medidas ex-ante y ex-post y depende esencialmente de: (a) la identificación y análisis del riesgo; (b) la concepción y aplicación de medidas de prevención y mitigación; (c) la protección financiera mediante la transferencia o retención del riesgo; y (d) los preparativos y acciones para las fases posteriores de atención, rehabilitación y reconstrucción (Kari Keipi, 2005).

Los daños causados por los procesos naturales se ven agravados por factores antropogénicos: la deforestación, el sobrepastoreo, la alteración de los lechos fluviales, la agricultura no tecnificada en laderas, la expansión urbana e infraestructura caóticas y la inadecuada utilización del espacio, (Mora, 1995; Mora y Barrios, 2000).

1.4.2.1. Gestión Local del Riesgo

La gestión local del riesgo tiene, entre sus razones y fundamentos, el hecho evidenciado de que, en caso de cualquier tipo de desastre, quienes reaccionan en primer lugar y conocen mejor sus amenazas son los pobladores y autoridades locales. Además, son los más interesados en promover su propio desarrollo y bienestar.

Los actores institucionales, sectoriales y comunitarios deben concertar esfuerzos bajo la coordinación de comisiones municipales para la gestión del ambiente y del riesgo, y canalizar las acciones. La capacitación en todos los aspectos de la gestión del riesgo, el fortalecimiento de las capacidades técnicas sectoriales en el ámbito local, sobre todo aquellas en que los municipios tienen responsabilidades y autoridad (servicios básicos, infraestructura, vialidad, administración de recursos) permitirían determinar y dar seguimiento a las amenazas, la vulnerabilidad y la zonificación de las áreas peligrosas.

Los productos (mapas, cálculos, textos) reflejarán los escenarios y mecanismos con que cuentan las comunidades para enfrentar las amenazas, lo cual constituye una herramienta analítica primaria para concebir y desarrollar, dentro el proceso estratégico de desarrollo regional y municipal, el análisis del riesgo y un plan de acción para su reducción. El proceso municipal deberá incluir propuestas para incorporar partidas presupuestarias que incluyan la gestión del riesgo de manera transversal a través de proyectos específicos, a fin de reducir la vulnerabilidad y asegurar las acciones de respuesta a las emergencias.

Para garantizar la participación activa de la población deben crearse estructuras locales de consulta y consenso. De esta manera puede desarrollarse su capacidad para determinar las necesidades propias, con criterios, conocimiento y soluciones locales. Considerando que el impacto de los desastres no necesariamente se limita a las jurisdicciones administrativas, sino que puede cubrir cuencas y áreas geográficas más extensas, es importante fortalecer las capacidades locales dentro del contexto regional.

La descentralización de la gestión requerirá de capacidad institucional local. No es conveniente trasladar responsabilidades a los gobiernos locales sin que exista una estrategia definida, suficientes recursos, preparación y capacidad gerencial (Kari Keipi, 2005).

1.4.2.2. La Gestión Reactiva

La gestión “reactiva o compensatoria”, que pretende reducir los niveles existentes de riesgo, se enfrenta a una tarea de enormes proporciones. Es precisamente la magnitud del riesgo existente lo que ayuda a explicar la falta de políticas por parte de los Estados a favor de su reducción, si se tiene en cuenta que ésta se asocia con la idea de altas inversiones en soluciones, con poco retorno económico medible en el corto plazo o dentro de los períodos de ejercicio de los gobiernos.

El traslado de los cientos o miles de comunidades en riesgo, la recuperación de las cuencas degradadas, la reestructuración de las edificaciones vulnerables, la canalización y dragado continuo de ríos, la construcción y mantenimiento de diques y paredes de retención, y otros múltiples mecanismos de reducción de riesgo acompañados por los procesos de capacitación, participación, consenso y concertación necesarios son considerados como costos exorbitantes y fuera del alcance de los gobiernos y de la población misma, con la excepción de aquellos más solventes económicamente o más dispuestos anímicamente.

La gestión de riesgo ofrece una oportunidad de enfrentar el riesgo existente sin pretender eliminarlo de forma total, lo que sería ilusorio como meta. Sin embargo, sí es posible llegar a un estado en que el riesgo sea más manejable dentro de los parámetros de la aceptabilidad y los recursos disponibles a los gobiernos, comunidades, municipalidades, empresas, familias u otros actores sociales que generan o sufren riesgo. El aumento de la conciencia, la educación, la capacitación; el mejoramiento de los sistemas de información, previsión y pronóstico, de alerta temprana y de evacuación; la recuperación de cuencas y pendientes, la limpieza de canales, calles y alcantarillados, entre otras múltiples actividades, no deben tener necesariamente un costo inalcanzable, especialmente si se realizan con la plena conciencia y participación de los grupos sociales vulnerables.

Finalmente, es necesario reconocer que con el impacto de un evento físico y la concreción de una condición de desastre, como la provocada por el huracán Mitch, el riesgo preexistente que se revela en ese proceso se transforma, y las operaciones de emergencia se convierten en nuevas modalidades de gestión de riesgo en la medida en que buscan garantizar la seguridad de los pobladores afectados (Kari Keipi, 2005).

1.4.2.3 La Gestión Prospectiva

Si bien es cierto que el riesgo existente representa un desafío de enormes proporciones, el posible riesgo futuro constituye un reto insoslayable e impostergable. El crecimiento poblacional y económico combinado con la persistencia de múltiples amenazas ya existentes y otras nuevas que se construyen en el entorno de la sociedad moderna y sus nuevas tecnologías, muestran un futuro poco optimista si los procesos históricos y actuales no se modifican de forma dramática.

El control del riesgo futuro es, aparentemente, menos oneroso en términos económicos y sociales que la reducción del riesgo existente, dado que no depende de revertir procesos negativos ya consolidados en el tiempo y el espacio, sino más bien de normar y controlar nuevos desarrollos. Sin embargo, se requiere de una fuerte voluntad política, así como de un alto grado de conciencia, preocupación y compromiso con la reducción del riesgo por parte de todos los actores sociales, incluyendo el Gobierno y la sociedad civil.

Aquí es importante anotar que los esfuerzos por reducir el riesgo implementados por un actor social podrían verse anulados por las acciones de otros, situación que exige concertación y comunidad de objetivos entre los distintos actores presentes en un mismo escenario territorial.

Los mecanismos más importantes para ejercer un control sobre el riesgo futuro, que deben reforzarse mutuamente y no ser considerados como casillas independientes, pueden resumirse de la siguiente forma:

- a. La introducción de normatividad y metodologías que garanticen que todo proyecto de inversión analice sus implicaciones en términos de riesgo nuevo y diseñe los métodos pertinentes para mantener el riesgo en un nivel socialmente aceptable.
- b. Crear normativas sobre el uso del suelo urbano y rural que garanticen la seguridad de las inversiones y de las personas, además de ser factibles y realistas en términos de su implementación. Para esto son claves los planes de ordenamiento territorial.
- c. La búsqueda de usos productivos alternativos para terrenos peligrosos, como pueden ser el uso recreacional y para agricultura urbana dentro de las ciudades (Rodríguez, 2003).

1.4.3. La Gestión del Riesgo en México

En México, la preocupación sobre el cambio climático y los desastres de origen hidrometeorológicos ha ido en aumento sobre todo a partir de las devastadoras inundaciones ocurridas en los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz y Yucatán (2008 a 2005), pero también debido a las potenciales afectaciones que más regiones del territorio nacional podrían sufrir en un futuro próximo debido a la amenaza de huracanes y lluvias torrenciales. Esta preocupación puede entenderse, entre otras razones, por la creciente influencia que el discurso ambiental global está teniendo en el diseño e implementación de las políticas nacionales de desarrollo, en particular el discurso del cambio climático sobre la política ambiental mexicana.

Esto se ha reflejado, entre otras cosas, en el interés que el gobierno mexicano ha puesto en enfrentar el cambio climático y los desastres derivados de él, tanto al continuar fortaleciendo el Sistema Nacional de Protección Civil y tratar de convertirlo en un sistema más preventivo que reactivo, así como al impulsar una Estrategia Nacional de Cambio Climático (2007) y un Programa Especial de Cambio Climático (2009) que buscan articular diferentes dimensiones de la gestión pública como son la económica, social y política en aras de contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Sin embargo, se puede decir que existe una falta de comunicación entre ambas agendas públicas, en gran medida debido a que la comunidad del cambio climático (CCC) y la comunidad de la gestión de los desastres (CGD) han permanecido aisladas y desvinculadas entre sí (Durán, 2010). Esto puede explicarse por tres hechos:

1) Los contextos en los cuales surgieron tales comunidades fueron diferentes; la

CGD nace en México en (1986) como una reacción a la falta de un sistema de protección civil que ordenara una pronta respuesta para mitigar los efectos de los devastadores sismos ocurridos en la Ciudad de México en 1985, mientras que la CCC es más reciente (años 90's) y surge en un contexto global de cumplimiento de metas y responsabilidades compartidas en un régimen internacional de gobernabilidad de los bienes ambientales globales. Hasta ahora la CGD ha tenido un carácter más local mientras que la CCC ha sido global y nacional.

2) La fragmentación institucional existente en México impide que la mitigación y adaptación al cambio climático se perciban como asuntos que atraviesan la política de desarrollo por lo que se ven casi exclusivamente como temas técnico-ambientales o energéticos; esta fragmentación también hace que la prevención de desastres se conciba meramente como una tarea de protección civil, de ayuda humanitaria emergencia y de mitigación de daños. Esto hace que cada comunidad responda a diferentes necesidades y por ende esté compuesta por distintos grupos de interés. Así, en el plano institucional, las acciones de política de la CCC y CGD están siendo coordinadas por Secretarías separadas; la primera por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la segunda por la Secretaría de Gobernación (SEGOB).

3) Tal desvinculación se da también en el plano teórico y epistemológico ya que ambas comunidades de política pública conceptualizan las amenazas naturales, el riesgo y la vulnerabilidad de distinta manera; es decir, la construcción y tipo de de problemas, el tipo de conocimiento, su uso y destino para resolverlos difiere, por lo que en consecuencia las medidas y respuestas de política pública no necesariamente convergen en objetivos comunes o complementarios. En pocas palabras, poseen distintos valores de política pública.

Sin embargo, en México, hoy por hoy, no está del todo claro de qué manera los distintos sectores de la gestión pública pueden contribuir a enfrentar de manera sincrónica los retos que el cambio climático global impone. Su participación representa un asunto fundamental más aun cuando estos retos se han convertido ya en problemas de gobernabilidad y seguridad nacional.

Es por esto que se torna urgente cada vez más desarrollar marcos de referencia que ayuden a articular conceptual y metodológicamente las dos comunidades ya referidas y por ende reformular y re-organizar la toma de decisiones. Para tal efecto es necesario primero identificar y conocer los obstáculos existentes para posteriormente pensar en posibilidades de articulación (Durán, 2010).

1.4.3.1. CENAPRED México

Debido a las consecuencias catastróficas del sismo de 1985, en México surgieron diversas iniciativas para crear una institución que estudiara los aspectos técnicos de la prevención de desastres. Por un lado, el Gobierno Federal emprendió la tarea de establecer el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC). Por otra parte, el Gobierno de Japón ofertó su apoyo para mejorar los conocimientos existentes en relación con la prevención de desastres sísmicos. Finalmente, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) decidió impulsar a su personal académico de alto nivel para que se dedicara a actividades de investigación y desarrollo en prevención de desastres.

Las actuales instalaciones del CENAPRED fueron inauguradas el 11 de mayo de 1990.

La responsabilidad principal del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) consiste en apoyar al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en los requerimientos técnicos que su operación demanda.

Realiza actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

En el marco del SINAPROC, su principal objetivo es: "Promover la aplicación de las tecnologías para la prevención y mitigación de desastres; impartir capacitación profesional y técnica sobre la materia, y difundir medidas de preparación y autoprotección entre la sociedad mexicana expuesta a la contingencia de un desastre".

Y su misión como tal es prevenir, alertar y fomentar la cultura de autoprotección para reducir el riesgo de la población ante fenómenos naturales y antropogénicos que amenacen sus vidas, bienes y entorno a través de la investigación, monitoreo, capacitación y difusión (CENAPRED, 2017).

1.4.3.2. Plan Institucional Frente a Emergencias y Desastres en México

En México la seguridad social tiene por finalidad garantizar el derecho a la salud, la asistencia médica, la protección de los medios de subsistencia y los servicios sociales necesarios para el bienestar individual y colectivo. El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) es el instrumento básico de la seguridad social y representa junto al programa IMSS prospera más del 60% de la atención médica otorgada a nivel nacional. Es por esto, que la suspensión de sus actividades asistenciales podría condicionar graves problemas sociales en el país.

El desarrollo de un plan efectivo, para enfrentar situaciones de emergencia o de desastre que podrían tener un impacto significativo en la operación habitual de las distintas áreas del IMSS, representa uno de los retos de mayor trascendencia, en materia de prevención, actuación y restablecimiento de los servicios institucionales.

La actuación de las diferentes áreas del IMSS, después de una emergencia o desastre de gran magnitud, considerando las situaciones y condiciones más extremas que pudiésemos imaginar, requiere de un conjunto de acciones que deben ser previstas y comunicadas oportunamente a los responsables de tomar las decisiones necesarias, tanto para administrar el caos como para procurar el buen funcionamiento del Instituto.

Para planear este tipo de acciones de respuesta ante la crisis, se deben tomar en cuenta tres momentos o fases:

Fase 1.- Antes del evento: Acciones de preparación ante la existencia de un riesgo potencial. (Planeación, Preparación, Capacitación. Mitigación)

Fase 2.- Durante el evento: Acciones de resguardo, principalmente a la integridad física del personal en el momento en que ocurre o se materializa el evento y respuesta institucional acorde al evento.

Fase 3.- Después del evento: Acciones para valorar el impacto, para la recuperación, continuidad de operación y el restablecimiento de la normalidad (Gálvez, 2016).

1.4.4.2. Ley Número 455 de Protección Civil del Estado de Guerrero

La ley vigente de Protección Civil en el Estado de Guerrero, número 488, fue publicada en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado número 51 de fecha 25 de junio de 2002. Por otra parte, en el mes de junio de 2009 se reformó el Artículo 24 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Estatal, en el cual se establece que la Secretaría de Seguridad Pública y Protección Civil, tiene la conducción y ejercicio entre otras funciones, la de estructurar y desarrollar políticas públicas en materia de protección civil en el Estado.

Atento a lo anterior, con el propósito de adecuar y perfeccionar los instrumentos jurídicos de la protección civil en el Estado, así como para establecer reglas claras sobre su operación, acordes con la ubicación geográfica del Estado, en donde se registran con frecuencia fenómenos perturbadores que afectan o causan alarma en la población, se hace necesario crear un nuevo marco jurídico sobre la protección civil en el Estado, para estar en condiciones de hacer frente a esos fenómenos naturales o eventos destructivos y establecer las bases, para que la sociedad y sus autoridades actúen de manera oportuna y eficiente.

Se propone una nueva Ley de Protección Civil, en la que se fortalezca el Sistema Estatal de Protección Civil, con el fin de dotarlo de los instrumentos que permitan regular las acciones necesarias de protección civil, destinadas a la prevención, protección de la vida, la salud, los bienes materiales de las personas, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente, ante las amenazas u ocurrencias de fenómenos de carácter geológico, hidrometeorológicos, químico-tecnológico, sanitarioecológico y socio-organizativo.

En esta nueva Ley, se plantea como un aspecto fundamental de las atribuciones que se otorgan a las autoridades estatales y municipales de protección civil, el fomentar la cultura en esta materia entre la población, mediante su participación individual y colectiva; asimismo, las autoridades para cumplir con la finalidad de impulsar la cultura de protección civil podrán hacerlo a través de proyectos, estudios e inversiones necesarias para ampliar y modernizar las cobertura de los sistemas de medición de los distintos fenómenos perturbadores naturales y humanos que puedan provocar daños a la población (Civil P. , 2010).



Fuente: Obtenido de <http://perugrd.blogspot.com/2018/03/>

CAPÍTULO 2.

LOS PROCESOS DE REMOSIÓN EN
MASA: COMPONENTES,
CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS
PRINCIPALES

CAPÍTULO 2. LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA: COMPONENTES, CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS PRINCIPALES

Las autoridades de Protección Civil deben de tener una cuidadosa atención a los centros de población en varios estados de la República Mexicana porque con frecuencia se encuentran expuestos a la ocurrencia de movimientos repentinos con pendiente hacia debajo de masas de suelos y rocas en las laderas. La presencia de los deslizamientos que ocurren en estos lugares tiende a demostrar las situaciones en que se encuentran o exhiben manifestaciones en los cuales se señalan con claridad la ocurrencia futura en estos tipos de fenómenos geotécnicos. Para poder evaluar el riesgo por la ocurrencia de estos fenómenos es necesario diferenciar la amenaza y el peligro a la que se encuentre sometida la población de alguna ciudad; estableciendo la vulnerabilidad de esa población y la de sus propiedades o bienes comunes.

Para estimar el peligro a la inestabilidad de laderas existen factores internos y externos, en donde el primero (interno) es el que hace propicio del deslizamiento de una ladera y para el segundo (externo) tiene que ver con los aspectos que se disparan; es decir, se distinguen factores topográficos, históricos, geomorfológicos y ambientales, todos estos determinan el estado de una ladera (Morales, 1999).

Este capítulo tiene como objetivo definir los deslizamientos de laderas, analizar las características que lo componen y explicar los factores de riesgo producto del movimiento en masa antes mencionados para que al finalizar se pueda aportar un documento que sirva como una guía general para poder elaborar los mapas de peligros y riesgos ante la presencia de la inestabilidad de laderas, así como establecer los lineamientos y los criterios generales a seguir para evaluar el peligro de estos fenómenos geotécnicos.

Por lo tanto, se van plantear varios conceptos básicos sobre deslizamientos de masas de tierra, su clasificación y los factores detonantes de los mismos, así como características generales sobre sismología en los deslizamientos, en cuanto a la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y el riesgo como tal.

2.1 Los procesos de remoción en masa

Los sismos, erupciones volcánicas, huracanes, tsunamis y otros fenómenos naturales son considerados peligrosos debido a las diversas características de intensidad y frecuencia a la hora en que éstos se presentan, los cuales pueden causar daños en la estructura social de algún centro de población. Además de estos fenómenos mencionados se integran los procesos de remoción en masa, que desde un punto de vista geomorfológico en Ayala (2000), son fenómenos que se involucran en el movimiento de material formador de laderas por influencia de gravedad, sin la asistencia de algún agente de transporte fluido.

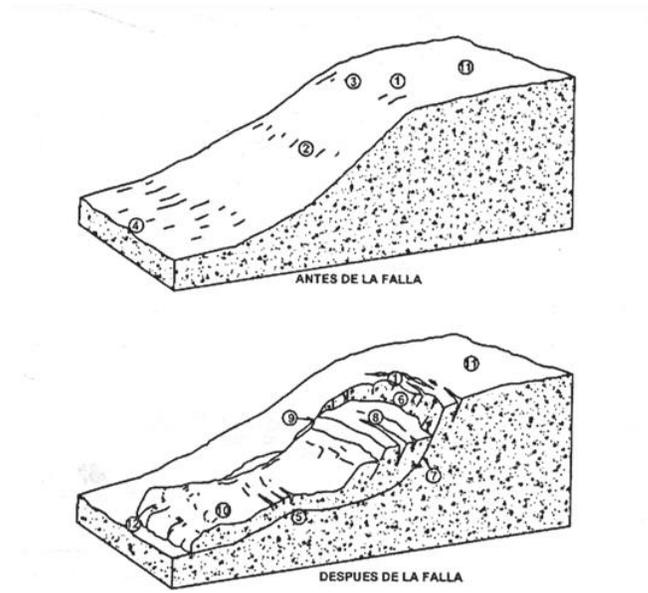
Por las características socioeconómicas de la población y por la nula planeación del crecimiento urbano, la presencia de asentamientos humanos irregulares en zonas de alto riesgo a deslizamientos es cada vez mayor en las ciudades que en combinación con la frecuente presencia de fenómenos naturales antes mencionados, es una combinación magnífica para los riesgos por procesos de laderas.

El interés de evitar la afectación de tales fenómenos en la sociedad radica en la importancia del estudio de los procesos de remoción en masa. La finalidad principal de este tipo de investigaciones debe considerar la interrelación que se presenta entre la actividad humana y la presencia de fenómenos gravitacionales, para que la población pueda prevenir o mitigar el riesgo a deslizamientos y evitar todo el daño posible a la estructura social y, principalmente a la vida humana (Baeza, 2003).

Los motivos por la cual una ladera se vuelve inestable es principalmente por cambios en el relieve, además de los factores internos y externos. Se refiere a cuestiones externas aquellas que aumentan el esfuerzo o la tensión, sin que al mismo tiempo crezca la resistencia de los materiales en la ladera y las causas externas tiene que ver con la disminución de resistencia en los materiales sin que se disminuyan las fuerzas externas (Alcántara, 2004).

Las características morfológicas que definen y clasifican estos procesos son mediante el tipo de movimiento que genera cada deslizamiento y las formas en que se originan, las cuales permanecen en la superficie del terreno durante y después del movimiento.

Imagen 10. Partes principales de un deslave.



Fuente: Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos, fenómenos geológicos, (CENAPRED, 2006).

El Centro de Prevención y Desastres (2008) clasifica los rasgos principales de un deslizamiento, los cuales son:

1. **Corona:** El material que aún permanece en su lugar, prácticamente no está desplazado y adyacente a las partes más altas del escarpe principal.
2. **Superficie original del terreno:** Es la superficie inclinada o talud de una ladera antes de que ocurra el movimiento o deslizamiento.
3. **Hombro:** Es la zona que se encuentra en la transición de la superficie inclinada o talud de una ladera y la corona.
4. **Pie de la ladera:** Parte más baja de la ladera.
5. **Pie de la superficie de falla:** La línea de intersección (en ocasiones cubierta) entre la parte inferior de la superficie de falla y la superficie original del terreno.
6. **Escarpa principal de falla:** Es el escalón o superficie abrupta localizada en la parte superior de la ladera y contigua a la corona, resulta del movimiento del talud pendiente abajo y forma parte de la superficie de falla.

7. **Superficie de falla o de ruptura:** Zona o lugar geométrico donde se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por la acción de la gravedad, separándose de la ladera remanente.

8. **Cuerpo principal:** Aquella parte del material desplazado sobre la superficie de ruptura, en ocasiones ese material permanece sobre la superficie de deslizamiento (falla contenida), pero otras veces se “vacía” totalmente, dando como resultado los flujos.

9. **Flanco:** El costado de un deslizamiento de tierras. Se indica derecho o izquierdo, refiriéndose al deslizamiento observado desde la corona.

10. **Zona de acumulación o base:** El área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno, esto es el área cubierta por el material fallado, abajo del pie de la superficie de falla.

11. **Plataforma:** Porción superior del talud más allá de la corona.

12. **Punta o uña:** La base del deslizamiento que se encuentra más distante de la corona (Gutierrez, 2006).

La participación de algunos grupos interdisciplinarios de especialistas en este tema no solo estudian el peligro relacionado con la inestabilidad de laderas sino que también analizan todo el proceso como tal y los efectos socioeconómicos que se derivan de estos fenómenos geológicos.

La mayor parte de los movimientos es generada con facilidad por la condición potencialmente inestable de la mayoría de las laderas. Este tipo de laderas presenta características similares como el material térreo en el suelo que es muy poco resistente o está conformado por la presencia de sistemas de debilidad como diaclasas, fracturas, fallas, etc., que implica una inestabilidad latente. O por otra parte, son laderas que pueden estar expuestas a los diversos factores externos, tales como la erosión, que juega un papel muy importante en su desequilibrio. La presencia de lluvias excesivas que potencian la inestabilidad en mayores ocasiones y por último, los sismos intensos que es el principal mecanismo detonador de inestabilidad en el contexto de desastres naturales (Desastres, 2008).

2.2 Clasificación de los deslizamientos en laderas y conceptos sobre la amenaza, peligro y riesgo

Actualmente, para referirnos a la inestabilidad de laderas podemos hacerlo mediante diferentes términos que prácticamente tienen el mismo significado. Todas estas referencias son utilizadas en las diferentes disciplinas involucradas en su estudio. Algunos conceptos son empleados ampliamente para indicar que una ladera no es estable, estos conceptos pueden ser “procesos de remoción en masa”, “movimientos de ladera”, “procesos gravitacionales”, “movimientos de terreno”, “proceso de ladera”, etc.

Los diferentes mecanismos para determinar la inestabilidad de laderas trascienden desde su origen como en su desarrollo. Además estos mecanismos también sirven para clasificar los tipos de procesos de ladera existentes. De tal manera que al clasificar estos mecanismos da como resultado la agrupación de cuatro categorías principales y una derivada de la combinación de éstas. Por lo tanto los mecanismos principales de la inestabilidad son los caídos o derrumbes, flujos, deslizamientos y las expansiones o desplazamientos laterales (Desastres, 2008).

Tabla 1. Clasificación de los procesos de remoción en masa

Mecanismos de movimiento	Tipo de material involucrado		
Desprendimientos	Caída o desprendimiento de rocas	Caída o desprendimiento de derrubios	Caída o desprendimiento de suelos
Vuelco o desplome	Vuelco o desplome de rocas	Vuelco o desplome de derrubios	Vuelco o desplome de suelos
Deslizamiento rotacional	Individual, múltiple, sucesivo	Individual, múltiple, sucesivo	Individual, múltiple, sucesivo
Deslizamiento trasnacional o de bloques no rotacional	Deslizamiento de roca en bloque	Deslizamiento de derrubios en bloque	Deslizamiento traslacional de suelos
Deslizamiento planar	Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de derrubios	Coladas de barro
Flujos	Flujos de roca	Corrientes de derrubios	Flujos de tierra, arena o suelo
Expansión lateral	Expansiones laterales en roca	Expansiones laterales en derrubios	Expansiones laterales en suelos
Complejo	Ejemplo: alud de rocas	Ejemplo: flujo deslizante	Ejemplo: rotación con flujo de tierras

Fuente: EPOCH (1993) a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988)

2.2.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos

Como se mencionó anteriormente, el deslizamiento de ladera es utilizado frecuentemente como un término general que se utiliza para otorgar aquellos movimientos de talud abajo de materiales térreos, los cuales se generan bajo la influencia de la gravedad con un movimiento hacia abajo y hacia afuera de suelos, rocas y vegetación. Se caracterizan porque los materiales que contiene la masa fallada se encuentran vulnerables a deslizarse en cualquier momento por derrumbe o caída, deslizamiento, flujo y desplazamiento lateral. Algunos alcanzan una velocidad en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o en algunas veces lapsos largos de tiempo para que se desarrollen. Los deslizamientos rápidos son los que mayor preocupan a las personas por el tiempo en que estos se presentan y las cuestiones de (CENAPRED, 2006).

2.2.1.1 Caídos o derrumbes

Se originan en pendientes muy fuertes y acantilados y se caracterizan por ser movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas, siendo un movimiento de caída libre, rodando y rebotando; por lo tanto se clasifican dos, los cuales son:

- A) **Desprendimientos:** también conocidos como caldas, son movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Cuando el material se desprende de la superficie inclinada éste tiende a rebotar, rodar deslizarse o fluir ladera abajo posteriormente (CENAPRED, 2006).

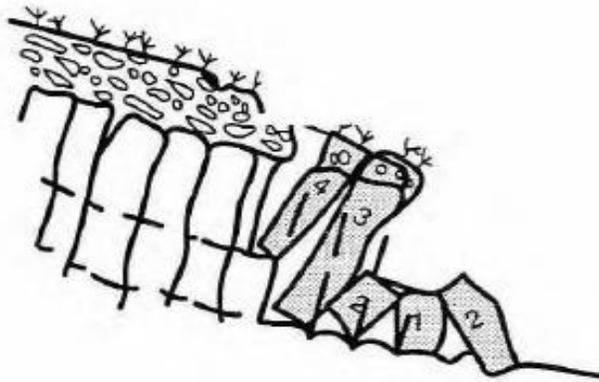
Imagen 11. Los caídos o derrumbes pueden ocurrir con más frecuencia en las carreteras



Fuente: obtenido de www.escolapiosgeomorfologia.blogspot.com

B) Vuelcos o volteos: estos movimientos consisten en la rotación de una masa de suelo, roca o detritos en torno a un eje o pivote determinado por su centro de gravedad. No implica colapsamiento porque el movimiento es hacia adelante o hacia la parte externa, involucrando su inclinación o basculamiento (Ayala, 2000).

Imagen 12. Los vuelcos o desplomes

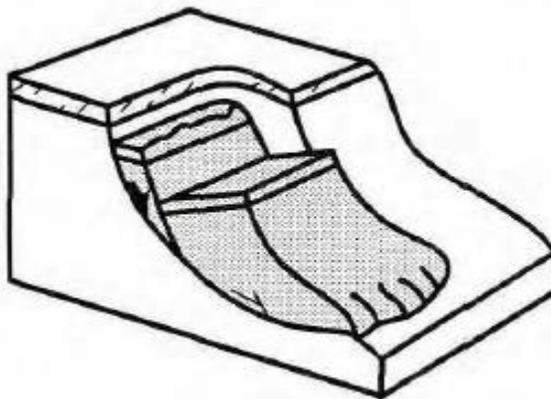


Fuente: WPWLI, 1990

2.2.1.2 Deslizamientos

Este deslizamiento ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura con un movimiento de ladera debajo de una masa de suelo, detritos o roca y con frecuencia, una de las primeras señales para la presencia de este movimiento son las grietas transversales, localizadas en la zona que debe ocupar el escarpe principal (Desastres, 2008).

Imagen 13. Los deslizamientos

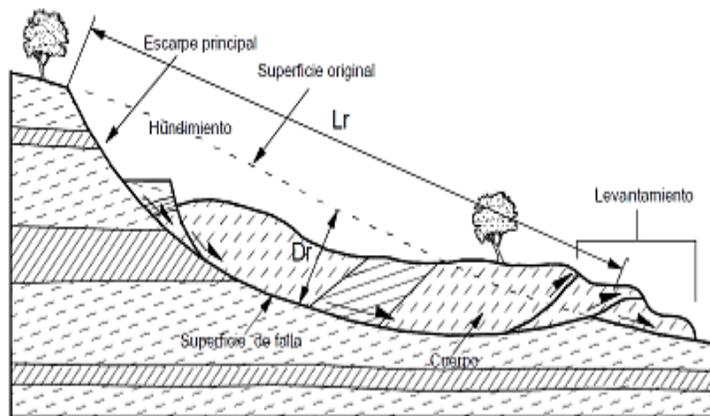


Fuente: WPWLI, 1990

Además de estos movimientos mencionados anteriormente; existen otros que se distinguen por la forma de la superficie según el deslizamiento, los cuales son:

- I. **Rotacionales:** estos deslizamientos se caracterizan porque su superficie de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), se definen por su movimiento rotacional de la masa inestable o fragmentos de rocas con epicentro de giro por encima de su centro de gravedad.

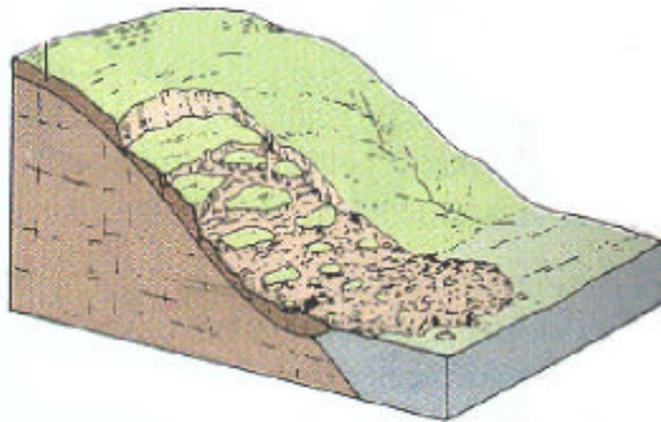
Imagen 14. Esquema de deslizamiento rotacional



Fuente: obtenido de <http://estabilidad-de-taludes7.webnode.es>

- II. **Traslacionales:** son deslizamientos que se desplazan hacia afuera y hacia abajo, compuestos por una masa de suelos y/o fragmentos de rocas que van a lo largo de la superficie principal con una pendiente mínima, con un poco de movimiento en rotación o volteo (Desastres, 2008).

Imagen 15. Esquema de deslizamiento traslacional



Fuente: Skinner y Potter, 1992.

2.2.1.3 Flujos

Se originan pendiente debajo de una ladera por movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas, es por eso que la masa que se mueve o se desliza sobre una superficie de falla lleva partículas, granos o fragmentos de movimientos relativos en ella. Su velocidad puede ser lenta a muy rápida ya sean secos o húmedos; y se clasifican en cuatro grupos que son:

- 1°. **Flujos de lodo:** es la combinación de suelo y agua que fluye pendiente abajo rápidamente, compuesta con granos de arena, limo y por lo menos el 50% de agua.

Imagen 16. Flujo de lodo, Cerro de Yantajirca Yanahuanca



Fuente: obtenido de www.slideshare.net, 2017

- 2°. **Flujos de tierra o suelo:** fluye rápidamente en la pendiente abajo compuesta con granos de grava, arena, limo y un 50% de agua aproximadamente (Desastres, 2008).

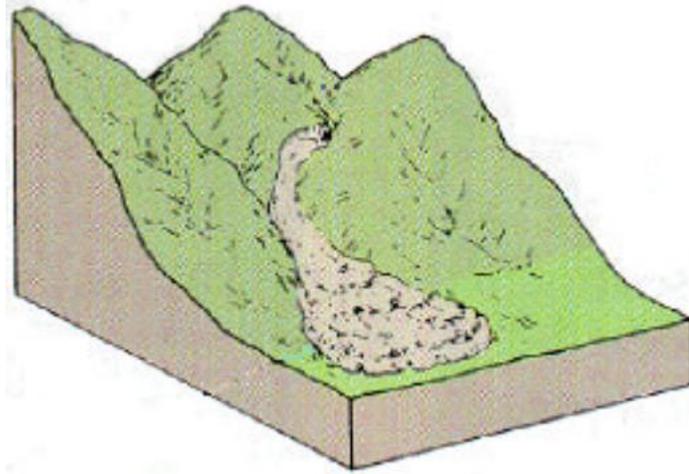
Imagen 17. Flujo de tierra en el Salvador



Fuente: obtenido de <http://paisajesprimaria.blogspot.com>, 2018

- 3°. **Flujos o avalancha de detritos:** es la combinación de suelos sueltos, fragmentos de rocas, vegetación con aire y agua entrampados, por eso es un movimiento rápido formando una masa viscosa fluida pendiente abajo.

Imagen 18. Flujo de detritos



Fuente: obtenido de <http://www.bvsde.paho.org>,2017

- 4°. **Lahar:** se originan por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo por actividad volcánica, por ocurrencia de sismos, ruptura de represas o desbordamiento de agua represada (Desastres, 2008).

Imagen 19. Lahar en el volcán Casitas, Nicaragua



Fuente: obtenido de <http://webserver2.ineter>,2017

Para medir la velocidad en los movimientos Cruden y Varnes (1996) asociaron los valores de tasa de los movimientos con términos cualitativos que van desde extremadamente rápidos a extremadamente lento, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 2. Escala de velocidad de remociones en masa

Clase según velocidad	Descripción	Velocidad (m/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido	5	5 m/s
6	Muy rápido	0,05	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-4}	1,8 m/hr
4	Moderado	5×10^{-6}	13 m/mes
3	Lento	5×10^{-8}	1,6 m/año
2	Muy lento	5×10^{-10}	16 mm/año
1	Extremadamente lento	$< 5 \times 10^{-4}$	< 16 mm/año

Fuente: Cruden y Varnes, 1996

Otra tabla sobre escalas de velocidad es propuesta por Keefer (1984) en donde clasifica los tipos de remociones en masa generadas por terremotos.

Tabla 3. Clasificación de remociones en masa basadas en la generación por sismos

Tipo de remoción	Velocidad	Profundidad
Caídas de roca	Extremadamente rápido (> 3 m/s)	Superficiales (< 3 m)
Deslizamientos de roca	Rápido a extremadamente rápido (1,5 m/día – 3 m/s)	Superficiales (< 3 m)
Avalanchas de roca	Extremadamente rápido (> 3 m/s)	Profundos (< 3 m)
Avalanchas de suelo	Muy rápido a extremadamente rápido (0,3 m/min - > 3 m/s)	Superficiales (< 3 m)
Deslizamientos de roca en bloque	Lento a rápido (1,5 m/año – 0,3 m/min)	Profundos (< 3 m)
Deslizamientos de suelo en bloque	Lento a rápido (1,5 m/año – 0,3 m/min)	Profundos (< 3 m)
Flujos lentos de tierra	Muy lento a moderado (0,6 m/año – 1,5 m/día)	Generalmente superficiales, ocasionalmente profundos
Extensiones laterales de suelo	Muy rápido (0,3 m/min – 3 m/s)	Variable
Flujos rápidos de suelo	Muy rápido (0,3 m/min – 3 m/s)	Superficiales (< 3 m)

Fuente: Keefer, 1984

2.3 Factores que determinan la inestabilidad de laderas

Está claro que el problema en los deslizamientos de laderas tiene que ver con los factores que propician este fenómeno ya sean internos o externos, además va relacionado directa o indirectamente con los esfuerzos cortantes actuantes o resistentes que desarrollan en la potencial superficie de falla o deslizamiento. Aunque durante los procesos de falla en una ladera no siempre dichos factores se combinan, por lo tanto suele ser difícil el poder distinguir la influencia de cada uno de ellos en ese proceso. Otras causas importantes que desencadenan los deslizamientos de laderas son los cambios en el ambiente donde se establece la población y las acciones antrópicas o humanas.

Para que se pueda evaluar el grado o la magnitud del peligro, tomar las medidas necesarias de prevención o de evacuación en el caso de que sea necesario o de ser posible poder prevenir o anticiparse a la falla mediante la aplicación de métodos de estabilización es necesario conocer y entender de fondo como afectan estos factores la estabilidad o la inestabilidad de las laderas. Algunos proponen estudiar los factores por separado ya que existen casos en donde resulta difícil como dichos factores pueden propiciar la estabilidad de una ladera. Para tener una mejor comprensión en el análisis de estos factores ya sean internos o externo, se va a describir cómo afectan en cada una de las laderas (CENAPRED, 2006).

2.3.1 Parámetros de inestabilidad

Cuando una ladera es inestable es porque el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Comúnmente está relacionada con fenómenos geológicos como los sismos, variaciones morfológicas desfavorables entre otros porque al presentarse aumentan el esfuerzo cortante y al mezclarlo con la saturación o la meteorización disminuye la resistencia al corte del suelo.

Algunos de los factores para la generación de los diferentes tipos de remoción en masa se presentan en la tabla 4. Los cuales actúan controlando la susceptibilidad de alguna zona en particular para generar los fenómenos de remoción según su geomorfología, geología geotecnia y vegetación donde la susceptibilidad es la capacidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada en un proceso geológico (Sepúlveda, 1998).

Los procesos de remoción en masa son influenciados por los distintos factores de maneras y grados diferentes es por eso que estos procesos tienen génesis y comportamientos diferentes. Por lo tanto en este apartado de la investigación se hace mención de todos los factores que se deben considerar para determinar el grado de susceptibilidad o amenaza en de los procesos geológicos. Todos los estudios presentados presentan las metodologías determinantes para identificar las áreas vulnerables en la presencia de estos fenómenos.

Tabla 4. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa

Factores condicionantes / tipo de remoción en masa	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones laterales
Geología y geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y clima		X		X	X
Actividad antrópica	X	X	X	X	

Fuente: Hauser A., 1993.

2.3.1.1 Geología y geotecnia

Uno de los factores que influyen ya sea en mayor o menor grado en la generación de los procesos de remoción en masa en la geología y la geotecnia. Sus características principales son el depósito y el material que lo compone, densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad; la litología de las rocas, su estructura, alteración y meteorización.

Para la geología y geotecnia uno de los factores que condiciona permanentemente la inestabilidad y su comportamiento es la aparición de depósitos; entre ellos están algunos como depósitos volcanoclásticos, glaciales, escombros de falda, aluviales coluviales, y de materiales permeables (antiguos flujos que son susceptibles a ser movilizados o removilizados) donde el agua puede filtrarse con mayor facilidad, facilitando el escurrimiento rápido del agua en este material saturado superando su capacidad de infiltración y produciendo la saturación mucho más acelerada (Hauser A. , 1993).

Los materiales por su composición y granulometría son los que determinan si una ladera es estable o inestable ya que propicia la resistencia del suelo en la aparición de los depósitos. La plasticidad y la humedad de un suelo influirán directamente en su grado de cohesión. Es decir; para que un deslizamiento sea más probable, la ladera debe estar conformada por un suelo fino (suelo arcilloso) ya que estas propiedades alcanzan un alto índice de cohesión y la presencia de niveles de poco espesor hace que el material del suelo se deslice con facilidad. Pero si la ladera cuenta con un suelo grueso arenoso sus propiedades van en función con la cohesión que presenta dependiendo del grado de humedad.

Lambe (1972) menciona que el parámetro de densidad del suelo tiene que ser relevante para la determinación de la resistencia al cizalle del material, donde el uso del suelo presentará resistencias (máximas) mayores a las alcanzadas por los suelos sueltos. Otra característica en particular en el material de los suelos pero sólo para el caso de las rocas es la que señala Jacoby (2001) y tiene que ver con la litología, la cual es un factor que influirá en la resistencia a la meteorización y alteración de la roca, por la presencia de minerales secundarios (ceolitas, arcillas, sericita, clorita), característicos de las alteraciones hidrotermales, que influyen en factores como el incremento de la porosidad, la pérdida de resistencia, expansividad y la facilidad para incorporar el agua.

Las tipologías de composición estructural son caracterizadas por su abertura, relleno y rigurosidad porque comprenden principalmente planos de estratificación, sets de diaclasas, grietas de tensión y fallas. La conformación de las estructuras es por la presencia de diversos sets estructurales y de estructuras que corresponden a planos de ruptura mayores en la roca que genera cuñas y posibilita los deslizamientos.

Si se trata de rocas alteradas y meteorizadas es mucho más probable que actúe la estratificación. Las estructuras abiertas rellenas con materiales blandos o estructuras poco rigurosas, tenderán a conformar planos de debilidad en el macizo debido a su condición y orientación; asimismo, si las estructuras están en dirección del manto entonces el talud va a generar las condiciones inestables en la ladera; sin embargo, en esta categoría destaca el volcamiento o “toppling”, que se presenta cuando los estratos levantan la ladera en sentido opuesto y se “vuelcan” (González De Vallejo, 1999).

2.3.1.2 Geomorfología.

Otros de los eventos que condicionan los procesos de remoción en masa son la topografía, las pendientes de las laderas, los cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas, además estos rasgos geomorfológicos inciden en las velocidades, energía y volumen de masa en las remociones. Cualquiera que modifique el estado natural de estos factores puede transformar una ladera estable en inestable. En algunas ocasiones también influyen su forma y superficie de las hoyas hidrográficas, su consecuente exposición al sol y la orientación de cada una de las laderas.

El primer factor geomorfológico a considerar en este tipo de fenómenos es la topografía escarpada y ángulos altos de pendientes, los cuales propician la aparición de flujos, deslizamientos y derrumbes. Existen casos específicos donde los flujos generalmente se generan por las laderas en topografía abrupta, las cuales disminuyen la estabilidad en los depósitos además el escurrimiento de agua superficial actúa como un agente desestabilizador.

Cuando se otorga una alta capacidad de transporte y energía de los fluidos es porque las pendientes tanto de las laderas como de los cauces (ejes hidráulicos). Para concentrar el transporte del material y al mismo tiempo incrementar su energía cinética tienen que ser pendientes cortas, rectas y estrechas. Debe resultar favorable para el desarrollo de flujos o de aluviones que las pendientes sean mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas, hay ocasiones en que no sobrepasan los 15° y también tienden a generarse (Hauser A. , 1993).

Si se genera una situación naturalmente inestable ocurre en caso de los deslizamientos, donde para el caso del suelo se puede generar este fenómeno si el ángulo que tiene el talud logra superar el ángulo de fricción interna del material (Lambe y Whitman, 1972). Pero para Keefer (1984) resalta que cuando se presentan sismos con intensidades mayores a 4° en la escala de Richter, los taludes de los ángulos mayores a 15° serán susceptibles de generar deslizamientos de tipo traslacional o si se tiene un ángulo mayor a 10° también podría ser suficiente para para generar un deslizamiento rotacional (Keefer, 1984).

2.3.1.3 Hidrología e hidrogeología

Los factores hidrológicos e hidrogeológicos son las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, redes de drenaje coeficientes de escorrentía y coeficientes de infiltración están directamente relacionados a la incorporación de agua en suelos macizos o rocosos que condicionan la generación de remociones en masa.

Cuando el suelo se satura es porque su granulometría presenta variaciones en los rangos de cohesión. De igual forma si se incorpora gran cantidad de agua en la estructura del suelo también puede llegar a saturarse, lo cual reduce su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros y disminuye la resistencia del material como tal (Lambe y Whitman, 1972). Para el caso de un suelo rocoso la incorporación de agua se infiltra en las estructuras y contribuye a la pérdida de resistencia, haciendo que las tensiones estructurales se opongan y se incite la inestabilidad.

Los deslizamientos que se crean en su mayoría por saturación del material son los flujos o detritos, los cuales provocan un mayor aumento en la presión de poros y hace que disminuya su resistencia efectiva. Es de gran importancia que se identifiquen las zonas húmedas o saturadas en las regiones para anticiparse en caso de que estos deslizamientos ocurran. Otro asunto importante que puede ascender rápidamente y puede llegar a generar la saturación es el nivel freático porque al encontrarse a poca profundidad, mediante la incorporación de agua ya sea por lluvias o fusión de nieve.

Asimismo, si la región se encuentra afectada con suelos arenosos y está establecida en una zona con influencia sísmica, el nivel freático puede ascender hasta el punto de vista de saturar todo el material, va a generar que el suelo se convierta en un material tipo fluido y viscoso (licuefacción de suelo) en consecuencia de la vibración sísmica. La distribución de agua subterránea puede variar de acuerdo con la topografía y las condiciones de meteorización de la roca madre en caso de querer evaluar este factor (Pathak, 2004).

Aunque los flujos de detritos se asocian a un suelo saturado, el flujo puede ir incorporando líquido en el trayecto, generándose en un principio por la inestabilidad del suelo condicionada por la resistencia, el ángulo de fricción interna y el grado de saturación del suelo (Hauser A. , 1993).

2.3.1.4 Vegetación

La estabilidad de un talud en relación a este contexto está condicionada por la topografía y los efectos del clima en la zona; es decir, si la pendiente es demasiado inclinada y los vientos dominantes son fuertes pues la vegetación (arboles) de la zona removerá el terreno y está a su vez provocará la desestabilización. Por el contrario cuando la zona cuenta con abundante vegetación con climas lluviosos, puede ocurrir que la evapotranspiración no alcance a compensar la alta infiltración y por consecuencia el saturado del material asciende por el nivel freático (Prieto, 1985).

Pero para Selby (1993) los factores como el clima, las propiedades del suelo y la topografía en las laderas; la vegetación, es la que contribuye a la disminución del efecto de erosión. Ya que la absorción de agua por parte de los arboles debe ser mucho más fácil y por ende disminuye el grado de saturación del suelo. Una característica importante es la estabilización del talud por medio de raíces de los árboles que actúan como anclajes en el suelo, aunque en algunas ocasiones se considera que ésta estabilización es superficial. Por lo tanto, aumentaría la evotranspiración del agua disminuyendo el grado de saturación del suelo.

El mismo autor establece que la una correcta vegetación para la estabilización de laderas son los bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, los cuales exponen los principales efectos de la vegetación sobre la estabilidad del suelo; además, la vegetación interceptaría el agua caída, aumentaría la resistencia del suelo y disminuiría la capacidad de erosión provocada por la presencia de agua en las laderas (Selby, 1993).

Greenwood (2006) también analiza la estabilidad en las laderas y es por eso que elaboró un software para computadoras que permite incluir los efectos de la vegetación, pero esencialmente se enfoca en las raíces y su estabilidad con el suelo.

Un caso similar es de Jacoby (2001) donde menciona que el escaso desarrollo de la vegetación pareciera de contribuir a restar la estabilidad a las laderas, pues cuando se demuestra que existe una alta sensibilidad a la erosión hídrica y por tanto, las raíces en general tendrían que actuar como agentes estabilizadores.

2.3.1.5 Clima

El clima es uno de los factores que más incitan a la inestabilidad de laderas, un ejemplo claro son las precipitaciones porque son consideradas como las principales decedentes de remociones en masa, ya que condicionan la estabilidad del macizo, disminuyen la resistencia de las estructuras cuando se incorpora agua entre las fracturas del macizo y la estructura del suelo, por lo cual también disminuye el coeficiente de roce. Cuando el agua se infiltra la parte superior de los acantilados suele generarse las caídas de roca cerca de la cumbre de las laderas. Las intensas lluvias asociadas provocan la mayor cantidad de grandes flujos de detritos y barro pero por lo general, si aparecen cerca del día del evento en este caso estarían actuando como condicionante en la estabilidad de laderas.

Otro de los factores importantes en este contexto es la temperatura del lugar. Es decir, la temperatura es la que condiciona el estado de la precipitación; por ejemplo, si es sólida o líquida, se puede controlar el punto de fusión de la nieve, modifica la humedad presente en el suelo luego de la presencia de lluvias y condiciona a que el suelo llegue a congelarse (Castillo, 2007). Del mismo modo si el viento es fuerte entonces el ángulo de incidencia de las gotas de lluvias cambia y estimula que los arboles desestabilicen las laderas abruptas (Selby, 1993).

Finalmente, la radiación solar es otro factor climático que incide en la estabilidad de las laderas, pues al influir en la condición de humedad del material, se disminuye la resistencia de las laderas mientras mayor grado de humedad presenten cada una de ellas. En estos casos puede que se encuentre presente la vegetación, ya que ésta sobresale más en zonas que se encuentran protegidas por la intensa radicación solar.

2.3.2 Factores internos

Este tipo de factores se relacionan directamente con el origen y las propiedades de los suelos que componen las laderas, también por su distribución espacial y en algunos casos en particular, por la aparición de agua pero si se ejerce presión dentro de la masa del suelo puede provocar que disminuya la resistencia al esfuerzo cortante. La presencia de agua (sea por lluvias o alguna otra) es la causa principal que reduce la resistencia de los suelos para potencializar la inestabilidad en la superficie de falla (Castillo, 2007).

2.3.2.1 Propiedades de los suelos y rocas

El esfuerzo cortante de los suelos y de las rocas que forman las laderas cuentan con características que varían dependiendo esencialmente de las condiciones geológicas y climáticas de una región, por lo cual logran variar mediante el espacio y tiempo. Las pruebas de campo o laboratorio en los suelos son las que establecen la resistencia al esfuerzo cortante. La determinación precisa de las fuerzas actuantes por peso propio y por cargas aplicadas constituyen las condiciones geométricas y de pesos volumétricos.

Con ello, es posible realizar el análisis cuantitativo de estabilidad en el que se determina un factor de seguridad global para cada caso. Generalmente las debilidades inherentes en las rocas y en los suelos se combinan con uno o más eventos de desestabilización (factores externos) como son las intensas lluvias, los cambios de nivel del agua dentro del terreno, la actividad sísmica y la actividad volcánica. Un ejemplo claro de estos eventos es la presencia de intensas lluvias, las cuales producen un aumento en la saturación del terreno y el aumento del peso del suelo por exceso de agua; y de manera más eminente, en la elevación del nivel del agua, lo que incrementa su presión.

2.3.3 Factores externos

Como se menciona anteriormente, los factores externos que propician la inestabilidad son aquellos sistemas ajenos que se combinan con otros elementos de desestabilización en la ladera, frecuentemente incrementan los esfuerzos cortantes actuantes, aunque de manera indirecta pueden producir un cambio en la resistencia al esfuerzo cortante del material que compone el talud. Estos factores también se originan por fenómenos naturales, como las lluvias intensas, sismos fuertes y actividad volcánica; o en ocasiones por actividad humana.

2.3.3.1 Lluvias intensas y prolongadas

Es el principal factor externo que contribuye a la inestabilidad de laderas, por el efecto que ocasiona de saturar el terreno, el aumento del peso volumétrico del suelo y en la disminución de resistencia al esfuerzo cortante del suelo (presión del poro); la creación de corrientes propician socavación, deslaves y cambios en la geometría (CENAPRED, 2006).

La mayoría de los deslizamientos ocurridos en México se debe a las intensas lluvias y de larga duración que se presentan en las laderas constituidas por suelos residuales y depósitos de origen sedimentario o aluvial. Estos fenómenos ocasionan numerosos daños materiales, pérdidas de bienes y lamentablemente vidas humanas, en los estados de Guerrero, Baja California, Chiapas, Colima, Durango, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz.

Existen documentales en la literatura técnica donde relacionan la intensidad o la cantidad de lluvias que cae en una zona o región con la ocurrencia de los deslizamientos de laderas, son conocidos como umbrales de lluvias estudiados en diversas partes del mundo.

2.3.3.2 Sismos

De acuerdo con una estadística mundial sobre los 25 deslizamientos más catastróficos ocurridos en el siglo XX, el 36 por ciento de ellos fueron disparados por acciones sísmicas; solo 4 por ciento por debajo de las lluvias intensas, las cuales son el principal factor detonante de inestabilidad de laderas. En teoría los sismos ocupan un lugar muy importante dentro de las causas naturales o factores externos que activan o incitan a la inestabilidad de laderas (Schuster, 1996).

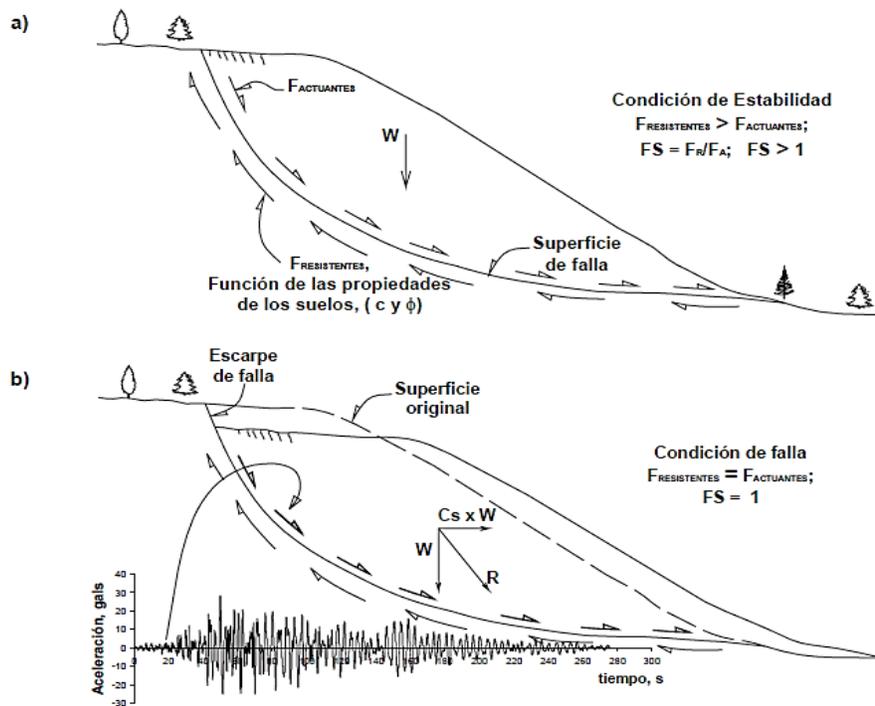
De ahí la importancia que representan los sismos como fuente detonadora deslizamientos. La ladera conocida como “Las Colinas” ubicada en Santa Tecla, Nueva en San Salvador, es un ejemplo claro y reciente en la suscitarse este tipo de deslizamientos (Mendoza, 2002). Este evento resultó de un flujo masivo de lodo arenolimoso disparado por el sismo del 13 de Enero del 2001, con una magnitud M_w 7.6 y una distancia epicentral de 100 km, ocultando a una urbanización que se encontraba asentada en pie de ladera, y provocando la muerte de aproximadamente 500 personas. La intensidad y magnitud del sismo fueron las que determinaron la falla en la ladera.

Anteriormente, se había reducido la resistencia del suelo por la generación de alta presión dinámica por presencia de agua en los poros, en un suelo volcánico y pie de naturaleza granular suelto. A todo esto le sumamos que la parte superior y su plataforma de la ladera se encontraba deforestada y una parte baja de ella tenía una obstrucción al libre drenaje, en general pudo reconocerse que se había propiciado una condición poco favorable para su estabilidad (CENAPRED, 2006).

Cuando se acontece un evento sísmico se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales determinan el aumento de los esfuerzos cortantes actuantes en la potencial superficie de un deslizamiento. Una forma simple de visualizar este proceso es a través de la imagen 20, donde se representan las fuerzas actuantes a favor del deslizamiento y las fuerzas resistentes del subsuelo que se contraen.

Las actividades humanas son un factor trascendental en la incidencia de las inestabilidades de una ladera al momento de la ocurrencia de un sismo; como sucede claramente cuando se modifican las condiciones naturales del entorno (aumento de cargas externas, modificación de su geometría, cortes y terrazas en el cuerpo de la ladera).

Imagen 20. Representación esquemática de las fuerzas actuantes y resistentes que se desarrollan en una ladera: a) antes y b) durante un evento sísmico



Fuente: Atlas Nacional de Riesgos, 2006

El efecto de las acciones sísmicas da como resultado una fuerza horizontal, que equivale a una fracción del peso de la masa potencialmente deslizante delimitada por la superficie de falla, esto se calcula como el producto de un coeficiente sísmico multiplicado por el peso de la masa potencialmente inestable (CENAPRED, 2006).

Para que se presente un deslizamiento durante un sismo, las fuerzas actuantes y resistentes deben igualarse en la potencial superficie de falla. Suele ser complicado que un sistema de alertamiento advierta la ocurrencia casi inmediata por los deslizamientos ocasionados por la sismicidad, a menos que la distancia del impacto sea menor. La condición de materiales y la geometría debe distinguirse como un peligro en una ladera; por lo tanto, se debe evitar los asentamientos humanos y las obras de infraestructura cerca del pie de la ladera. Se debe mantener una distancia lejana libre de edificaciones, o por el contrario, diseñar obras de retención o encauzamiento de los posibles flujos.

Keefner (1984) realizó estudios a partir de sismos que ocurrieron en los Ángeles, EEUU; en donde los tipos de remociones más abundantes generados por terremotos corresponden a las caídas de rocas, deslizamientos desagregados (*disrupted landslides*) de suelos con pendientes de laderas mayores a los 15° y los deslizamientos de roca con pendientes de laderas mayores a 40° , posteriormente los derrumbes de suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra.

En esos estudios realizados se establecieron magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, las cuales se muestran la tabla 6 con base a las observaciones de los eventos de remoción en masa que se generan por sismos de poca magnitud (5° y 3°), se disponen a distancias máximas de 50 km entre las zonas de ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos desagregados con el epicentro del centro, para un evento sísmico de magnitud cercana a 5,5 y de 10 km para flujos de detritos y deslizamientos masivos, ante eventos sísmicos similares.

De igual forma, se deben establecer otros factores y no solo la magnitud, pero tendrán influencia en la distancia máxima con el foco del sismo y el lugar donde se presentan los procesos de remoción, como son las variaciones que podría contener el movimiento del suelo durante la presencia del sismo y las condiciones geológicas locales donde se observa y estudia este fenómeno con la presencia de arenas como gravas y limos (Castillo, 2007).

Tabla 5. Tipos de remociones en masa generadas por sismos

Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Keefer (1984)	Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Rodríguez <i>et al.</i> (1999)	Tipo de remoción en masa
4,0	5,5	Caídas de rocas, deslizamientos de roca, caídas de suelo, deslizamientos desmembrados de suelo
4,5	5,5	Subsidencias de suelo, deslizamiento de suelo en bloques
5,0	6,5	Subsidencias de roca, deslizamientos de roca en bloque, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápidos de suelo, deslizamientos submarinos
6,0	6,5	Avalanchas de roca
6,5	6,0	Avalanchas de suelo

Fuente: Keefer, 1984

Posteriormente, Keefer (1984) en los estudios que realizó también recopiló datos sobre los 40 terremotos que fueron históricos por el gran impacto que tuvieron, además estableció cantidades relativas sobre las remociones en masa que generaron estos sismos, la información recopilada se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 6. Abundancia de eventos de remoción en masas generadas por sismos

Abundancia de eventos	Tipos de eventos
Muy abundante (>100.000, en 40 terremotos)	Caídas de roca, deslizamientos de suelo desagregado, deslizamientos de roca.
Abundante (10.000 a 100.000, en 40 terremotos)	Extensiones laterales de suelo, subsidencias de suelo, deslizamientos de suelo en bloques, avalanchas de suelo.
Moderadamente común (1.000 a 10.000, en 40 terremotos)	Caídas de suelo, flujos rápidos de suelo, subsidencias de roca.
No común	Deslizamientos bajo agua, flujos lentos de suelo, deslizamientos de roca en bloque, avalanchas de roca.

Fuente: Keefer, 1984

Otros estudios similares los efectúa Sepúlveda (2004) donde menciona que los factores de la amplificación topográfica de ondas sísmicas como las causantes de fallas de las laderas en las rocas, localizando la relación de las dimensiones y forma de las laderas con longitud de onda que favorecen a la amplificación topográfica (Hauser A. , 1993).

Las remociones en masa que normalmente ocurren como resultado de una licuefacción del suelo inducida por sismo es porque estos procesos involucran el material suelto, sin cohesión, saturado y en pendientes bajas de las laderas. Este proceso es causa de las perturbaciones rápidas en suelos saturados, sin cohesión, bajo condiciones de carga no drenada; todas estas acciones hacen posible la disminución de los esfuerzos efectivos actuantes sobre el suelo y el exceso de presiones de poros y su generación está condicionada por los agentes de tipo histórico, geológico, composicionales y de estado. Estas circunstancias pueden presentarse tanto en arenas como gravas y limos, gracias a las observaciones y estudios que se practican en estos fenómenos (González, 2002).

2.3.3.4 Cargas sobre la ladera

Una característica importante dentro del proceso de remoción en masa es la aplicación de cargas sobre las laderas, mediante la construcción de obras o la acumulación de materiales, siendo un factor externo que determina el aumento de los esfuerzos cortantes y potencializan la superficie de falla. Existen asentamientos humanos establecidos en el talud y en la corona de las laderas que muestran un estado negativo para la estabilidad, en el lugar también se llegan a realizar cortes y terrazas para la construcción de obras, a todo esto se suman otras causas como las cargas accidentales producidas por el tránsito vehicular, el peso de las viviendas, las fugas de agua y la vibración de la maquinaria al momento de construir.

Los edificios pasados que se encuentran muy cerca del hombro de una ladera pueden producir un problema de inestabilidad local, que posteriormente puede llegar a convertirse en un peligro latente para las construcciones ubicadas en la parte inferior del talud, con la posibilidad de convertirse en un deslizamiento general (Hauser A. , 1993).

Peck (1967) realizó un trabajo de investigación muy importante donde menciona varios casos de pequeños cambios en las condiciones de estabilidad de algunos deslizamientos ocurridos anteriormente que provocaron un proceso de reactivación de los movimientos y después un deslizamiento general de los materiales (Morales, 1999).

2.3.4 Causas humanas o antrópicas

Las actividades humanas propician directamente la ocurrencia de los deslizamientos. Morales (1999) reconoce un hecho bien establecido que dice: una ladera con asentamientos humanos es más susceptible a los deslizamientos de una zona rural en particular; bajo las condiciones de altura, pendiente y geomateriales similares. Además se muestran tres factores principales de origen antrópico en la generación de los deslizamientos de laderas, las cuales se describen a continuación:

I. Cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo

- Concentración de infiltraciones por la rotura de drenajes o de los sistemas de abastecimiento de agua
- Cambio en el régimen de las aguas superficiales
- Cambio o incluso impedimento de cauces en cañadas
- Construcción de vasos o tanques de almacenamiento
- Infiltraciones por fosas sépticas
- Impermeabilización para la urbanización, lo que reduce la evaporación e infiltración, y aumenta la escorrentía

II. Cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas

- Aumento del ángulo del talud por la ejecución de cortes
- Sobrecargas por la construcción de muros de retención, rellenos, casas y edificios
- Vibraciones provocadas por maquinaria
- Explosiones para la explotación de canteras, minas y bancos de material
- Inyección de morteros cerca del talud

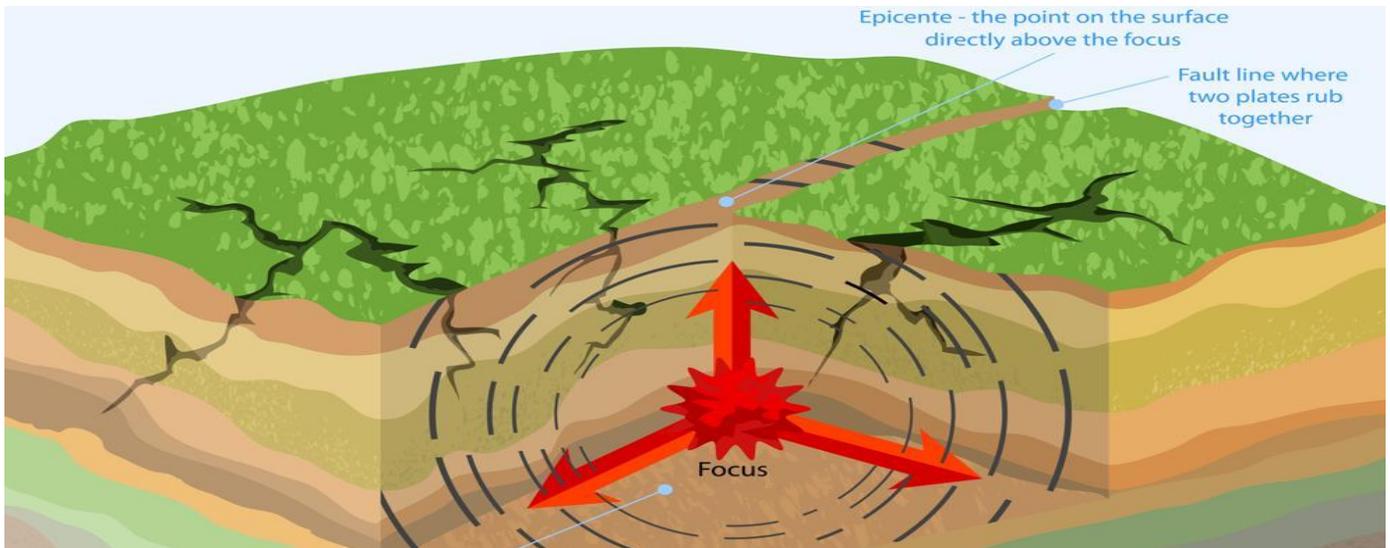
III. Deforestación

- Tala de bosques
- Agricultura, pastoreo y quema
- Modificaciones del uso del suelo

La generación de los procesos de remoción en masa tiene que ver directamente por el control que ejerce el factor humano de la estabilidad del suelo. La mayoría de las actividades que se realizan en las zonas son excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios de uso del suelo, extracción de áridos y la acumulación de escombros o basura. Todos los factores mencionados contribuyen en la inestabilidad de laderas producto de la disminución artificial de la resistencia que contienen los materiales, como su atribución en la movilización por futuros sucesos y cambios en la escorrentía superficial o en la topografía.

No todas las actividades propician a la inestabilidad algunas suelen ser de gran apoyo; por ejemplo, la construcción de un muro, la colocación de un relleno o la realización de un corte son actividades que bien pueden ejecutarse, siempre y cuando se tenga la evaluación de un experto o con la geotecnia pertinente. De los factores externos antes señalados, se destaca que la vegetación natural en el talud de una ladera y en la plataforma más allá de su corona, es de suma importancia en la estabilidad. Pero si el área suele ser deforestada la succión (presión del poro negativa) disminuye junto con la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, los cuales propician la infiltración masiva y rápida del agua de lluvias y elimina las acciones benéficas que realizan las raíces.

Los sismos junto con las faenas mineras y embalses contribuyen a la inestabilidad producto de las vibraciones, que si bien no siempre alcanzan grandes intensidades pero si son constantes provoca que disminuya gradualmente la resistencia de los depósitos y macizos rocosos. A escala general, en los últimos tiempos son las actividades antrópicas han afectado en el cambio climático terrestre, lo cual se asocia a las variaciones de temperatura, tipos e intensidades de las precipitaciones y su distribución (Morales, 1999).



Fuente: obtenido de <https://www.lavanguardia.com>, Noviembre 2018

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS TEÓRICO DE LA
SUSCEPTIBILIDAD A LOS
DESLIZAMIENTOS INDUCIDOS POR
SISMOS

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTO INDUCIDOS POR SISMOS

La presencia de los deslizamientos inducidos por sismos se encuentra registrada desde el siglo IV A.C. en una serie de investigaciones documentales. Alrededor del mundo han causado decenas de miles de muertos y billones de dólares en las pérdidas económicas, solo en el siglo pasado. Los deslizamientos inducidos por sismos aún no son bien comprendidos a pesar de su geomorfología o importancia económica. Para que estos fenómenos puedan generarse deben crear un alto índice de masa, sus movimientos característicos, las construcciones y la distribución de la población (Figueras Vila, 2005).

La generación de este tipo de evento sísmico depende de las variables como la magnitud y la propagación del fenómeno, así como la distribución de la población y de la infraestructura que se encuentre expuesta al momento de suscitar el evento o desastre.

Rodríguez (2008) menciona que los sismos de gran intensidad son unos de los principales factores que causan la inestabilidad de laderas, las cuales son a menudo una de los desastres que ocasionan demasiadas pérdidas humanas y materiales. La complejidad que ocasiona estudiarlas hace que no sean bien comprendidas, puesto que intervienen factores internos y externos que se relacionan directamente con la liberación de energía del terremoto y su propagación, parámetros propios de la resistencia al esfuerzo cortante de la ladera, condiciones naturales de estabilidad, tipo de rotura y el comportamiento ante la deformación de los materiales durante la presencia del sismo.

Delgado (2006) afirma que si un sismo de intensidad moderada o intensa, los largos periodos de recurrencia durante el sismo pueden hacer que se pierda la noción del problema; es por eso que son pocos los investigadores que se dedican a estudiar este fenómeno, aun cuando se tienen diversas zonas con presencia sísmica moderada.

Keffer (1984) realizó estudios sobre los deslizamientos de laderas asociados a los eventos sísmicos y obtuvo una serie de resultados muy importantes, los cuales se resumen a continuación:

1. Generalmente cuando se suscita un sismo se logra incrementar la magnitud al momento de presentarse en una ladera, aunque las condiciones geológicas del lugar y algunos otros parámetros sísmicos como la aceleración del suelo y las direcciones máximas de aceleraciones determinen la cantidad de deslizamientos activos.
2. Las reacciones suelen presentarse durante los movimientos sísmicos que son más fuertes de lo que lograron causar un deslizamiento con anterioridad o durante un terremoto que después debido a que son marginalmente estables.
3. Caídas, vuelco y deslizamientos de bloques de roca o tierra son los procesos de remoción que más se activan por los sismos. Pero los principales que causan muertes y daños materiales son las avalanchas y los flujos rápidos de tierra. Las áreas afectadas por los deslizamientos presentan una fuerte correlación con la magnitud del terremoto.

El conde Montessus de Ballore en “La Géologie seismologique” (geología sísmica) es uno de los primeros estudios realizados sobre el tema de los deslizamientos de laderas inducidas por un evento sísmico, la cual fue publicada en 1924. El contenido del libro describe detalladamente los diferentes casos históricos de los deslizamientos inducidos por sismos que han ocurrido a través del tiempo, también hace una descripción de los efectos geológicos que ocurren durante los sismos. Las características de los efectos son precisamente por los efectos de los mecanismos de cada sismo y a los diferentes entornos en que se presentan (Chaves, 2011).

Como no son muchas las investigaciones con respecto al riesgo a deslizamientos de laderas inducidas por la actividad sísmica, pues este trabajo se realiza con el propósito de buscar abarcarlo en todos los sentidos, además de plantear un modelo que nos ayude a clasificar las zonas con mayor o menor índice de susceptibilidad a estos fenómenos.

Por lo tanto, este capítulo corresponde al análisis de la susceptibilidad a los deslizamientos inducidos por sismos, iniciando con algunos casos análogos del mismo en diversos países del mundo a través de la historia y al mismo tiempo se plantean las diferentes metodologías para la estimación de probabilidades de falla o deslizamiento, la consideración de los factores lluvia y sismo como detonantes de un deslizamiento.

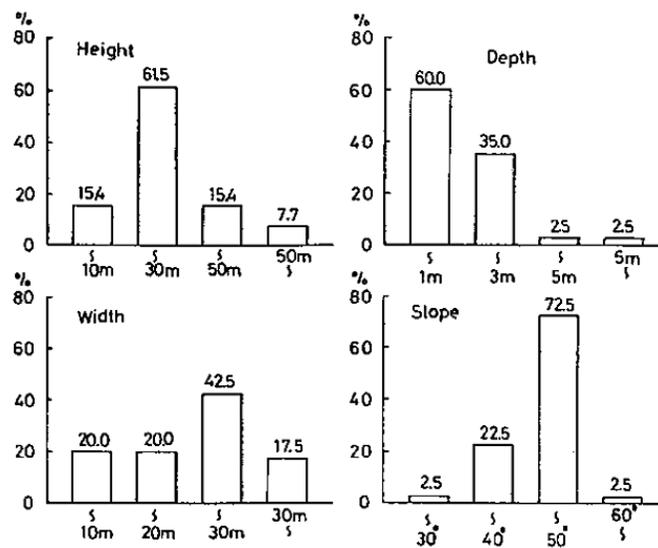
3.1 Estudios de casos análogos de los deslizamientos inducidos por sismos

3.1.1 Deslizamientos en Japón

Una compilación de deslizamientos debidos a eventos sísmicos en Japón fue presentada por Tanaka (1985). Estos casos ocurrieron durante el periodo de 1949 – 1984 y otros casos en Japón han sido reportados para terremotos individuales, los cuales son parte de la base de datos del presente estudio.

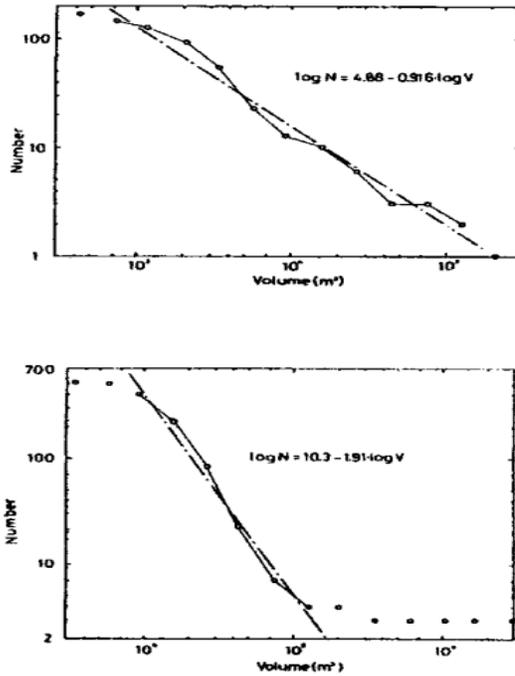
Kobayashi (1997), presenta un estudio comparativo de deslizamientos inducidos por sismos durante los terremotos de 1978, en Izuoshima y 1984, en Nagano-Ken; Kobayashi (1997), estableció que el 30% de las muertes producidas por éste terremoto fueron ocasionadas por deslizamientos, lo cual sirve como base para resaltar la importancia del análisis de riesgos que presentan este tipo de eventos. Adicional a lo anterior, Kobashi (1997), presenta una descripción de la distribución del área de deslizamientos y un análisis de las relaciones de ésta distribución con características del sitio tales como: topografía, clima y condiciones sísmicas. Para el terremoto de 1984, en Nagano-Ken, Kobayashi (1997), presenta un análisis estadístico del inventario de deslizamientos que obtuvo; éste análisis se resume en la imagen 18. La severidad de los daños debidos a los deslizamientos durante ambos terremotos fue comparada con base en ilustraciones de volumen-frecuencia.

Imagen 21. Características de los deslizamientos ocasionados por el sismo de Naganoken 1984 en Japón



Fuente: Kobayashi, 1997

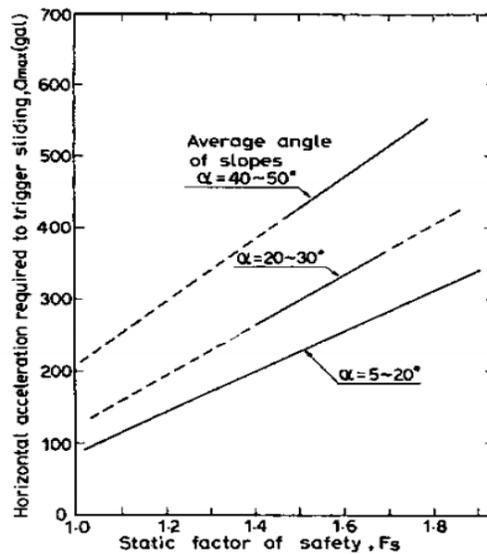
Imagen 22. Frecuencia de volumen de deslizamientos, durante el sismo de Izuoshima de 1978, Grafica Inferior área de Otaki durante el sismo de Nagano en 1984,



Fuente: Kobayashi, 1997

La aceleración mínima para cada deslizamiento de tierra desencadenado fue relacionada con el factor de seguridad estático, para los diferentes ángulos de laderas (Chaves, 2011).

Imagen 23. Aceleración crítica en función del factor de seguridad y el ángulo de inclinación de la ladera



Fuente: Ishihara & Hsu, 1986

3.1.2 Deslizamientos en el Salvador

Rymer & White (1989), presentan una compilación de la literatura de deslizamientos inducidos por terremotos en El Salvador; un resumen de esta compilación se presenta en la Tabla 8; adicionalmente dentro de esta tabla, se presentan las características principales de estos terremotos, es posible observar la distribución de las áreas afectadas por deslizamientos debido a casos históricos.

Tabla 7. Terremotos históricos causan deslizamientos en El Salvador

Año	Magnitud	Descripción del deslizamiento
1915	7.9	Muchos deslizamientos a través del oeste de El Salvador.
1919	6.0	Muchos deslizamientos en laderas del cerro San Jacinto.
1936	6.1	Muchos deslizamientos en laderas del volcán San Vicente.
1947	7.2	Deslizamientos en laderas del volcán Conchagua.
1951	6.0	Deslizamientos en las laderas del volcán cerca a Santiago de María.
1965	6.0	Deslizamientos desde San Salvador hasta el lago Ilopango.
1982	7.0	Muchos deslizamientos en el suroeste de San Salvador.
1986	5.4	Cientos de deslizamientos entre San Salvador y el Lago Ilopango con alrededor de unos 200 muertes y al menos 100 casas destruidas.

Fuente: Adaptado de Rymer y White, 1989

Estos autores establecieron que, el parámetro para la intensidad modificada de Mercalli de VII, es una mínima estimación de los límites de los deslizamientos inducidos por terremotos. Por otra parte, Rymer & White (1989), sugieren que el parámetro de intensidad (MMI) de VI se aproxima mejor al límite que asocia a los deslizamientos con terremotos.

Durante el presente estudio se encontró que no hay evidencia de que esta relación deba ser generalizada y el desarrollo de pequeños deslizamientos en áreas bajas depende de la susceptibilidad de las laderas. Además, los datos compilados por Rodríguez (2001), encontraron que los límites de Rymer & White (1989), para los terremotos de 1915 y 1982 eran más bajos que los límites actuales (Chaves, 2011).

3.1.3 Deslizamientos en México

México es un país cuyo territorio está conformado en dos terceras partes por sistemas montañosos, en los cuales se conjugan una serie de factores geológicos, geomorfológicos, estructurales y climáticos, que definen zonas de marcada inestabilidad en las cuales, desafortunadamente, existe desarrollo urbano y rural así como de infraestructura civil. Esto evidentemente coloca a un gran número de habitantes, de inmuebles y estructuras en una situación de riesgo potencial ante la generación de deslizamientos y derrumbes de roca, flujos de lodos y/o detritos así como otros procesos destructivos asociados a zonas montañosas. Los distintos tipos de procesos de remoción en masa presentes en el país y que causan daños a la infraestructura y a la población, están íntimamente ligados a las condiciones geológicas y estructurales del relieve, a la influencia del clima y en cierto grado, a la influencia antrópica (p.e. deforestación, cambios en el uso de suelo, crecimiento urbano desmedido).

Por lo anterior, resulta fundamental el conocimiento y el análisis de las distintas formaciones geológicas que conforman el territorio nacional, con el fin de establecer esquemas generales que relacionen al tipo de material con los problemas geotécnicos y de estabilidad de laderas que se pudiesen presentar. Esto puede ser útil para separar la intensidad y alcance de los distintos procesos de remoción de masas (PRM) asociados a cada formación geológica, establecer esquemas de mitigación y remediación, orientar acciones de gestión del riesgo a nivel regional y ser la base para gestiones a diferentes escalas (Miguel A. Jaimes Téllez, 2010).

o *Sismo de México en 1920*

El 3 de enero de 1920, un sismo con una magnitud estimada de 6,5 – 7, provocó un enorme flujo de detritos y de lodos, de 40 a 65 metros de altura sobre las barrancas. El material movilizado consistió de agua, cenizas y roca volcánica. La ciudad más afectada fue Barranca Grande, asentada sobre una parte plana, en la desembocadura del valle del Río Huitzilapan, 15 km pendiente debajo de la zona del epicentro. La cifra aproximada de muertos es de 600, de una población de 900 personas (Scott et al., 2001).

Imagen 24. Material movilizado durante el sismo del 3 de enero de 1920



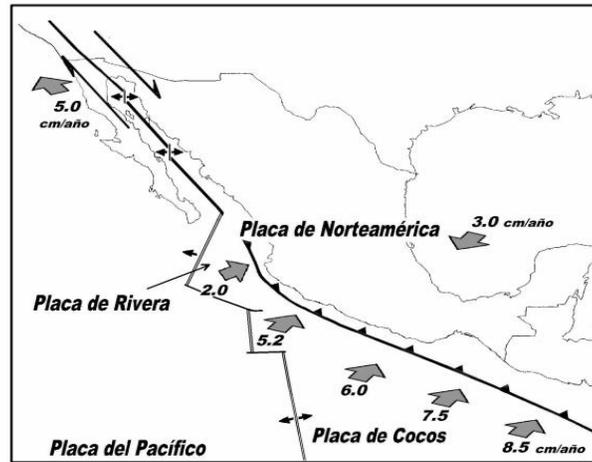
Fuente: Scott et al., 2001

o Sismo de Colima, Tecomán, 2003

El 21 de enero del 2003, se registró un sismo a las 20:06 h, tiempo local (02:06 h GMT), localizado por el Servicio Sismológico Nacional en 18.22° N y 104.6° O, frente a las costas de Colima, con magnitud 7.6 en la escala de Richter y profundidad de 10 km. El mecanismo focal corresponde a una falla inversa, lo cual indica que este temblor es típico de la zona de subducción, producto de la interacción entre placas.

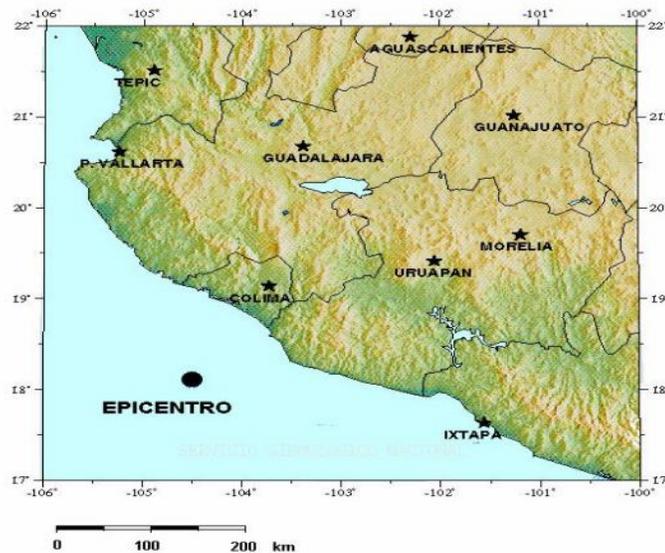
El epicentro se localiza muy próximo a la frontera entre las placas Rivera y Cocos las cuales penetran, en esa región, por debajo de la placa Norteamericana. El movimiento fue sentido con gran intensidad en toda la región, principalmente en Colima y parte de los estados de Michoacán y Jalisco, produciendo daños importantes en viviendas, interrupción de servicios telefónicos y de suministro de energía eléctrica, así como un buen número de deslizamientos en laderas naturales y taludes en carreteras. Este evento, considerado dentro del contexto sismológico de nuestro país como de gran magnitud, se origina en la zona de subducción ubicada a lo largo de la costa del Pacífico, entre los estados de Jalisco y Chiapas (Desastres, 2003).

Imagen 25. Distribución y tipo de desplazamiento de las placas tectónicas a lo largo de la costa occidental de México



Fuente: Servicio Sismológico Nacional, 2003

Imagen 26. Localización del epicentro del sismo del 21 de enero de 2003 M 7.6



Fuente: Servicio Sismológico Nacional, 2003

Cabe mencionar que el temblor de 1932 tuvo repeticiones importantes el 18 y 22 de junio, con magnitudes 7.8 y 6.9, respectivamente. Con base en el análisis de los daños y efectos producidos por sismos ocurridos en México durante los siglos XIX y XX, se ha observado que los eventos con magnitud superior que 7, cuyo epicentro se ubica cerca de áreas pobladas, como en este caso, comúnmente llegan a ocasionar daños estructurales significativos y, el colapso total o parcial en la vivienda de bajo costo (Desastres, 2003).

3.1.4 Otros deslizamientos inducidos por sismos a través de la historia

Tabla 8. Relación histórica de algunos deslizamientos activados por sismos y volcanes

Sitio del sismo	Fecha	Magnitud Richter	Materiales	Características de los deslizamientos	Vidas humanas
China Kanding-Louiding	1786			Deslizamiento gigantesco que produjo el desborde de una presa y como resultado, una gran inundación.	100.000
Italia, Calabria	1786			Los deslizamientos formaron cerca de 250 lagos.	50.000
Rusia, Tadzshik	1911	7.4	Roca	Deslizamiento de roca que destruyó el pueblo de Usoy y afectó al río Murgab en una longitud de 65 Km.	
China, Gansu	Dic 16, 1920	8.5	Loees	Un número no determinado de deslizamientos en un área de 67100 Km ² .	230.000
Rusia, Tadzshik	1949	7.5	Roca (granitos)	Empezó como un deslizamiento de rocas y se transformó en una inmensa avalancha de loees y residuos de granito.	20.000
Perú, Monte Huascarán	Enero, 1962	7.75	Residuales	Avalancha.	4.000 a 5.000
EE.UU, Alaska	1964	9.4	Arenas	Un gran deslizamiento relacionado con procesos de licuación destruyó parcialmente las ciudades Anchorage, Valdez, Whittier, Seward.	
Perú, Monte Huascarán	Mayo 31, 1970	7.7	Residuales	Avalancha de detritos sepultó el pueblo de Yungay y Ranrahirca y un número grande de deslizamientos en un área de 30.000 Km ² .	40.000
Guatemala	Feb 4, 1976	7.5	Depósitos de piedra pómez y sus suelos residuales	Más de 10.000 caídos y deslizamientos de residuos de taludes casi verticales. El movimiento sísmico rompe la cohesión o cementación de materiales duros pero frágiles.	
Nueva Guinea	1986	7.1	Residuos de roca	Una avalancha formó una presa de 210 metros de altura y un lago de 50 millones de m ³ . Al fallar la presa produjo un flujo – avalancha de 100 metros de espesor con residuos saturados.	
Ecuador	Marzo 5, 1987	6.9	Residuales	Varios miles de deslizamientos de roca suelo y lodo destruyeron casi 70 kilómetros de un oleoducto y varias carreteras.	1.000
Nikawa (Japón Kobe)	Enero 1995	7.2	Relleno con suelos residuales de granito	Destruyó 11 casas. El volumen del deslizamiento fue de 120.000 m ³ .	34 muertos

Fuente: Suarez, 2009

3.2 Enfoques metodológicos para la evaluación de peligros y riesgos geológicos

En el último tiempo diversos autores han desarrollado en el mundo una serie de metodologías, utilizando diferentes herramientas, que buscan evaluar los procesos de generación de remociones en masa. Estos fenómenos han adquirido gran importancia dentro de los eventos naturales, principalmente asociados a los cambios climáticos que se han experimentado a nivel mundial. De manera general, estas metodologías tienen la característica de ser aplicables en zonas limitadas de estudio de acuerdo a sus características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, climáticas, entre otras.

El escenario global en que se desarrollan estas metodologías está asociado a los parámetros de análisis o a las herramientas que se utilizan para evaluar el peligro o el riesgo geológico.

Aleotti & Chowdhury (1999) presentan un escenario cuantitativo y uno cualitativo para la evaluación del peligro geológico. La experiencia en terreno y la generación de mapas de parámetros índices sobrepuestos son la base para la determinación cualitativa de susceptibilidades y peligros geológicos. En tanto el estudio cuantitativo está dado por análisis estadísticos, análisis geológicos-geotécnicos determinísticos o probabilísticos y generación de redes neuronales.

Popescu (2002) se basa en la evaluación de dos grupos de factores para determinar la generación de un evento de remoción en masa: los factores que preparan a la ladera y que la convierten en un zona susceptible de ser movilizada (que corresponde a los factores condicionantes) y los gatillantes, que se encargan de desencadenar el evento.

Para esta investigación presentamos una revisión bibliográfica de metodologías existentes para la evaluación del peligro o del riesgo geológico, dividiéndolas, de acuerdo al escenario propuesto por Aleotti & Chowdhury (1999), en metodologías cualitativas, cuantitativas o mixtas (Del Pilar, 2007).

3.2.1 Metodologías cualitativas

Entre las metodologías revisadas, (Parise, 2001) presenta como método de evaluación de peligro geológico la generación de cuatro tipos de mapas, para la representación cartográfica de movimientos de laderas. Dentro de éstos se cuentan los mapas de inventario, que corresponden a un catastro de eventos anteriores y delimitan las unidades geomorfológicas asociadas a éstos. Este tipo de mapas intenta presentar una zonificación preliminar de áreas afectadas por deslizamientos.

Lo siguen los mapas de actividad, que presenta un monitoreo de los deslizamientos activos al comparar en el tiempo el desplazamientos de las laderas. Los mapas de susceptibilidad, en tanto, muestran una zonificación base para planes de desarrollo de emergencia orientados a prevención y mitigación de daños. Por último los mapas de vulnerabilidad, que son orientados a la distribución y evaluación de elementos en riesgo.

Donatti & Turrini (2002) proponen un método que permite ponderar según su importancia los diversos factores que influyen en la generación de deslizamientos. En éste, mediante la generación de mapas se estudia el área afectada por escarpes de deslizamientos con respecto a los factores condicionantes determinados, que corresponden, entre otros, a litología, orientación de laderas, presencia de lineamientos y fallas (Del Pilar, 2007).

3.2.2 Metodologías cuantitativas

Entre las metodologías revisadas en este capítulo, se encuentran algunas metodologías cuantitativas, probabilísticas y/o determinísticas, o estadísticas, enfocadas tanto al estudio de factores condicionantes como gatillantes.

La evaluación del riesgo geológico ante eventos de remociones en masa ha sido abordada por Kong (2002), quien presenta un método evaluativo aplicado en la ciudad de Hong Kong. Este método se basa principalmente en la estimación de la probabilidad de ocurrencia de muerte producto de remociones del tipo derrumbes o deslizamientos. Esto seguido de un análisis de costo v/s beneficio para las medidas de mitigación y prevención propuestas (Del Pilar, 2007).

Luzi et al. (2000) centran su estudio en el análisis determinístico de peligro geológico, basándose en el cálculo de factores de seguridad para la estabilidad de laderas. Presentan un método basado en cálculos locales de los factores de seguridad, generando mapas locales mediante la utilización de SIG, para finalmente realizar un “promedio” de estos mapas para la zona de interés.

Por su parte, Haneberg (2000) se centra en el análisis cuantitativo de peligros geológicos, tanto probabilísticos como determinísticos. Para el primer caso, presenta modelos racionales para casos de parámetros que pueden ser explicados físicamente, con variables que corresponden a las propiedades de los materiales involucrados; y modelos probabilísticos empíricos para casos de variables desconocidas, como son los fenómenos naturales como la recurrencia de inundaciones, tormentas o terremotos.

3.2.3 Metodologías mixtas

Sepúlveda (1998, 2000) elaboró una metodología para la evaluación de peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos, aplicada en la Quebrada Lo Cañas en la zona oriente de Santiago (Sepúlveda & Rebolledo, 2000). Esta metodología tiene un carácter cualitativo al identificar los principales factores condicionantes para la generación de flujos detríticos, incluyendo una parte cuantitativa al otorgar a cada factor una ponderación que en conjunto permite estimar un grado de susceptibilidad de ocurrencia del fenómeno en zonas cordilleranas, con la lluvia como agente gatillante.

Raetzo et al. (2002) presentan una pauta para la evaluación de peligro ante eventos de remoción en masa y manejo del riesgo acompañado de planes de actividades para prevención y mitigación de daños. Presentan tres etapas principales, partiendo por la identificación de peligro mediante la generación de mapas y registro y categorización de los eventos.

Por otro lado, Alleoti et al. (2004) intentan obtener un nivel crítico estadístico de precipitaciones para la generación de deslizamientos superficiales. Se establece la diferencia entre los deslizamientos superficiales generados por lluvias críticas y deslizamientos más profundos generados por precipitaciones acumuladas (Del Pilar, 2007).

3.2.4 Análisis de la actividad de los deslizamientos

Este análisis se basa en la interpretación multitemporal de fotografías aéreas (Canutti et al., 2000 y 2004) para obtener un mapa de actividad de deslizamientos. Se estudian las primeras roturas y reactivaciones de un mismo deslizamiento a lo largo de un periodo de tiempo, obteniendo una serie de datos útiles para la estimación del periodo de recurrencia de la actividad del deslizamiento en cuestión.

3.2.5 Análisis de la susceptibilidad geomorfológica

Se basa en la cartografía de deslizamientos y de procesos geomorfológicos asociados. La elaboración del mapa de susceptibilidad combinado está basado en la cartografía de “testigos silenciosos” (Kienholz, 1977). El grado de susceptibilidad se evalúa en cada lugar del terreno en relación a unos criterios de expertos. Es un método subjetivo, cuyos resultados no pueden ser reproducidos por otro autor. Algunos ejemplos de análisis geomorfológicos son Brunsdén et al. (1975), Kienholz (1977, 1978), Malgot y Mahr (1979), y Petley y Murphy (2000).

3.2.5 Análisis de las unidades de paisaje o Land System

Según van Westen (1993), es un método de reconocimiento rápido en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos sobre grandes áreas, generalmente a escala regional. Este método se basa en asumir que el paisaje se puede dividir en áreas con una combinación de geología, formas de terreno, suelos, vegetación y procesos asociados. Se evalúa la distribución de deslizamientos para cada forma de terreno. De ese modo, se cartografían las formas del terreno que son asociadas a unidades del terreno (Del Pilar, 2007).

3.3 Estimación del peligro sísmico y la metodología de evaluación

Existen métodos que definen, en términos de factores de susceptibilidad, la ocurrencia de un deslizamiento de laderas, como es el caso del método Mora-Vahrson (Mora y Vahrson, 1994), ampliamente utilizado en Latinoamérica por la sencillez en su aplicación a niveles regionales (Mora y Vahrson, 1993). Los indicadores anteriormente descritos se combinan considerando un peso ponderado que define el valor relativo de la amenaza por deslizamientos en términos cualitativos. Este método no tiene bases robustas que representen este fenómeno físico, y no proporciona información sobre la ocurrencia de dicho fenómeno.

Por ello, se han continuado desarrollando metodologías basadas en la propuesta originalmente por Newmark (Jibson et al. 1998; Mankelov y Murphy, 1998; Jibson et al. 2000; Miles y Keefer, 2000, 2001; Rathje y Saygili, 2006). El esquema se ha validado para calcular deslizamientos importantes como los producidos en el sismo de Irpinia de 1980 (Del Gaudio y Wasowski, 2004) y Northridge de 1994 (Jibson et al. 2000; Jibson, 2007), y para la predicción de futuros escenarios (Del Gaudio y Wasowski, 2004). Estos estudios involucran el uso de sistemas de información geográfica (SIG) en el que se realizan estimaciones puntuales del desplazamiento para el sitio de interés.

En la literatura existen diferentes modelos de regresiones empíricas para estimar el desplazamiento de Newmark como función de la aceleración crítica (Ambraseys y Menu, 1988; Jibson, 2007), la relación entre la aceleración crítica y la magnitud del sismo (Jibson, 2007) y la intensidad de Arias y la aceleración crítica (Jibson, 1993; Jibson et al. 1998, 2000; Jibson, 2007), y la aceleración máxima del suelo y la aceleración crítica (Jibson, 2007).

El este capítulo se desarrolla con una estimación del peligro sísmico en donde se describen las fuentes sísmicas, los efectos que pueden tener y los comportamientos de taludes y además, se describe la metodología a utilizar en esta investigación para la estimación de la amenaza en los deslizamientos de laderas.

3.4 Fundamentos entorno al riesgo sísmico

El riesgo sísmico se define como la función de probabilidad de pérdidas derivadas de los daños a un elemento o conjunto de elementos (una ciudad) como consecuencia de la acción de los terremotos (Berenguer, 1999).

En otras palabras, se enmarcan dentro del riesgo sísmico las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado del fallo de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por los esfuerzos estructurales derivados de la acción de un terremoto. El riesgo se estima mediante la convolución entre la peligrosidad, asociada a las características geológicas y sísmicas, y la vulnerabilidad, asociada a las tipologías constructivas y sus capacidades resistentes, correspondiente a cada nivel de severidad considerado para el sismo. Las consecuencias pueden ser de tipo físico, económico, financiero, social, humano, etc.

De lo determinado del informe "Desastres naturales y análisis de vulnerabilidad" (UNDRO-UNESCO), se desprende que en la determinación del riesgo existen tres componentes esenciales, cada una de las cuales debe cuantificarse individualmente:

- La probabilidad de acontecer la amenaza: es decir, la posibilidad de experimentar una amenaza natural o tecnológica en un lugar o región. La amenaza, también denominada peligrosidad, de forma matemática se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con cierta intensidad, en un cierto sitio y en cierto periodo de tiempo.
- Los elementos en riesgo: identificación y preparación de un inventario de la población, edificaciones u otros elementos que podrían verse afectados en caso de ocurrir la amenaza y, donde sea necesario, la estimación de su valor económico.
- La vulnerabilidad de los elementos en riesgo: se refiere al daño que sufrirá la población y las construcciones u otros elementos si experimentan algún nivel de peligro.

Cada uno de estos componentes no representa uno sino varios parámetros a ser evaluados (Quirós, 2017).

La cuantificación de la probabilidad asociada a la amenaza implica no sólo la probabilidad de que ocurra un terremoto, por ejemplo, sino también la probabilidad de que se excedan movimiento de una gran variedad de intensidades.

Según la definición de (UNDRO, 1980) el Riesgo Sísmico R , en una determinada población, se define como:

$$\text{Riesgo Sísmico} = [H] \times [V] \times [E] \times [C]$$

Esta fórmula representa a la H como la peligrosidad o amenaza sísmica que expresa el movimiento esperado en la población, V como la vulnerabilidad de las estructuras, E la exposición o densidad de estructuras y habitantes y C coste de reparación o de pérdidas.

Esta definición nos dice que ante los movimientos estimados del cálculo de la peligrosidad o amenaza, el riesgo se encuentra en el factor económico por el coste de reparación en las edificaciones que sufren daños por los diversos sismos.

Consecuentemente en el riesgo sísmico influyen los siguientes factores:

- Probabilidad de que se produzca un evento sísmico que genere movimientos de cierta intensidad.
- Posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas, directividad, etc.
- Vulnerabilidad de las construcciones.
- Existencia de habitantes y bienes que puedan ser perjudicados.

El desarrollo y, sobre todo, la aplicación de diferentes metodologías de modelado del riesgo sísmico deben adaptarse, en cada caso, al nivel de información disponible. Dicha información varía en gran manera según las regiones, y suele estar directamente relacionada con el nivel de amenaza sísmica y el desarrollo socioeconómico de la zona de estudio. Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una avanzada herramienta de ayuda en la toma de decisiones, que debe emplearse en los estudios de riesgo, especialmente en la creación de escenarios de riesgo en zonas urbanas, en las cuales se hace imprescindible la gestión de una gran cantidad de información espacial y temática (Quirós, 2017).

3.4.1 Peligrosidad sísmica

La peligrosidad sísmica se define como la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado (UNDRO, 1980).

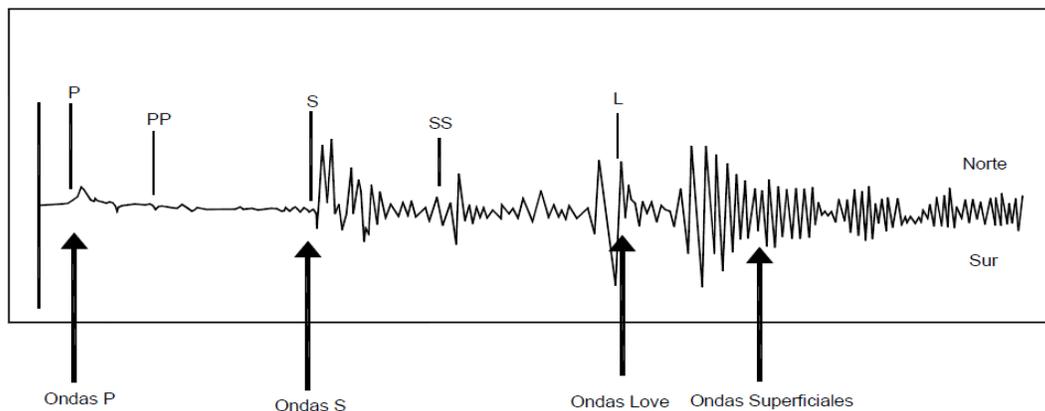
La evaluación de la peligrosidad, es decir la caracterización del movimiento esperado en un cierto emplazamiento, requiere, con independencia de la metodología empleada, agregar la contribución de tres factores:

- a. *Fuentes sísmicas.* Supone la identificación de las fuentes potencialmente activas que afectan al emplazamiento de estudio y con la consiguiente caracterización de la sismicidad que en ellas puede generarse. Dependiendo del planteamiento del estudio (determinista o probabilista) deberán determinarse los sismos máximos potenciales, es decir la magnitud máxima M_{max} o bien los patrones de sismicidad de cada zona por medio de leyes de recurrencia, que reflejen la frecuencia de ocurrencia de sismos de diferente magnitud. En cualquier caso, caracterizar la fuente implica conocer una medida de la energía que puede liberarse por sismos futuros.
- b. *Atenuación del movimiento.* La energía liberada en la fuente se propaga en forma de ondas sísmicas cuya amplitud se atenúa en su trayecto desde la fuente al emplazamiento de estudio. Este efecto de atenuación es incluido por medio de modelos empíricos o teóricos. Estos modelos reflejan la atenuación del movimiento del terreno como una función de muchas variables tales como la magnitud del terremoto, la distancia, el mecanismo de falla, la presencia potencial de efectos de directividad, etc.
- c. *Efecto local.* La geología local y la topografía del emplazamiento de estudio pueden alterar de forma muy significativa las ondas incidentes sobre la base rocosa, produciendo cambios importantes tanto en las amplitudes como en las frecuencias del movimiento. Este efecto es conocido como efecto local o de sitio y debe cuantificarse en función de las características litológicas, topográficas y de la estructura del subsuelo bajo el emplazamiento en cuestión (Quirós, 2017).

3.5 Comportamientos sísmicos en los deslizamientos de laderas

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas. Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados (Suarez, 2009).

Imagen 27. Llegada de las ondas sísmicas. Primero, se sienten las ondas P, luego las S y finalmente, las ondas Love y las ondas superficiales



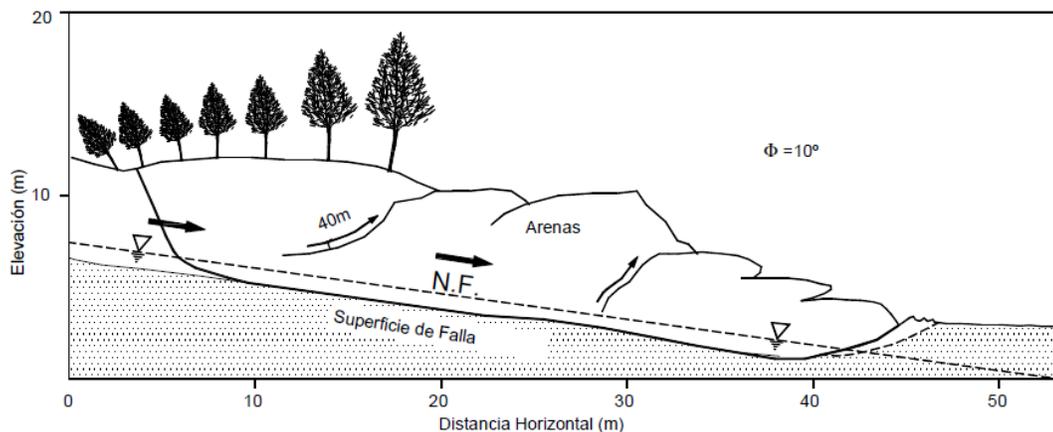
Fuente: (Suarez, 2009)

Históricamente, los deslizamientos han generado en ocasiones, mayor cantidad de muertos que el colapso de estructuras. Los factores que deben tenerse en cuenta para los análisis de taludes y laderas expuestos a eventos sísmicos son los siguientes:

- El valor de las fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas de suelo potencialmente deslizables.
- La disminución de la resistencia debida a las cargas vibratorias, las cuales inducen las deformaciones cíclicas. La resistencia puede disminuirse en más del 50% en suelos sensitivos y en la mayoría de los casos, la disminución de resistencia puede llegar a un 20% durante el sismo (Makdisi F.I., 1978).

- El aumento de la presión de poros especialmente en los suelos limosos y de arenas finas, en los cuales se puede producir una disminución de resistencia tal, que produzca el fenómeno de licuación (imagen 41).
- El aumento de la fuerza sísmica generado por la amplificación en los mantos de suelos blandos.
- La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de resonancia relacionados con la similitud entre la frecuencia natural de vibración del talud y del evento sísmico.
- La magnitud de las deformaciones en la masa de suelo.
- La licuación. Los mantos de arenas saturadas sueltas, son muy vulnerables a la licuación durante los sismos. Los rellenos o capas de materiales que se encuentran sobre estos suelos licuables pueden deslizarse durante los terremotos como ha ocurrido en Chile, Alaska y Japón (Seed, 1970).

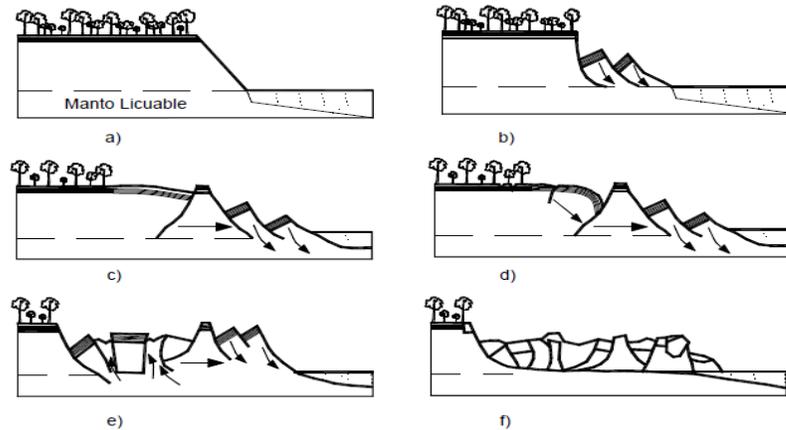
Imagen 28. Deslizamiento de Takarazuka en el Japón activado por un sismo



Fuente: (Suarez, 2009).

Las situaciones adquieren alto grado de criticidad cuando se combinan altas susceptibilidades, debidas a factores topográficos, geológicos, climáticos y sísmicos. Un caso ocurrido fue la avalancha de Páez en Colombia en 1994, en la cual un sismo de magnitud 6.4, ocurrió justo en una temporada de intensas lluvias, encontrándose los suelos residuales saturados e intensamente meteorizados en un área de fuertes pendientes topográficas y se produjeron múltiples deslizamientos de áreas muy grandes. La coincidencia de un sismo con temporadas de lluvias es muy común en las zonas tropicales, donde las épocas de lluvias duran varios meses (Suarez, 2009).

Imagen 29. Deslizamiento por licuación en el momento de un sismo en Alaska -1964



Fuente: (Suarez, 2009)

3.5.1 Sismicidad

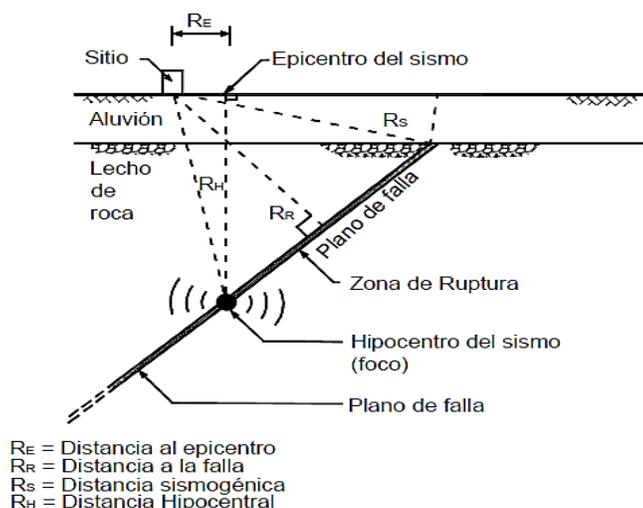
Cuando se produce la fractura de la roca en una zona de falla geológica, la energía liberada es radiada en todas las direcciones. La fuente del movimiento o zona de liberación de energía no es generalmente un punto, sino una línea o un área comúnmente alargada en la dirección de la falla. La profundidad del foco o hipocentro determina en buena parte, la magnitud del sismo y sus efectos. Los sismos que generalmente producen un mayor daño son los sismos relativamente superficiales.

El área de superficie inmediatamente encima del área de liberación de energía, se denomina epicentro o área epicentral. La gran mayoría de los grandes deslizamientos y agrietamientos del suelo, de gran magnitud, corresponden al área epicentral y van disminuyendo a medida que el punto considerado se aleja del área epicentral y la intensidad del sismo disminuye. Existen dos parámetros importantes para designar el tamaño y la fuerza de un sismo, la magnitud que mide la energía del sismo y la intensidad que valora los efectos en el sitio.

3.5.2 Magnitud

La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación (Suarez, 2009).

Imagen 30. Algunas distancias para los estudios de ingeniería sísmica



Fuente: (Kavazanjian y otros, 1997).

Richter (1935) definió la magnitud de los sismos locales como: “El logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de la onda sísmica, expresada en milésimas de milímetro (micrones), registrada en un sismómetro estándar a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del evento”.

$$M = \text{Log}A + f(d, h) + C_S + C_R$$

Dónde:

A = Amplitud de la onda.

F (d , h) = Corrección por distancia focal y profundidad.

CS y CR = Corrección de la estación y corrección regional.

Es evidente que la incidencia de casos de inestabilidad aumenta con la magnitud del sismo, especialmente cuando la magnitud del sismo es de seis o mayor y la fuente de liberación de energía es poco profunda, caso en el cual la posibilidad de fallas por licuación aumenta (tabla 10).

La magnitud y la profundidad del epicentro en forma conjunta, determinan la intensidad del sismo y la activación de deslizamientos. A mayor magnitud y menor profundidad del sismo, los deslizamientos son más probables y de mayor tamaño (Suarez, 2009).

Tabla 9. Posibilidad de deslizamientos causados por sismos

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelo y alteración de masas de suelo.
4.5	Deslizamiento de translación, rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca.
6.5	Avalanchas de suelo.

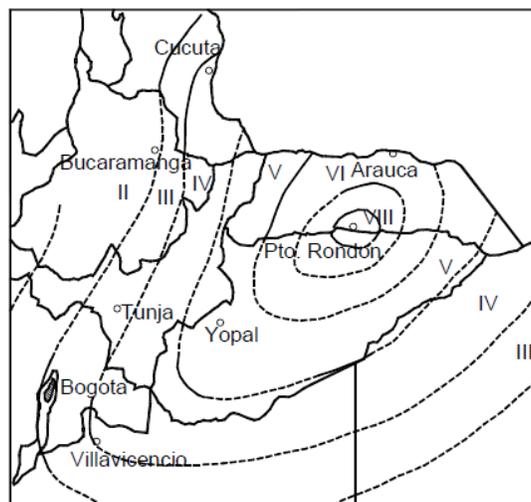
Fuente: (Keefer D. , 1984).

3.5.3 Intensidad

La intensidad sísmica es un concepto que se aplica a la identificación del grado de destrucción o efectos locales de un terremoto. La intensidad, que es una medida relativa de la fuerza sísmica en un punto determinado, depende de la magnitud del sismo, la profundidad de la zona de liberación de energía, de las características físicas locales del sitio y la distancia del sitio al área epicentral.

La intensidad se puede medir utilizando la escala propuesta por Mercalli (1902) (tabla 11). La intensidad disminuye con el aumento de la distancia al epicentro, ver imagen 43 (Suarez, 2009).

Imagen 31. Mapa de Isosistas del Sismo de Puerto Rondón, Colombia 1993



Fuente: (Romero y otros 1994).

Tabla 10. Escala de intensidad Mercalli modificada

Grado	Descripción
I	No es sentido por las personas, pero es registrado por los instrumentos sismográficos.
II	Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores, los objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en los pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como un sismo. Es una vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano, los objetos suspendidos oscilan.
IV	Objetos suspendidos oscilan visiblemente, la vibración es semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, los vehículos estacionados se bambolean, la cristalería y los vidrios suenan, las puertas y paredes de madera, suenan.
V	Sentido aún en el exterior de los edificios, permite estimar la dirección de las ondas, las personas dormidas se despiertan, el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar; los objetos inestables son desplazados, las puertas giran y se abren o cierran, los relojes de péndulo se paran.
VI	Sentido por todas las personas, muchos sufren pánico y corren hacia el exterior, se tiene dificultad en caminar establemente, los vidrios y vajillas se quiebran, los libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes, los muebles son desplazados o volcados.
VII	Se tiene dificultad en mantenerse parado, es percibido por los conductores de vehículos en marcha, los muebles se rompen, daños y colapso de mampostería tipo D, algunas grietas en mampostería tipo C, las chimeneas se fracturan a nivel de techo, caída del revoque de mortero, tejas, cornisas y parapetos sin anclajes.
VIII	La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B, ningún daño en mampostería tipo A, caída del revoque de mortero y de algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados.
IX	Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aún colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daño a fundaciones, daños y colapso de estructuras aporricadas.
X	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidos, algunas construcciones de madera de buena calidad dañada, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebasa en los bordes de ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
XI	Los rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.
XII	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionadas, objetos lanzados al aire.

Fuente: (Suarez, 2009).

3.5.4 Aceleración pico (PGA)

La aceleración máxima (PGA) horizontal es el valor absoluto de la aceleración horizontal obtenida de un acelerograma tomando la suma de dos componentes ortogonales. La aceleración producida por un sismo, la cual está relacionada con la intensidad del movimiento en un determinado sitio, es el parámetro más comúnmente utilizado para determinar los parámetros que se van a utilizar en el análisis sísmico de taludes.

Las aceleraciones verticales han recibido una atención menor que las horizontales, debido a que se supone que su efecto sobre las estructuras y taludes es menor. Generalmente, se asume que la aceleración pico vertical es los dos tercios de la aceleración pico horizontal; sin embargo, en sitios muy cercanos al área epicentral, las aceleraciones verticales adquieren valores mayores y en sitios muy alejados valores mucho menores. Usualmente, se utiliza el parámetro PGA para la evaluación sísmica de taludes. Sin embargo, la capacidad de un sismo para activar deslizamientos depende no solamente de la amplitud de la onda, sino también, de su contenido de frecuencias y la duración del sismo.

Los movimientos con picos altos de aceleración no son necesariamente más destructivos que aquellos con picos menores, debido a que el tiempo de ocurrencia del sismo interviene en forma importante en el comportamiento tanto de las estructuras como de los suelos, (Housner, 1970).

Tabla 11. Aceleración máxima y duración de sismos

Magnitud (M)	Duración (Segundos)	Aceleración Máxima (% g)
5.0	2	9
5.5	6	15
6.0	12	22
6.5	18	29
7.0	24	37
7.5	30	45
8.0	34	50
8.5	37	55

Fuente: Housner, 1970

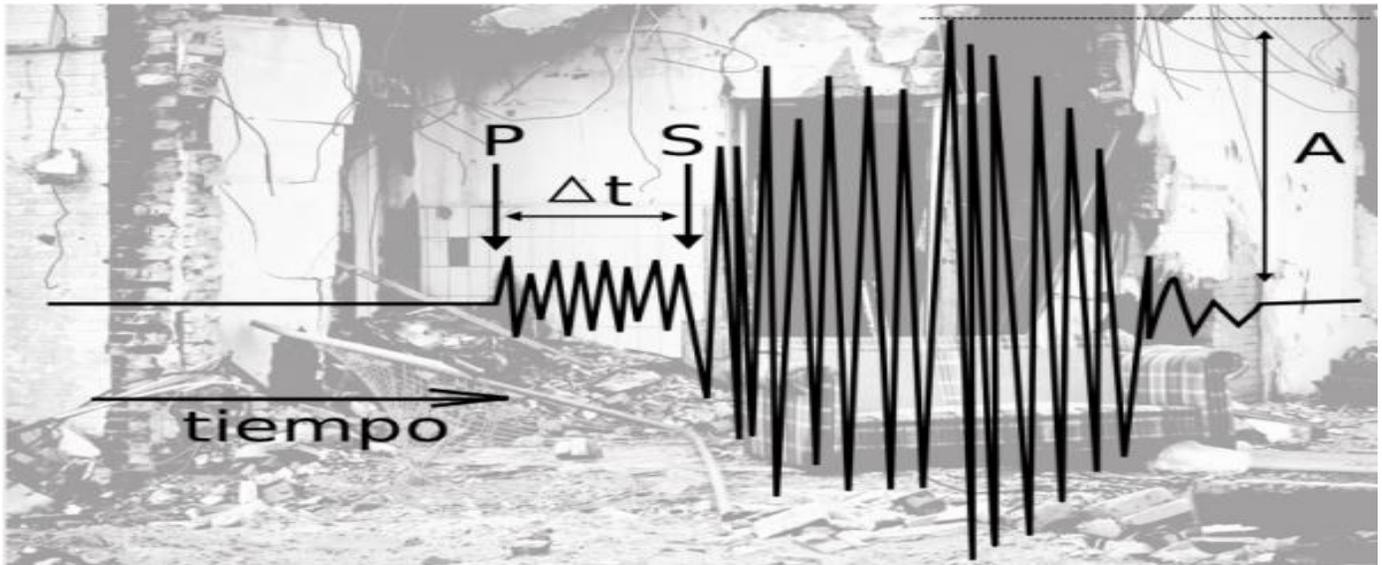
3.6 Incertidumbres y enfoque cualitativo de análisis

La evaluación del fenómeno de deslizamiento de una ladera es típicamente un problema geotécnico, toda vez que la caracterización mecánica del fenómeno es un aspecto para el que la ingeniería geotécnica dispone de diferentes técnicas.

Morgenstern (1997) llama la atención sobre el hecho de que los problemas de deslizamientos están dominados por la incertidumbre, tanto en laderas naturales como en taludes artificiales. Las incertidumbres provienen de las diversas etapas en que se afronta el problema, ya que se tienen en la caracterización del sitio y en la determinación de las propiedades de los materiales, así como en el análisis de la estabilidad de la ladera.

De acuerdo con experiencias en el tema de la evaluación del riesgo por inestabilidad de laderas que se practican en otros sitios del mundo como Japón, Hong Kong y Estados Unidos de América, la identificación de los atributos geotécnicos, geológicos y topográficos permite hacer una estimación cualitativa del peligro de un deslizamiento. Así, la distinción de los rasgos geotécnicos, geológicos y geomorfológicos que indican la posibilidad de un deslizamiento, pueden agruparse en una tabla o formato de evaluación de campo asignándoles valores numéricos cuya magnitud indique el grado del peligro o posibilidad de deslizamiento de una ladera.

Se llama la atención, sin embargo, que los valores que se asignan a cada rubro tienen un sustento empírico, por lo que se deben ir ajustando regionalmente para involucrar las experiencias que se hayan tenido en el pasado reciente o las que se vayan generando. Esto es, que en cada caso en que se desee utilizar esta metodología, deberá considerarse como uno más dentro del contexto de la información global disponible para esa zona o región. Así, las calificaciones asignadas a los diversos rubros y a los umbrales considerados en los diferentes peligros, deberán revisarse y ajustarse a la luz de las experiencias históricas del comportamiento de las laderas de una región. El desarrollo de metodologías para la evaluación del riesgo de laderas, requiere del estudio y de la documentación de casos historia que sirvan como sustento técnico para generar una base de datos confiable, con la cual se puedan reafirmar y recalibrar las metodologías propuestas (Gutierrez, 2006).



Fuente: Obtenido de <http://www.psyma.com>, Noviembre 2018

CAPÍTULO 4

LA INESTABILIDAD DE LADERAS INDUCIDA POR SISMOS Y SU METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

4.1 Inestabilidad de laderas en el Estado de Guerrero

4.1.1 Factores meteorológicos

Por su ubicación geográfica, el Estado de Guerrero se encuentra directamente dentro de la zona tropical, correspondiéndole un clima cálido. Se caracteriza por tener su época de lluvias ubicada en la mitad calurosa del año, que abarca de mayo a finales del mes de octubre.

La precipitación puede ser escasa o abundante dependiendo del lugar de observación, pero siempre se alterna con un período extremadamente seco, ubicada en la mitad “fría” del año, esto es de noviembre hasta abril. Los máximos de precipitación acontecen por lo general en los meses de agosto y septiembre, meses en que los ciclones tropicales tienen mayor probabilidad de formación en el Pacífico Nor-Oriental. Es precisamente en la temporada de lluvias cuando aumenta la incidencia de deslaves en el Estado.

Tan sólo tres huracanes, el “Tara” (1961), “Gilberto” (1988) y el “Paulina” (1997), han ocasionado la cifra de mil cien personas muertas, muchas de ellas por flujos y deslaves a causa de las precipitaciones, datos que llegan a ser ignominiosos si le agregamos que casi un millar de personas fueron reportadas como desaparecidas a causa de estos eventos.

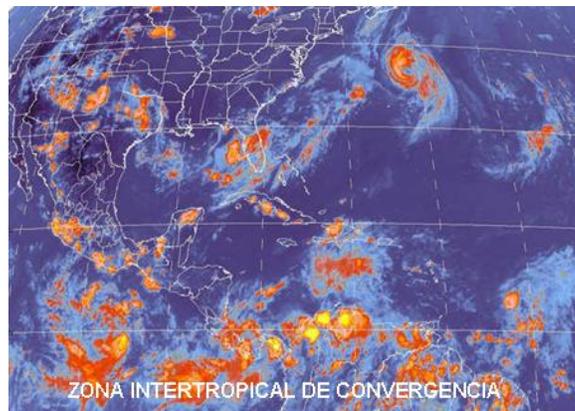
Algunos meteoros que han impactado fuertemente al Estado son:

- **Tara.-** Noviembre/11/de 1961. Este huracán causó la muerte de 400 personas en la zona de Técpan de Galeana y provocó el desbordamiento del Río Camarón, ocasionando inundaciones en La Sabana, Tres Palos y la Costera Miguel Alemán, en Acapulco. Causó innumerables deslaves y daños económicos por más de 10 millones de pesos en todo el Estado.
- **Gilberto.-** Septiembre/1988. Este ciclón tropical es el que más víctimas y daños materiales había dejado antes del huracán Paulina. La precipitación de lluvia durante 24 horas fue de 320 mm., provocando pérdidas materiales mayores a los 800 millones de dólares y 300 víctimas.

- **Paulina.-** Octubre/7/de 1997. El peor de los fenómenos hidrometeorológicos registrados en las Costas del Pacífico, ocasionando los siguientes daños: destrucción de 5,000 casas habitación, 25,000 casas afectadas por daños menores, 3,067 viviendas quedaron sin techo y más de 10,000 familias damnificadas, 12 puentes derribados, más de 2,000 caminos rurales destruidos, 15 torres de conducción de energía eléctrica derribadas, provocó la muerte de 217 personas, según datos oficiales, pero la Cruz Roja contabilizó más de 400 muertos tan sólo en Acapulco.

Otro fenómeno que afecta grandemente al Estado, dado su cercanía y efectos a distancia que genera es la zona intertropical de convergencia. Como se sabe los vientos alisios de ambos hemisferios se encuentran en una zona estrecha, produciendo convergencia a gran escala. Estos vientos están, separados por zonas de calmas ecuatoriales y dan lugar a la llamada zona intertropical de convergencia, que se caracteriza porque origina mal tiempo en una gran extensión.

Imagen 32. Zona intertropical de convergencia mostrando su influencia sobre el Estado de Guerrero



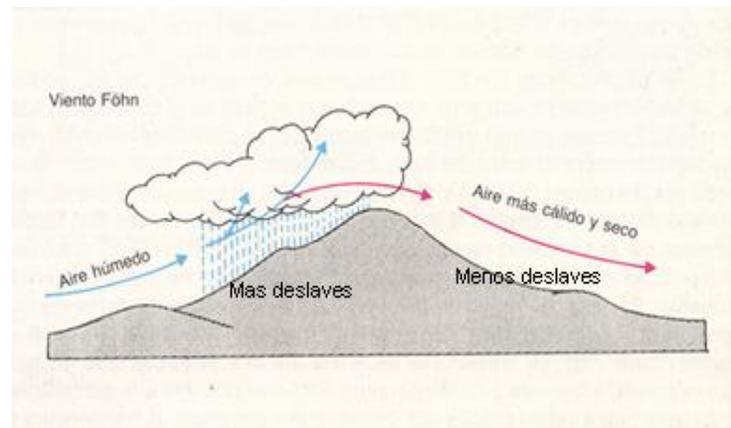
Fuente: (Gonzalez, 2009)

- Afectaciones en el estado.
- La zona intertropical de convergencia, independientemente, puede ocasionar en forma aislada de moderada a fuerte actividad convectiva.
- Puede interactuar con la circulación de un sistema de baja presión (Gonzalez, 2009).

- Puede favorecer la entrada de aire marítimo tropical con gran contenido de humedad por el litoral del Pacífico. Este hecho es el que desencadena la mayor parte de los deslaves que ocurren en la zona montañosa de Guerrero.
- Y, puede propiciar desprendimientos de masas nubosas de fuerte actividad convectiva originados por la influencia de una onda tropical.

Las afectaciones se dan principalmente en la zona costera, lado barlovento y parte alta de la Sierra Madre, esto como consecuencia del reforzamiento orográfico que sufre la convección, a pesar del hecho de que esta zona recibe la mayor parte de las precipitaciones, la ocurrencia de deslaves es menor, por ejemplo: las reportadas en localidades de la montaña, donde la desertificación y desmonte de la cubierta vegetal es extensiva.

Imagen 33. Gráfica que muestra la incidencia de deslaves relacionada con las zonas de precipitación en el Estado



Fuente: (Gonzalez, 2009)

Durante la época de lluvias, el Estado no solo está expuesto a los embates de los sistemas ciclónicos, sino además al paso de las ondas tropicales y tormentas locales. La mayoría de los deslizamientos en el Estado están relacionados con tormentas locales fuertes, que producen un rápido humedecimiento del suelo y saturación del terreno, ocasionando un incremento en la presión de poro desencadenando flujos y deslaves. El paso de éstas ondas tropicales, muchas veces causa más desastres en el Estado que los ciclones tropicales, ya que sus efectos se manifiestan en todo el territorio estatal, a diferencia de los huracanes que rara vez tocan tierra (Gonzalez, 2009).

4.1.2 Factores geomorfológicos

Prácticamente el 90% del Estado se encuentra en zona de pendientes fuertes, lo cual se debe a que es atravesado por la Sierra Madre del Sur. Ver imagen 35. Este factor ha originado que año con año se presenten innumerables deslaves en casi todo el territorio. Aunado a lo anterior, se suman para la detonación de deslizamientos lo comentado arriba, fuertes precipitaciones en la temporada de lluvias, lo que ocasiona reblandecimiento del terreno y aumento de la presión de poro.

Los factores de erosión por deforestación han ido creciendo rápidamente y son cada vez más los principales detonadores de los deslizamientos que se han presentado en la zona conocida como La Montaña. Aquí es posible reconocer que en la región conocida como La Sierra, los deslaves son menores debido a una menor acción antrópica del hombre, siendo esta Región la mejor conservada del Estado, salta a la vista que este factor impacta en el número de deslizamientos anuales.

Imagen 34. Mapa de pendientes del Estado de Guerrero



Fuente SEDESOL-UNAM. Caracterización y Diagnóstico para el ordenamiento Territorial del Estado de Guerrero, 2003

Se ha comprobado en el Estado de Guerrero, que la acción del hombre en las grandes ciudades así como en las pequeñas comunidades, ha influido de manera importante en la ocurrencia de deslizamientos al desestabilizar las ya de por sí, laderas con fuertes pendientes que forman la mayor parte de la entidad, ver imagen 36 (Gonzalez, 2009).

Imagen 35. Sombreado a base de los modelos digitales de elevación del Estado de Guerrero, donde se puede notar lo abrupto del territorio



Fuente SEDESOL-UNAM. Caracterización y Diagnóstico para el ordenamiento territorial del Estado de Guerrero, 2003

4.1.3 Sismicidad

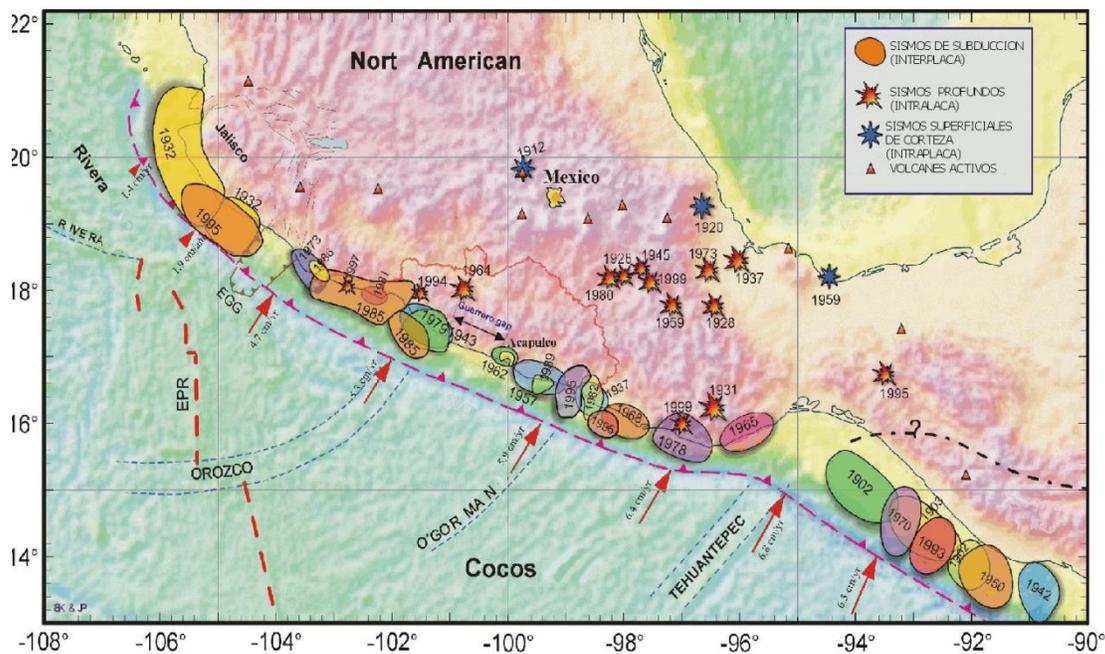
La interacción de la placa de Cocos y Norteamericana en los márgenes del Océano Pacífico, ha dado como resultado que el Estado de Guerrero sea fuente generadora de una gran parte de la sismicidad a nivel Nacional. Grandes sismos han sido descritos por antiguas crónicas en esta región de la República Mexicana, sin embargo, los daños por deslaves no han sido bien documentados, tal vez por la escasa población que durante los siglos XVII y XVIII albergó el Estado de Guerrero. Hoy en día las poblaciones costeras son las que más crecen y el riesgo por deslizamientos producidos por sismos de gran magnitud está en ascenso.

4.1.3.1 Franjas sísmicas

El Estado de Guerrero se formó por la acreción o suma de grandes terrenos alóctonos a través de su historia geológica, los cuales están limitados hoy en día por zonas de fallas y cabalgamientos de gran longitud. Debido a las características geológicas de los terrenos los cuales derivaron de ambientes marinos, se podría explicar la delgadez de la corteza continental en esta zona (apenas 45 km), comparada con el espesor de otros lugares del mundo con similares condiciones tectónicas (Perú Central y Argentina, por ejemplo), donde la corteza continental alcanza espesores de 90 km (Gonzalez, 2009).

Existen en Guerrero dos bandas sísmicas, la primera, llamada Banda Costera de Sismicidad, tiene un ancho aproximado de 35 km. y en está los hipocentros se localizan a profundidades de 10 a 25 km., la segunda es la Banda Sísmica Continental, en la que las profundidades focales varían de 35 a 42 km. En el área intermedia entre las dos bandas existe una ausencia de sismicidad, en donde el rasgo morfológico dominante de la placa Continental lo constituye la parte alta de la Sierra Costera, tampoco hay actividad sísmica en el lugar de contacto de las placas a lo largo de la Trinchera Mesoamericana, donde el régimen sedimentológico junto con el agua de mar que se filtra en la corteza oceánica, quizá lubriquen la zona de contacto.

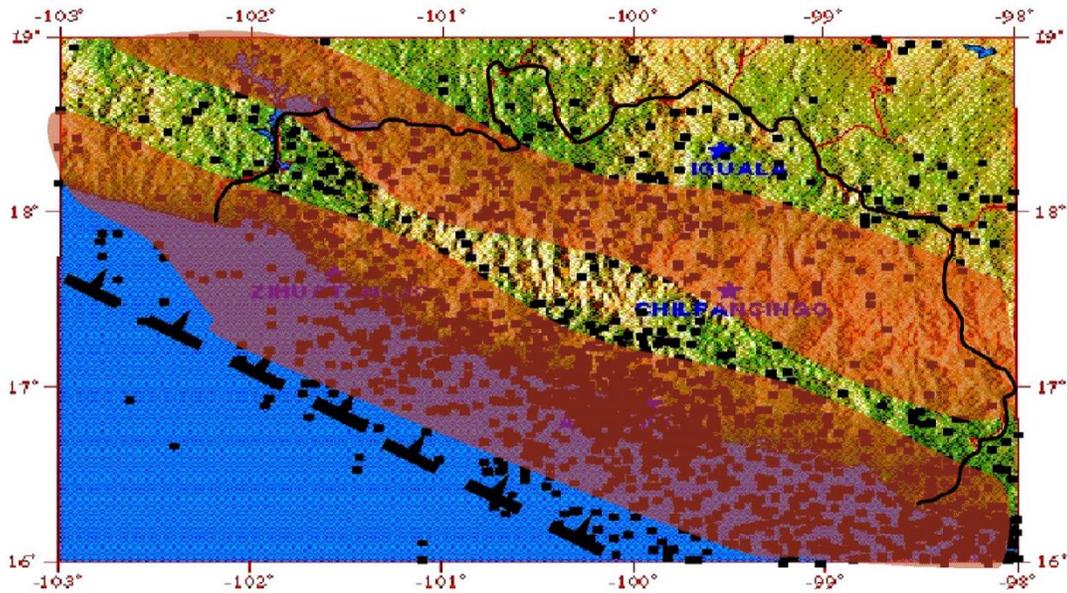
Imagen 36. Principales rasgos batimétricos del Litoral del Pacífico Mexicano, zonas de ruptura, velocidad de subducción y edad de la corteza oceánica



Fuente póster conmemorativo, Cien años de sismicidad en México. SSN

Ligado al riesgo geológico y sísmico está el riesgo estructural, el cual está íntimamente ligado a la historia geológica de la región, ya que se originó como producto de esfuerzos entre materiales de diferente resistencia, ocasionados por el empuje de fuerzas tectónicas de grandes dimensiones, que han modelado el paisaje guerrerense a través de millones de años (Gonzalez, 2009).

Imagen 37. Localización aproximada de las franjas de sismicidad en el Estado de Guerrero.



Fuente: (Gonzalez, 2009)

Aparte de su situación tectónica, el Estado es atravesado por gran cantidad de fallas y fracturas. La importancia de las fallas de origen local reside en su capacidad de producir sismos de magnitud moderada y de poca profundidad, lo cual, por lo mismo, es capaz de ocasionar grandes afectaciones a veces en forma de deslaves, como las ocurridas el 7 de octubre del 2001 en Coyuca de Benítez, donde una falla normal paralela a las costas de la entidad en esa zona, entro en actividad generando un sismo de (Ms 6.1), dañando la infraestructura básica y afectando a más de 350 viviendas.

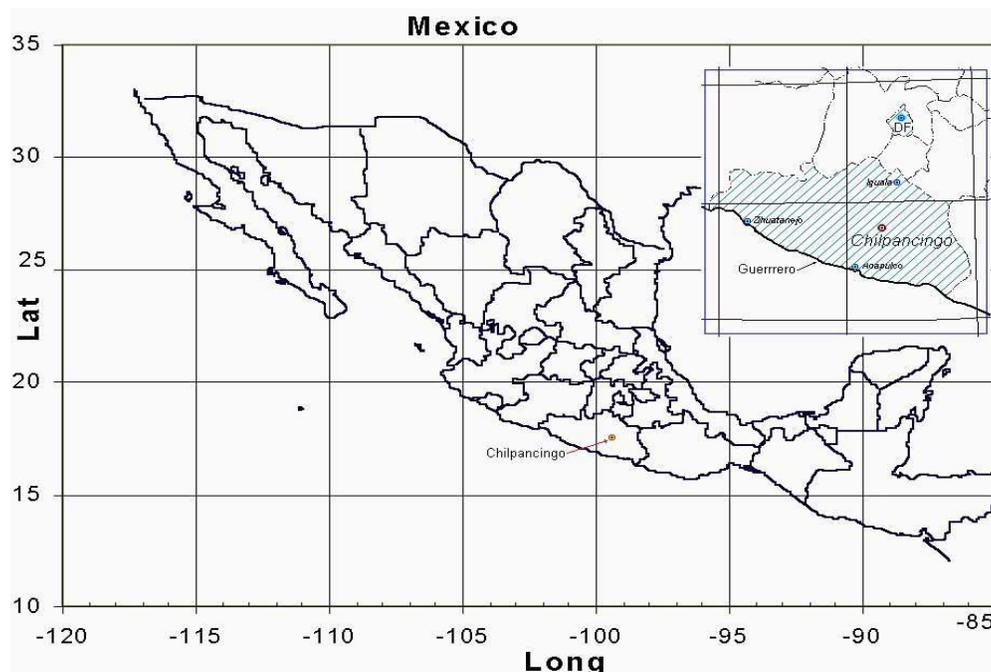
El hecho de que el Estado de Guerrero se encuentre situado en una zona de alta sismicidad, aunado a su abrupta topografía y a altas precipitaciones, es sin duda motivo de preocupación en cuanto a su potencial para la generación de deslaves. Como se vió en la reseña de deslaves mundiales, las características de los geomateriales al momento de la ocurrencia de un evento de gran magnitud, podrían determinar una catástrofe mayor. Si se presentara un sismo grande en temporada de lluvias y en las cercanías de un lugar donde los factores de deslizamientos sean propicios para la generación de deslizamientos, podría ocasionar un desastre de grandes dimensiones (Gonzalez, 2009).

4.2 La ciudad de Chilpancingo de los Bravo

Chilpancingo de los Bravo, con una población de 200,000 habitantes, es la ciudad capital de Guerrero, México; está ubicado en 17°33'05" N y 99°30'03" O, y 1250 metros sobre el nivel del mar. El valle de Chilpancingo está ubicado en la provincia denominada Cuenca Balsas - Mezcala, que pertenece a la denominada zona "Sierra Madre del Sur", y se clasificó D de acuerdo con los mapas de zonificación sísmica.

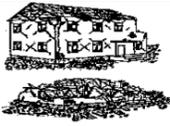
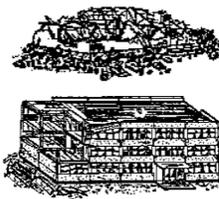
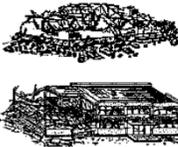
Chilpancingo, ubicada a unos 100 km de Acapulco, es una de las ciudades con mayor riesgo sísmico en México y en el mundo; existen dos factores al menos que lo indican, primero que es muy corta la distancia entre esta ciudad y las zonas de ruptura de la mayoría de los terremotos de subducción que se generan en el estado de Guerrero, y segundo, que la estratigrafía y la geología del valle, sobre la cual está ubicada la ciudad, generan amplificaciones bastante grandes del movimiento del suelo, ya que ha sido evidente en los acelerogramas de los terremotos registrados en los últimos 20 años, y como se observó en la historia sísmica de Chilpancingo (Alonso Gómez Bernal, 2004).

Imagen 38. Mapa de localización de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo



Fuente: 13ª Conferencia Mundial de Ingeniería de Terremoto, Agosto 2004

Tabla 12. Acelerogramas de los terremotos registrados en los últimos 20 años, en Chilpancingo

Fecha	Epicentro		Magnitud (Richter)	MMI	Descripción del daño	Grado de Daño DD
	Latitud	Longitud				
7/04/1845	17°01' N	101°11' W	7.0°	VIII	Daño al servicio y edificios de vivienda.	
19/07/1881			7.5°	VII	Daño al edificio histórico "Palacio de los Poderes", construido en 1870. Albañilería DD 3.	
29/05/1887				IX	Daño al servicio y edificios de vivienda.	
16/01/1902	16°37' N	99°53' W	7.0°	VIII-IX	Los edificios de servicio colapsaron. La vivienda se vio afectada (614 colapsaron, 182 sufrieron daños). Albañilería DD 5 en algunos edificios.	
14/04/1907			7.8°	X	61% de las viviendas destruidas, 4% estaban en condiciones adecuadas. 35% necesita reparación. Las instalaciones de salud y servicio estaban fuera de servicio. Las instalaciones gubernamentales y religiosas fueron seriamente dañadas. Albañilería DD 5. Concreto DD 4.	
30/07/1909	16°47' N	99°53' W	7.7°	X	La vivienda, el gobierno y los edificios religiosos sufrieron graves daños. Albañilería DD 4. Concreto DD 4.	
28/07/1957	16°21' N	99°13' W	7.8°	X	El 80% de los edificios sufrieron daños severos. Colapso en edificios de servicios y viviendas. La carretera desde Zumpango a Chilpancingo mostró derrumbes y rocas caídas sobre el pavimento. Albañilería DD 5. Concreto DD 5.	
19/09/1985	18°05' N	102°56' W	8.1°	VII	Daño severo a edificios de concreto de mediana altura, de 3 a 6 pisos. Albañilería DD 4. Concreto DD 4.	

Fuente: 13ª Conferencia Mundial de Ingeniería de Terremoto, Agosto 2004

En terremotos pasados se ha observado que la amplificación del movimiento del suelo; la falta de supervisión técnica y profesional y el uso de materiales estructurales pobres son algunas de las razones principales por las que las estructuras en Chilpancingo han sufrido daños moderados a severos. La vulnerabilidad sísmica se determina con una relación entre los valores de aceleración del suelo peak y la escala de intensidad macrosísmica europea (Alonso Gómez Bernal, 2004).

4.2.1 Geomorfología

La configuración geomorfológica de la ciudad y la composición geológica de la misma, como se ve, posee superficies vulnerables ante la presencia de eventos de deslizamientos de laderas.

De acuerdo a lo anterior, geomorfológicamente la ciudad de Chilpancingo se encuentra distribuida en una cuenca endorreica con dirección Noroeste-Sureste, conformada por una planicie aluvial con presencia de terrazas, la cual es drenada por el Río Huacapa y cuyo cauce forma parte del sistema hídrico del Papagayo, seguida por la presencia de un glacis compuesto por caliza, conglomerado, rocas volcánicas dacítico - andesíticas y marga, ubicado en ambos lados de la planicie, con una altura promedio de 800 m. y laderas en su base inferior que van de 3° a 6° de inclinación, mientras que la porción superior alcanza hasta los 45°, asimismo, esta estructura se encuentra disectada por la presencia de valles profundos que llegan a medir aproximadamente 500 m.

Por otra parte, los límites están caracterizados por el emplazamiento de cuerpos volcánicos en interacción con el desarrollo de fallas normales, caracterizadas por las estructuras con directriz Noreste-Suroeste, “San Marcos y el Fresno” en la margen Occidental y “Pozas Azules” en dirección Noreste-Suroeste en la parte sur, (Consejo de Recursos Minerales, 2006). Esto muestra un control estructural en la configuración de la cuenca, la cual es parte de un semi-graben cuya génesis está relacionada con la formación de un sinclinal en la Orogenia Laramide, en el Cretácico inferior y que en seguida durante una fase extensional post-orogénica, se inició la deposición continental fluvial; falla normal y lateral, así como actividad volcánica en el Paleoceno-Oligoceno, que permitieron el cierre de la cuenca, y por último, un régimen lacustre en el Plioceno que terminó con la ruptura de la misma (Gonzalez, 2009).

4.2.2 Geología

La geología de la zona está caracterizada en primer lugar, por la Formación Morelos, la cual representa la base de la columna estratigráfica. Esta Formación fue definida por Frías

(1960), como una potente sucesión de estratos gruesos y masivos de calizas y dolomías. Según reportes de Cserna (1965), Rangel (1978), Torres (1983), Maldonado (1984) y Salinas (1986), coinciden en que debido a la abundante fauna existente a través de los fósiles encontrados, esta corresponde al Cretácico inferior (Consejo de Recursos Minerales, 1998). Por su parte, Sabanero (1990), menciona que esta formación incluye a una secuencia de calizas que presentan nódulos de perdenal negro. Esta unidad muestra, además, capas transicionales que van de calizas dolomitizadas de estratificación gruesa a calizas arcillosas (margas) de estratificación delgada, las cuales no poseen una disposición estratigráfica especial, manteniendo una textura que varía entre mudstone-wackstone y grainstone-packstone, con un espesor que varía de 800 a 1000 m.

Asimismo, el Consejo de Recursos Minerales (1998), menciona que es una sucesión de calizas y dolomitas interestratificadas con cantidades variables de pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y con fragmentos de fósiles silicificados; la base la constituye la anhidrita Huitzucó. La textura de la caliza varía de calcilutita a calcirrudita, pero la textura más común es la calcarenita. El grosor de los estratos es de tamaño considerable, ya que van desde los 20 cm. a más de 1 m. Entre los estratos dolomitizados y los de calizas, existen contactos bien definidos en los planos de estratificación (De Cserna, 1980).

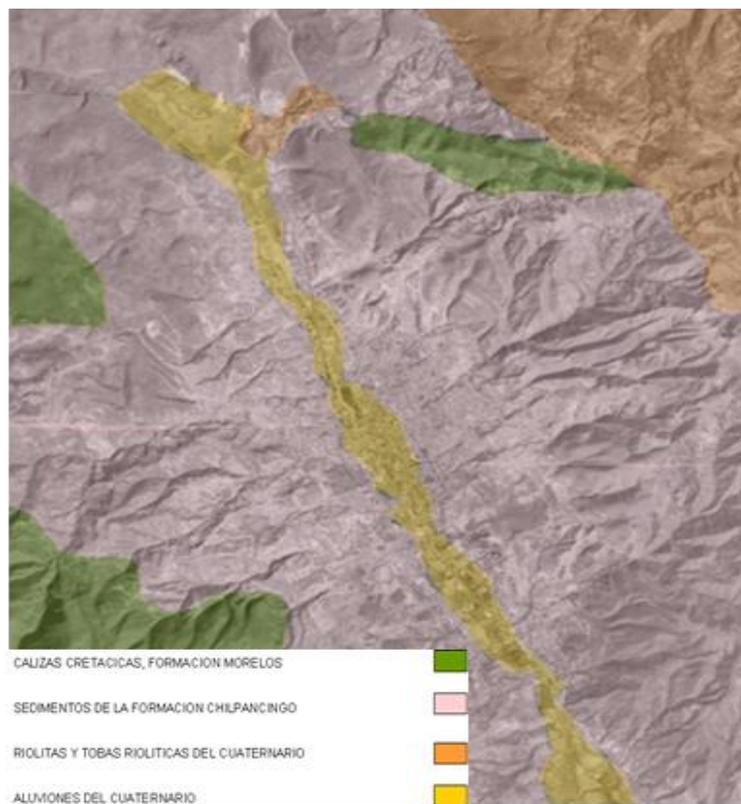
Posterior a la Formación Morelos, la estratigrafía de Chilpancingo esta caracterizada por depósitos continentales de la formación Balsas, la cual Frías (1960) define como conglomerados calcáreos, areniscas, arcosas, limolitas y lutitas, las cuales contienen intervalos de rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y basáltica. En tanto, Sabanero (1990), argumenta que esta unidad está representada por rocas continentales como conglomerados de fragmentos calcáreos, cementados en matriz arenosa o tobacea, los cuales están intercalados con derrames piroclásticos de composición riolítica o andesítica.

Asimismo, este autor concluye que esta Formación constituye una molasa de la orogenia laramidica, saturando cuencas formadas por fallas normales que surgieron posteriores al plegamiento de las capas cretácicas, produciendo zonas de bloques inclinados, conjuntamente en algunas franjas de esta unidad existen rasgos que evidencian una fase de deformación comprensiva post-laramidica (Gonzalez, 2009).

La edad está relacionada con el evento andesítico que ocurrió en la zona, por tanto va desde el Paleoceno-Oligoceno al Eoceno-Oligoceno (Salinas, 1986). El espesor varía de 2,500 m. en algunas zonas a 300 y 500 m. en promedio (Consejo de Recursos Minerales, 1998).

Finalmente los depósitos de la Formación Chilpancingo coronan la estratigrafía de la zona, la cual ha sido definida como una secuencia de conglomerados, areniscas, margas, limolitas y arcillas, que fueron depositados en condiciones lacustres en forma de abanicos aluviales disectados, que poseen un espesor de 200 m., (De Cserna, 1965).

Imagen 39. Geología de la Ciudad de Chilpancingo mostrando las principales unidades litológicas, donde se infiere que la mayor parte de los deslizamientos ocurre en los sedimentos lacustres de la formación Chilpancingo



Fuente: (Gonzalez, 2009)

Asimismo, se pudo constatar la presencia de horizontes de yeso en la Formación Chilpancingo, a la altura de la Col. Plan de Ayala y areniscas rojas en la parte alta de la misma colonia (ver imágenes 47 y 48). La presencia de cantos rodados de más de 2 m. de diámetro dentro de la Formación Chilpancingo se pudo apreciar en la colonia Obrera (Gonzalez, 2009).

Por lo que se refiere a las estructuras geológicas, la ciudad de Chilpancingo es atravesada por múltiples fallas y fracturas con orientación NE-SW y NW-SE principalmente. Solo se pudieron identificar 2 fallas por medios fotogramétricos, de las cuales, la primera tiene una orientación 60° NE y 5 km. de longitud, y se puede apreciar en la Col. Tatagildo en la cual forma la barranca de Chuchululuya. Otra forma la barranca de San Miguelito a la altura de la colonia del mismo nombre, con orientación 55° NE y longitud de 8 km., la cual parece atravesar la ciudad y salir por el campo militar.

A estas fallas no se les pudo tomar datos de su estructura, debido al alto grado de erosión de las zonas por donde atraviesan. Otra falla podría ir de NW al SE de la ciudad y ser responsable de los escarpes del libramiento Chilpancingo-Tixtla, sin embargo, parece ser una estructura enterrada por lo que su comprobación solo se podrá inferir con métodos geofísicos (Gonzalez, 2009).

Imágenes 40 y 41. Sedimentos de la Formación Chilpancingo donde se puede apreciar las capas de aglomerados, arenas y arcillas en estratificación subhorizontal



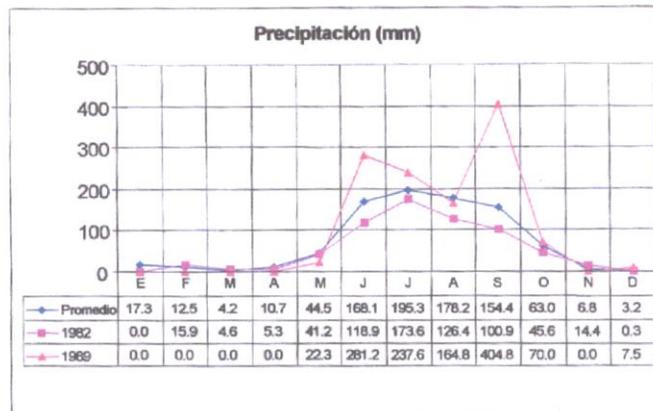
Fuente: (Gonzalez, 2009)

4.2.3 Clima y vegetación

Los climas existentes en la ciudad son el subhúmedo semicálido, subhúmedo cálido y subhúmedo templado, la temperatura varía de 15° a 24° , la temporada de lluvias se da normalmente de junio a septiembre con una precipitación media anual de 1,650 mm.

Los meses más calurosos son de marzo a mayo y los meses de diciembre y enero los más fríos. Los valores de la precipitación se registran igualmente en la estación Chilpancingo, contándose con un registro de 14 años (1980-1994) y se resumen en la imagen 42. Como puede observarse en la gráfica, existe una temporada de lluvias perfectamente definida entre los meses de mayo y octubre, en donde se presenta casi el 94% de la precipitación anual, para los valores promedios de los registros en la estación, siendo en estos meses cuando se presentan la mayoría de los deslaves en la ciudad.

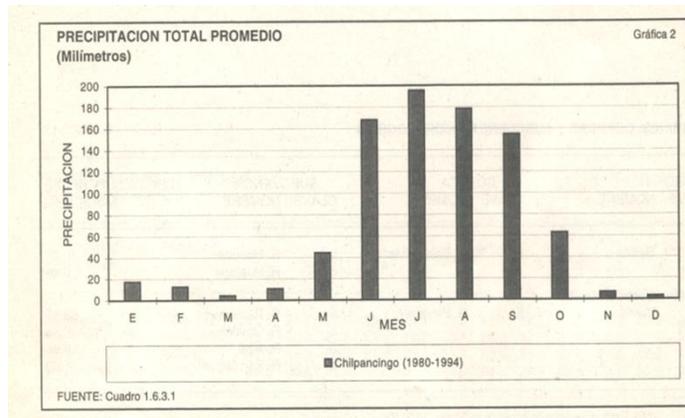
Imagen 42. Gráfica de precipitación en la estación Chilpancingo (1980-1994).



Fuente: INEG, 2010

Por otro lado, si observamos la imagen 43 de la gráfica de precipitación total promedio de 1980 a 1994, vemos como el periodo máximo se presenta entre junio y octubre, que es el promedio en buena parte del Estado (Gonzalez, 2009).

Imagen 43. Gráfica de precipitación total promedio para Chilpancingo entre los años 1980-1994



Fuente: INEG, 2010

4.3 Metodología para la determinación de amenazas por deslizamientos

La metodología aplicada para la determinación de amenazas por laderas en el presente estudio, es la que se presenta en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, versión 2004, editada por el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED).

Se trata de una metodología de naturaleza cualitativa y empírica para juzgar la susceptibilidad al deslizamiento, y con ello la amenaza de deslizamiento en una ladera; es una versión modificada y ampliada de los criterios y calificaciones citadas por Suárez (1988). Los valores que aquí se incluyen, son meramente indicativos y deberán revisarse caso por caso, ajustándolos dentro de un contexto regional. Se califica así el grado de influencia relativa que los factores citados tienen en la ocurrencia de un deslizamiento, y podrán adoptarse valores intermedios a los descritos. Consta de una serie de factores geotécnicos, geomorfológicos, ambientales y geológicos, los cuales nos dan una aproximación al grado de riesgo a que está expuesta una ladera. Calificando después los diferentes factores mencionados, podrá hacerse su sumatoria, a fin de estimar el grado de amenaza que pudiese adjudicársele a una ladera. Para esto se distinguen 5 grados de amenaza que son: amenaza muy baja, amenaza baja, amenaza moderada, amenaza alta y amenaza muy alta.

Este formato para la estimación de la amenaza de deslizamientos de laderas, en el presente estudio fue modificado en su semántica, más no en su contenido, y también se le añadieron algunos datos para conocer mejor la zona donde se realizó el levantamiento de las cédulas de deslizamientos. En lo que se refiere a la modificación de los términos, la palabra discontinuidad del formato, fue modificado por fallas y fracturas, ya que una discontinuidad significa en términos geológicos, la ausencia de depósitos en un determinado periodo de tiempo, por lo que este término se refiere más bien, a un hueco de tiempo en el registro geológico, lo cual no concuerda con los datos que se quieren conseguir en el formato. Por lo que respecta a los añadidos, solo se le incluyeron los datos de coordenadas, nombre de la barranca, nombre de la colonia, descripción litológica del sitio y observaciones, con el fin de tener más información de la zona de estudio.

Tabla 13. Formato para la identificación geotécnica de laderas inestables utilizado en el presente estudio

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro.	
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS.	
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200 m	1.6		
	Más de 200 m	2		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.	
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOTÉCNICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosión; o suelos de consistencia blanda.	
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0		
	Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos.	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado.	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.	

	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.).	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.
Espesor de la capa de suelo.	Menos de 5 m	0.5	Revísense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
	5 a 10 m	1.0	
	10 a 15 m	1.4	
	15 a 20 m	1.8	

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).	
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes faltantes	1.0		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.	
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	
	Nivel freático inexistente	0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.0		
			SUMATORIA	

Fuente: (Gutierrez, 2006).

4.4 Criterios para estimar el peligro de deslizamientos

A reserva de abordar la estimación del peligro de deslizamiento de manera más formal, se exponen en la siguiente tabla unos primeros criterios que permiten establecer el grado de amenaza al deslizamiento, que podrían ofrecer diversos tipos de laderas. En lo que resta de esta sección, se distinguen con mayor detalle cada uno de los factores que influyen en el problema, asignándoles una calificación relativa a cada uno de ellos.

Tabla 14. Grados de amenaza en laderas

Amenaza	Tipo de ladera
Muy alta	Laderas con agrietamientos, escarpas o salientes. Suelos muy alterados, sueltos y / o saturados. Presencia de discontinuidades desfavorables. Antecedentes de deslizamientos en el área o sitio. Ladera deforestada.
Alta	Laderas que exhiben zonas de falla. Meteorización de moderada a alta. Posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos. Ladera deforestada.
Moderada	Laderas con algunas zonas de fallas. Formaciones rocosas con alteración y agrietamientos moderados. Sin antecedentes de deslizamientos en el sitio o región.
Baja	Laderas en formaciones rocosas con alteración de baja a moderada. Planos de discontinuidades pocos favorables al deslizamiento. Ladera sin deforestación. Capa de suelos compactos de poco espesor.
Muy baja	Laderas en formaciones rocosas no alteradas, poco agrietadas o fisuradas. Sin planos de discontinuidad que favorezcan el deslizamiento. Ladera sin deforestación.

Fuente: (Gutierrez, 2006).

4.4.1 Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales

A fin de estimar el peligro que puede representar el deslizamiento de una ladera, es necesario investigar las condiciones del sitio distinguiendo: a) los deslizamientos que hayan ocurrido en la zona; b) las peculiaridades topográficas y geomorfológicas; c) las características geotécnicas de los materiales; y d) las condiciones ambientales.

Ya se ha señalado que el análisis tradicional de la estabilidad de una ladera se realiza con la cuantificación del factor de seguridad. Ello exige la determinación de propiedades de resistencia de los suelos, lo que sólo en contadas ocasiones es posible realizar, ya que la mayoría de las veces que Protección Civil interviene en estos menesteres (Gutierrez, 2006).

4.4.2 Estimación del peligro de deslizamiento de una ladera

Calificados los diferentes factores que influyen en la estabilidad de una ladera, podrá hacerse su sumatoria, a fin de estimar el peligro de deslizamiento que pudiese adjudicársele a una ladera. En la siguiente tabla se distinguen cinco niveles de peligro, desde el muy bajo hasta el muy alto.

Esta metodología podría ser la base para la generación del mapeo regional de peligros, zonificando las áreas del terreno con igual o semejante potencial de inestabilidad, en combinación con un sistema de información geográfica (SIG). Estos mapas de peligro están fuera del alcance de esta guía. Sin embargo, el procedimiento antes descrito sería prácticamente invariante de la escala en que se aplique; esto es, que tanto se puede aplicar para una ladera específica de cierta dimensión; o bien, a escala de una ciudad, municipio o región, haciendo uso de mapas topográficos y geológicos de un SIG. Atendiendo a la escala correspondiente de planos o mapas topográficos, y tomando en cuenta lo hasta aquí tratado, deberá estimarse el volumen potencial de un deslizamiento (Gutierrez, 2006).

Tabla 15. Estimación del peligro de deslizamiento

Grado	Descripción	Suma de Calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a 7
3	Peligro moderado	7 a 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

Fuente: (Gutierrez, 2006).

4.4.3 Velocidad y distancia de recorrido

Los daños que puede causar una inestabilidad de ladera no se concentran en la zona de falla o separación, sino que en muchas ocasiones éstos se propagan en una zona más amplia pendiente abajo, o incluso pendiente arriba tratándose de deslizamientos retrógrados; por ello, la correcta evaluación de las áreas en riesgo presupone la determinación de esas zonas de impacto o recepción.

Debe reconocerse la dificultad para llevar a cabo esta tarea, debido a la complejidad del fenómeno involucrado y por el costo de los estudios sistematizados de las posibles trayectorias y sus escenarios. En efecto, la dificultad estriba en modelar la propagación de grandes masas, puesto que las leyes de su comportamiento varían con el tiempo; pueden cambiar de un comportamiento de un sólido a uno viscoso, entre el inicio y el fin de la propagación. El estado actual del conocimiento (IUGS, 1997) para el análisis de los mecanismos de distancia de recorrido y velocidad varían considerablemente, dependiendo del tipo de inestabilidad.

Tabla 16. Velocidad y destructividad de deslizamientos y flujos

Velocidad	Interpretación de la velocidad	Posible impacto destructivo
< 15 mm/año	Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios sanos de ingeniería.
1.6 a 0.015 m/año	Muy lento	En general, las estructuras edificadas con criterios ingenieriles no sufren daños; y si ocurren, son reparables.
13 m/mes a 1.6 m/año	Lento	Carreteras y estructuras bien construidas pueden sobrevivir si se les da el mantenimiento adecuado y constante.
1.8 m/hr a 13 m/mes	Moderado	Estructuras bien construidas pueden sobrevivir.
3 m/min a 1.8 m/hora	Rápido	Posible escape y evacuación. Construcciones y equipo destruidos.
5 m/s a 3 m/min	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas. Gran destrucción.
> 5 m/s	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran magnitud.

Fuente: Cruden y Varnes, 1996

4.5 Consideraciones para estimar el riesgo de deslizamiento de laderas

4.5.1 Enfoques del análisis del riesgo

En su forma más simple, el análisis cualitativo del riesgo de deslizamiento involucra la adquisición de conocimientos acerca de las amenazas y los peligros, los elementos en riesgo y la estimación de sus vulnerabilidades; todo ello de manera cualitativa, adjudicando típicamente atributos dentro de ciertos rangos. Este es el alcance de análisis para el que se establecen criterios en esta guía. Cuando se realizan valoraciones más sofisticadas, se aumentan las expresiones cuantitativas de los parámetros de entrada, aun cuando tales números puedan tener una base subjetiva y de criterio, se convierte entonces en una forma cuantitativa de la valoración del riesgo.

Anteriormente se explicaron los criterios para identificar los peligros asociados a laderas, y se presentó una metodología para estimar el peligro de deslizamientos; a continuación se exponen las ideas básicas que llevan a estimar el riesgo.

Una vez definido el riesgo, se toman decisiones para su administración, tarea en la que deben intervenir políticos, personal de Protección Civil, urbanistas, economistas e incluso sociólogos; todo ello, con la asesoría de un ingeniero geotecnista o geólogo, a fin de mostrar un panorama completo, aquí se exponen sólo algunas consideraciones relativas a estas actividades.

4.5.2 Determinación de los elementos en riesgo

El objetivo es determinar la distribución de la probabilidad para el número, naturaleza y características de los elementos en riesgo (personas, infraestructura, propiedades), que pudiesen ser afectados por el peligro; esto es, P [características de los elementos en riesgo]. En muchos casos esto simplemente involucrará la determinación del número y naturaleza de los elementos.

Las características relevantes que necesitan tomarse en cuenta son la ubicación del elemento con relación al peligro y su tamaño; por ejemplo, si se localiza en la ladera, en su cima, o a cierta distancia del pie (Gutierrez, 2006).

También, si ese elemento tiene una posición fija, por ejemplo una casa; o si es móvil, como podrían ser personas o un tren. Además, es importante conocer si existen algunas medidas de mitigación que pudieran afectar la probabilidad temporal. Lo anterior se ejecuta con base en cuestionarios o levantamientos de campo, tratándose de desarrollos o comunidades existentes; o bien, a partir de los planes de uso de la tierra para desarrollos futuros.

4.5.3 Estimación de vulnerabilidades

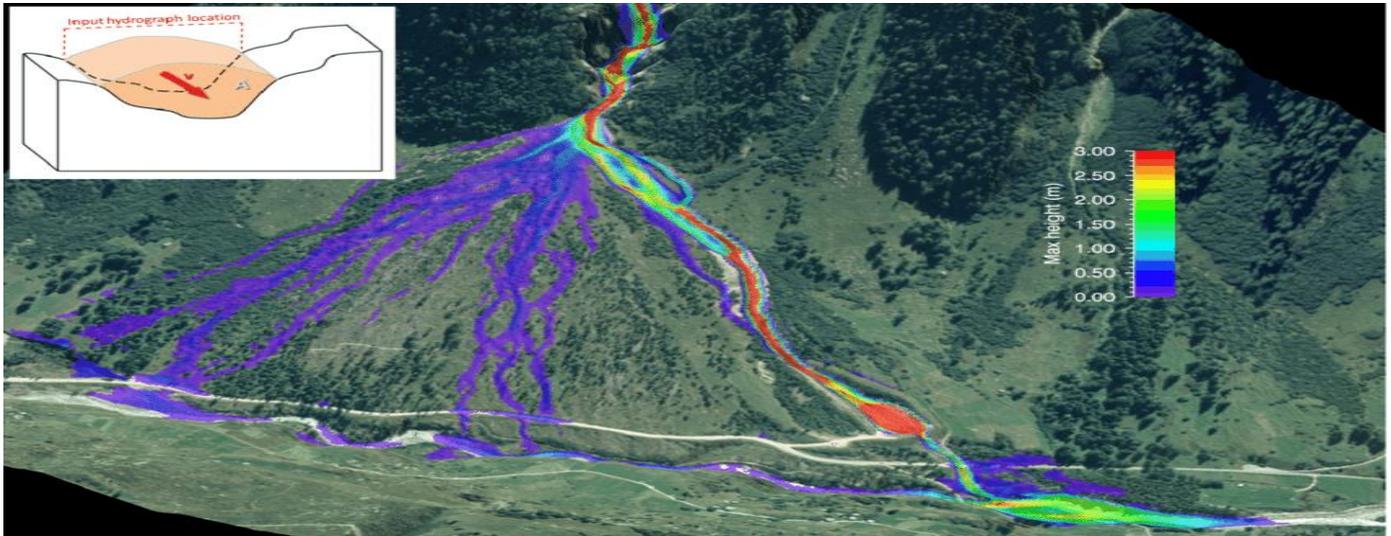
Este apartado es para estimar la probabilidad de pérdida de vidas y grado de daño dentro de los elementos en riesgo, mismos que caen dentro del peligro por el deslizamiento de una ladera; incluye el análisis de las disfunciones que pueden causar en la sociedad. Esta tarea se realiza en dos fases complementarias. Primeramente se definen las interacciones entre el fenómeno y los elementos en riesgo para establecer las funciones de daño; en la segunda, se determinan las perturbaciones que causan tales daños de forma directa o indirecta, y de manera inmediata o pasado algún tiempo.

Desde luego, alternativamente al establecimiento de funciones de daño, puede recurrirse más simplemente a un valor único estimado, que puede ser adoptado con base en experiencias y juicios previos.

Para el caso de deslizamiento de laderas, no se han generalizado metodologías para determinar las funciones de daño; la dificultad estriba en que, a diferencia del fenómeno sísmico que adopta ya sea la velocidad o aceleración máxima como parámetro único, los problemas asociados a deslizamientos están dados en función de varios parámetros. Leroi (1997) distingue que dependiendo de cada tipo de movimiento considerado, el parámetro o los parámetros físicos que definen la vulnerabilidad, son diferentes.

4.5.4 Administración del riesgo

La estimación del riesgo debe llevar a determinar la mejor decisión de entre las opciones para mitigar el riesgo, considerando todos los objetivos. Las opciones de decisión deben tamizarse contra los requerimientos, tales como el nivel de riesgo aceptable, y luego revalorarse en términos de las consecuencias que pudieran surgir (Gutierrez, 2006).



Fuente: Obtenido de www.researchgate.net, Noviembre 2018

CAPÍTULO 5

MODELACIÓN PARA ESTIMAR EL
PELIGRO Y EL RIESGO DE
DESLIZAMIENTOS EN LADERAS

CAPÍTULO 5. MODELACIÓN PARA ESTIMAR EL PELIGRO Y EL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

Para que se pueda determinar si una zona es vulnerable a los deslizamientos se debe de zonificar el peligro en el lugar. Para esto, lo primero es realizar un mapa de los peligros al iniciar algún estudio de planeación y poder perfeccionarlo en mayor medida cuando la investigación se vaya desarrollando. Esta medida serviría para identificar con anticipación las áreas con menor índice de vulnerabilidad, examinando el riesgo potencial a los deslizamientos y estableciendo zonas de expansión o desarrollo.

Posteriormente, se podrían desarrollar proyectos de inversión que eviten, prevengan o mitiguen significativamente el peligro. Del mismo modo se deben tener identificadas las áreas que podrían ser afectadas por un deslizamiento que pudiera perjudicar la integridad de la población y de igual forma, poder realizar una evaluación que proyecte las probabilidades de ocurrencia de los fenómenos en un tiempo determinado (Brabb, 1985).

El objetivo final de esta investigación, es la de implementar un modelo de evaluación que estime el riesgo a los deslizamientos de laderas y contribuya a localizar las áreas potencialmente inestables en la ciudad de Chilpancingo, Gro. Pero para tener una idea clara de cómo se va a desarrollar el proceso en este último capítulo, primeramente se van a tomar como muestras la colonia “Héroes de Guerrero” y la colonia “El mirador” las cuales poseen un alto índice de vulnerabilidad, ya que en los últimos años han ocurrido varios deslizamientos donde algunos de ellos han ocasionado la destrucción de calles y casas que se encuentran ubicadas en la zona.

Posteriormente, se le aplicará la metodología que maneja el Centro Nacional de Prevención y Desastres, una vez obtenidos los resultados de cada una de estas colonias se van tomarán las mismas características de evaluación que contiene la metodología para replicarla en toda la ciudad. Finalmente con la ayuda de una memoria de cálculo y con un análisis multicriterio que maneja el Atlas de Riesgo para la ciudad; se obtendrán los resultados correspondientes sobre los índices de susceptibilidad a deslizamientos, la sismicidad y ocurrencia en este tipo de fenómenos y la vulnerabilidad física representada por los mapas de riesgo, exposición y vulnerabilidad para la ciudad de Chilpancingo, Gro.

5.1 La colonia “Héroes de Guerrero”

Esta colonia se encuentra ubicada al poniente de la ciudad de Chilpancingo, anteriormente se tenían registros sobre la apertura de una grieta de 30 centímetros. Posteriormente; la grieta antes mencionada comenzó agrandarse a tal grado de provocar un deslizamiento y destruir en su totalidad a calles y casas que se encuentran en esta colonia, por lo que el total de habitantes tuvieron que ser desalojados por miembros de Protección Civil.

Algunos de los problemas que ocasionaron este deslizamiento fue que en el interior de las viviendas perjudicadas habían litros de agua saliendo del suelo hacia la calle; además, las intensas lluvias prolongadas en la ciudad y la presencia de los diversos sismos de alta y baja magnitud que se siguen presenciando a lo largo del tiempo fueron factores determinantes para que se suscitara este evento.

Algunos de los afectados que solicitaron anonimato, destacaron que el asentamiento humano comenzó a establecerse desde hace diez años y no habían tenido ningún tipo de problema hasta ese momento en que sucediera el evento. A pesar de que los dictámenes oficiales por parte de las autoridades de Protección Civil mencionan que es una zona no apta para el desarrollo; se han vertido algunas versiones sobre corrupción por parte de las autoridades correspondientes, ya que la colonia se estableció sobre el paso de una barranca profunda (Ortíz, 2015).

Imagen 44. Vista de la colonia Héroes de Guerrero después de la ocurrencia del deslizamiento



Fuente: Obtenido de: <https://suracapulco.mx/impreso/author/t6jkmep9q4/page/2445/>, Agosto 2018

5.2 La colonia “El mirador”

Se ubica al poniente de la ciudad de Chilpancingo, en la parte alta de la barranca del Tule. El día 24 de Septiembre de 2017 ocurrió un deslizamiento de tierra donde resultaron afectadas 10 casas y 30 más tuvieron que ser evacuadas como forma de prevención para poder evitar un accidente en caso de volver a ocurrir otro deslizamiento.

En un recorrido por las zonas afectadas, el alcalde Marco Antonio Leyva Mena afirmó que los daños en las más de 10 casas afectaron a unas 80 personas, las cuales fueron evacuadas junto con 30 inmuebles más como forma de prevención. Además afirmó que la situación por el deslizamiento de tierra fue a consecuencia de las recientes lluvias y sismos que han ocurrido en el estado.

En el incidente trabajaron personas de Protección Civil municipal, estatal, policías federales y soldados que aplicaron el Plan DN-III, quienes apoyan a las familias para trasladar sus pertenencias a algunas casas de familiares en espera de que después se abriera un albergue en las instalaciones del SUSPEG en el barrio de San Mateo.

En un boletín de prensa, la Secretaría de Protección Civil estatal afirmó que las 10 casas colapsadas por el deslizamiento de una ladera inestable estaban construidas en zonas de alto riesgo y que se procedió a la evacuación mientras se realizan estudios para determinar el riesgo en el área (Blancas, 2017).

Imagen 45. Vista de la afectación que dejó el deslizamiento en la zona



Fuente: obtenido de: <https://suracapulco.mx>, Agosto 2018.

5.3 Investigación geotécnica y geomorfológica para identificar el fenómeno de deslizamientos

Para analizar de manera eficiente los componentes del suelo en las laderas y clasificar los materiales de los sitios estudiados, se tomaron muestras de laboratorio a diferentes profundidades mediante un equipo manual de perforación por excavación; cabe señalarse que estas muestras solo se realizaron en la colonia “Héroes de Guerrero” ya que por indicaciones del geólogo, el suelo cuenta con características similares a la ladera de la colonia “El Mirador”.

Imágenes 46 y 47. Extracción de las muestras del suelo en la ladera



Fuente: Omar García, Febrero de 2018

De acuerdo con los criterios que se establecen en la metodología del CENAPRED, se verificaron la existencia de huecos o volúmenes faltantes que indicaran la ocurrencia de antiguos deslizamientos. Prácticamente en este sitio se encontraron evidencias de antiguos deslizamientos de diversos tamaños y volúmenes.

Anteriormente ya se habían tomado algunas notas de las dos colonias estudiadas en donde se puntualizaron algunas otras características que incitan a los deslizamientos de laderas como son los asentamientos humanos, zanjas en zona que conllevan a la saturación de agua, descargas de aguas negras en la parte inferior de la ladera, ángulos de inclinación y alturas de los taludes, vegetación y usos de la tierras y algunas otras características que nos permitirían evaluar con mayor precisión la inestabilidad en las dos colonias.

5.3.1 Ensayo de laboratorio

Se realizó un ensayo de mecánica de suelos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero, el motivo que nos permitiera obtener las propiedades de los suelos para un análisis mucho más a fondo, de tal forma que nos arrojara características reales en el contenido de agua en el suelo.

Para este análisis solo se realizó el estudio de límite plástico y líquido, el cual se define cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe, el total de agua en este límite es el contenido en agua, con el cual un suelo puede ser deformado en una tira cuya longitud es más o menos de la mitad de la palma de la mano, con un ancho aproximado de 3.2 milímetros, sin desmenuzarse.

El procedimiento para obtener el límite líquido es el siguiente;

1. Se obtiene la muestra de material, la cual se puede extraer de un pozo o un perfil labrado (imagen 46).
2. Se clasifica el material por su profundidad y se transporta al laboratorio en bolsas posteadoras (imagen 47).
3. Se limpia el material para homogenizarlo por medio de lavado y cribado por las mallas, para separar las gravas para así tener la cantidad suficiente para realizar la prueba en la Copa de Casagrande.
4. Una vez limpio y remoldeado se coloca uniformemente en la Copa de Casagrande y se procede a realizar la prueba, con las instrucciones mencionadas anteriormente.
5. Ya terminado la prueba se retira parte del material y se coloca en un recipiente llamado barra para contracción lineal, el cual previamente se ha pesado sin material, y se procede a pesar el material junto con el recipiente, se introduce en el horno para su secado durante 24 horas.
6. Se elabora el reporte final que consiste en una gráfica que relaciona el número de golpes, dicho valor es el correspondiente al límite líquido (tabla 19).

Tabla 17. Índice general de los límites de líquido y plástico en el muestreo de la colonia “Héroes de Guerrero”

	TARA 1	TARA 2	TARA 3
No de Golpes	12	5	3
Peso Tara	27.60	27.52	27.63
Peso tara + Suelo Húmedo	56.20	55.90	60.50
Peso tara + Seco Húmedo	55.06	54.11	60.00
Peso del agua	1.14	1.79	0.50
Peso de suelo seco	27.46	26.59	32.37
Contenido de humedad	2.07%	3.31%	0.83%
LÍMITE PLÁSTICO	4.15	6.73	1.54
LÍMITE LÍQUIDO	2.07	3.31	0.83

Fuente: Omar García, Julio de 2018

Límite plástico promedio (LP) = 4.14

Límite líquido promedio (LL) = 2.07

Índice de plasticidad (IP) = LL – LP = 2.07 – 4.14

IP = -2.07

El índice de plasticidad (IP) es menor que 10, por lo que se le considera un SUELO NO PLÁSTICO.

Nota: Estos resultados se tomarán en cuenta para la evaluación de las laderas en el factor de tipos de suelos y rocas de la metodología (CENAPRED) para las dos colonias.

5.4 Estimación de atributos geotécnicos, topográficos y ambientales en las dos colonias de Chilpancingo de los Bravo

A) Colonia “Héroes de Guerrero”

Con la finalidad de verificar la pertinencia del método, se llevó a cabo la evaluación de los sitios identificados en dos colonias seleccionadas. Para desarrollar la evaluación del peligro a deslizamientos, el primer paso fue la visita a la colonia Héroes de Guerrero, además se realizaron algunas observaciones necesarias para la utilización del método CENAPRED con la ayuda de personal experto en el tema de la dependencia de Protección Civil Guerrero.

Imágenes 48 y 49. Visita y evaluación de la colonia para el análisis de riesgo



Fuente: Omar García, Mayo de 2018.

Es claro que la falla de la ladera no se explica sólo por la baja resistencia al esfuerzo cortante de los suelos sino también a los antecedentes de inestabilidades en la región, por lo tanto debió ser motivo de alerta, y deben ser motivo de preocupación para el futuro.

En efecto, el fenómeno disparador de la inestabilidad fue el agua, ya que debido a la alta precipitación ingresó a la masa interna del talud, aumentando el grado de saturación (cociente entre el volumen de agua y el volumen de los huecos o vacíos) del suelo que inicialmente se encontraba parcialmente saturado. Así, en la porción cercana a la que habría de ser la superficie de deslizamiento, o al menos en parte de ella, el suelo se saturó; y con ello, no sólo se perdió la succión (presión de poro negativa), sino que se generó presión de poro positiva, reduciendo la magnitud de los esfuerzos efectivos.

A continuación se califican así el grado de influencia relativa que los factores citados tienen en la ocurrencia de un deslizamiento, consta de factores geotécnicos, geomorfológicos, ambientales y geológicos.

Tabla 18. Resultados de la evaluación en la colonia “Héroes de Guerrero” por los diferentes factores de inestabilidad

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro.	2.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200 m	1.6		
	Más de 200 m	2		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOTÉCNICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosión; o suelos de consistencia blanda.	0.0
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2.0		0.0
	Suelos arcillosos consistentes o areno	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está	0.84

	limosos compactos			agrietado.	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes		0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.	0.0
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.).		0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.	0.4
Espesor de la capa de suelo.	Menos de 5 m	0.5	Revísense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	1.4	
	5 a 10 m	1.0			
	10 a 15 m	1.4			
	15 a 20 m	1.8			

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Evidencias geomorfológicas de “huecos” en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes faltantes	1.0		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.	0.8
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	1.0
	Nivel freático inexistente	0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.0		
SUMATORIA				8.14

Fuente: Omar García, Julio 2018

B) Colonia “El Mirador”

La situación actual de la colonia que también visitamos, contaba con casas desplantadas en la ladera contigua donde algunas sufrieron su total destrucción o serios daños. En este caso los taludes de las laderas en esta zona son más escarpados, aunque constituidos por rocas blandas poco cementadas y suelo intemperizado poco plástico. Los deslizamientos que aquí ocurrieron fueron clasificados principalmente como caídos y desprendimientos, constituidos por volúmenes relativamente reducidos.

Las autoridades municipales desalojaron a los habitantes de esta ladera, por lo que no hubo víctimas por los deslizamientos ocurridos; al parecer, la percepción del peligro era mayor aquí, juzgando sólo la pendiente de la ladera. Debe reconocerse que el aspecto geométrico de una ladera es, si bien muy significativo para su estabilidad o inestabilidad, no es menos importante lo relacionado con su resistencia al esfuerzo cortante. Llama la atención que en esta zona varios de los deslizamientos ocurrieron en zonas donde existían tubos de drenaje que desembocaban en las laderas de las barrancas.

Imágenes 50 y 51. Vistas de los deslizamientos que ocurrieron en la colonia



Fuente: Omar García, Mayo 2018

Los materiales de la ladera están constituidos por tobas de grano fino, pseudo estratificadas con brechas volcánicas y otras capas de piroclastos; esto es, se trata de rocas, así sean blandas, que explican el porqué de los ángulos tan escarpados de las laderas de esta colonia.

Precisamente por este factor interno de la ladera por lo que se refiere a la constitución y naturaleza de sus materiales fue que no se generó ahí ningún deslizamiento franco. Como se realizó anteriormente en las tablas siguientes se vuelven a calificar el grado de influencia relativa que los factores citados tienen en la ocurrencia de un deslizamiento, para la colonia el Mirador.

Tabla 19. Resultados de la evaluación en la colonia “El Mirador” por los diferentes factores de inestabilidad

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro.	2.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200 m	1.6		
	Más de 200 m	2		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOTÉCNICOS				
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosión; o suelos de consistencia blanda.	
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0		

	Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos.	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado.	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.).	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.	1.2
	Espesor de la capa de suelo.	Menos de 5 m	0.5	Revísense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Evidencias geomorfológicas de “huecos” en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes faltantes	1.0		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	1.0
	Nivel freático inexistente	0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.0		
SUMATORIA				9.5

Fuente: Omar García, Julio 2018

C) Estimación del peligro a deslizamientos en las dos colonias

En la siguiente tabla se han reunido los resultados de las evaluaciones en las dos colonias de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, que corresponden a las calificaciones incluidas en las tablas 20 y 21. Puede comprobarse la muy razonable consistencia de éstos, a pesar de ser revisados con ayuda de expertos de la dependencia de Protección Civil Guerrero.

Tabla 20. Resumen de las evaluaciones en las dos colonias de la ciudad

PELIGRO	COL. HÉROES DE GUERRERO	COL. EL MIRADOR
1. Peligro muy bajo		
2. Peligro bajo		
3. Peligro moderado	8.14	
4. Peligro alto		9.5
5. Peligro muy alto		

Fuente: Omar García, Julio 2018

Al sumar los puntajes asignados a cada uno de estos factores determinantes de la estabilidad de una ladera, se llega a establecer finalmente el peligro a su deslizamiento. Según la anterior y el resultado de la sumatoria del estudio, nos dice que para la colonia **“Héroes de Guerrero”** el puntaje es de **8.14** con un peligro moderado, pero como resultado de la evaluación para la colonia **“El Mirador”** podemos notar que tenemos una suma de **9.5** y por lo tanto nos dice que es una amenaza de peligro alto.

Con respecto a estos ejemplos de evaluación de estas dos colonias de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo y con el Atlas de Peligros y Riesgos de la ciudad, se elaboró una cartografía de este peligro geomorfológico, a partir de la metodología empleada anteriormente (CENAPRED) y del peso específico de los parámetros elegidos, los de mayor incidencia en la inestabilidad de laderas. Los parámetros incluidos en el análisis fueron pendiente del terreno, geología, geoformas, uso de suelo, distancia a fallas y edafología.

5.5 Análisis del riesgo a deslizamientos de laderas

Este análisis tiene ventajas múltiples, entre las que destacan para los objetivos de definición de zonas de amenaza por fenómenos de origen natural, la posibilidad de incluir múltiples parámetros de manera simultánea, en un contexto que disminuye de forma importante la subjetividad, aun cuando se considera la opinión de expertos en el tema. Adicionalmente, al obtenerse resultados cuantitativos a partir de un análisis cualitativo, es factible sobre la posición de capas de información en un contexto de sistemas de información geográfica, su análisis, interpretación y exposición en medios digitales e impresos.

Tal como sucede en prácticamente todos los casos, la pendiente es el parámetro físico con mayor incidencia en la definición de las zonas y grado de inestabilidad de laderas. Lo anterior, es debido a que la gravedad es inherente a todos los procesos de remoción en masa, incluidos los deslizamientos. En referencia a la geología, este factor físico tiene un peso específico casi tan importante como la pendiente, como consecuencia de las propiedades de la litología que conforma la geología regional, concretamente las zonas de contacto entre el basamento, las rocas sedimentarias y la cubierta de materiales volcánicas. Estos dos parámetros son los de mayor importancia en la inestabilidad de laderas en Chilpancingo.

La distancia a fallas geológicas es el tercer parámetro en importancia en la ocurrencia de deslizamientos en el municipio de Chilpancingo, dado que las fallas evidencian zonas de fragilidad en el subsuelo y en la roca formadora del relieve, lo que representa potenciales superficies de fallas de profundidad variable. El cuarto parámetro en importancia en el marco de ocurrencia de deslizamientos son las geoformas ya que el relieve en su conjunto y la dinámica que la ha modelado, tiene entre sus procesos formadores a los movimientos asociados a la remoción en masa, incluidos los deslizamientos.

Por último, como consecuencia de que los deslizamientos tienden a presentarse como movimientos en bloque a profundidad que va de media a muy profunda, las capas de suelos tienen influencia importante en deslizamientos de poca profundidad, pero menor comparativamente a otros parámetros (SEDATU, 2016).

5.5.1 Memoria de cálculo

El análisis multicriterio se basa en la comparación entre pares de parámetros previamente seleccionados, con el objetivo de determinar el peso específico de cada uno sobre su incidencia en el grado de susceptibilidad por deslizamientos. La tabla siguiente se muestra los resultados finales de este proceso y el peso específico calculado para cada parámetro en el caso de Chilpancingo.

Tabla 21. Índices comparativos y peso específico final de parámetros empleados en definir zonas de susceptibilidad por deslizamientos en Chilpancingo

PARÁMETRO	Pendiente	Geoformas	Edafología	Uso de suelo	Geología	Distancia a fallas	PESO ESPECIFICO
Pendiente	0.40816	0.31304	0.29630	0.33333	0.33333	0.62500	0.38
Geología	0.13605	0.10435	0.22222	0.22222	0.05556	0.06250	0.13
Geoformas	0.10204	0.03478	0.07407	0.11111	0.05556	0.06250	0.07
Uso de suelo	0.06803	0.02609	0.03704	0.05556	0.05556	0.06250	0.05
Edafología	0.20408	0.31304	0.22222	0.16667	0.16667	0.06250	0.19
Distancia a fallas	0.08163	0.20870	0.14815	0.11111	0.33333	0.12500	0.17
							1.00000

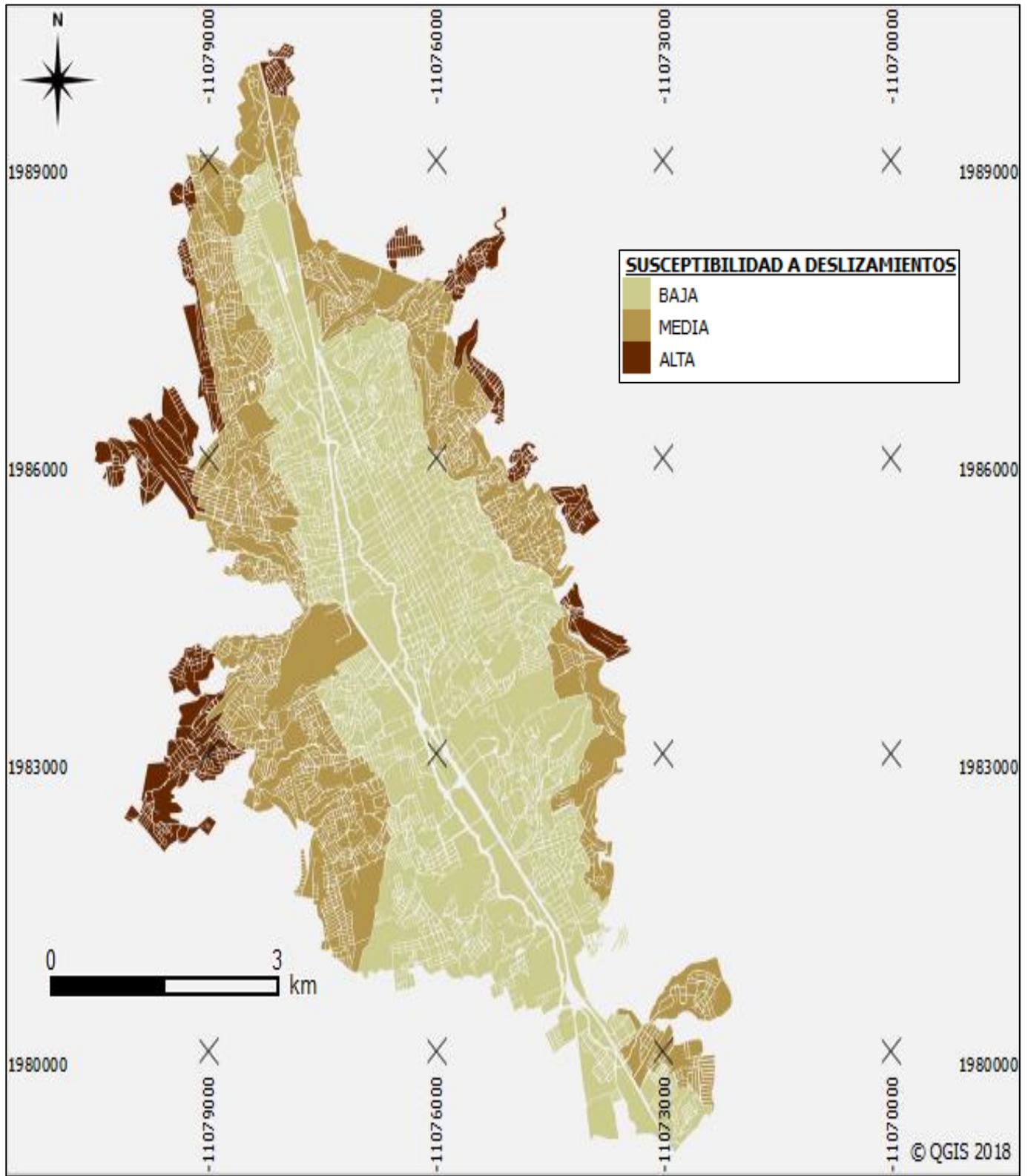
Fuente: (SEDATU, 2016).

5.5.2 Resultado del análisis

En general, la susceptibilidad por ocurrencia de deslizamientos para Chilpancingo es alta dentro de los límites territoriales, a lo largo de todo el año, con mayor probabilidad de presencia de movimientos en la temporada de lluvias, es decir entre mayo y octubre.

Es muy alta la probabilidad de que se presenten deslizamientos en los próximos años, probabilidad que se puede incrementar por el aumento de la cobertura urbana, más aún si esto se presenta sobre laderas de inclinaciones mayores a 12°, asociado al a deforestación e incremento en causales de erosión. Dadas las condiciones de valores de pendiente las obras de mitigación de tipo ingenieril requerirían de una inversión notable, por lo que es recomendable únicamente en situaciones asociadas a un riesgo inminente y es mejor enfocar las decisiones con base en ordenamientos de crecimiento urbano e incluso en reubicación de asentamientos bajo amenaza alta.

Mapa 1. Índice de susceptibilidad a un deslizamiento



5.6 Sismicidad y ocurrencia de procesos de remoción en masa

Los sismos pueden generar, además de movimiento vibratorio característico, una serie de efectos colaterales que inducen deformaciones y roturas en el terreno, ejemplo de lo cual son los deslizamientos, flujos y derrumbes. Sin embargo, frecuentemente, no sólo depende del sismo para su ocurrencia, sino que deben de presentarse otra serie de factores condicionantes, tales como la duración e intensidad del sismo, pero también la inclinación del terreno, saturación del suelo, cambios en la geometría del terreno, entre otros.

De lo anterior se deriva que es necesario determinar las zonas de susceptibilidad por deslizamientos y el peligro sísmico de un lugar para establecer la correlación entre ambos eventos. Dada la escala de influencia de los sismos, a nivel regional o local en términos de referencia espacial, no se presentan cambios en las zonas de susceptibilidad y, en consecuencia, tampoco por el riesgo asociado. Sin embargo, el factor que si puede variar es el asociado a la prevención, en dos escenarios: la disminución de la vulnerabilidad (principalmente física) y el establecimiento de sistemas de alerta temprana.

En el primer punto es necesario establecer actividades de reducción de la vulnerabilidad asociada a la inestabilidad de laderas (reubicación, planes de ordenamiento territorial, programas de reforestación, manejo de líneas subterráneas -desagüe, agua. Electricidad, etc.-, técnicas de contención de caídas de material removido ladera arriba, etc.). En el segundo, es necesario establecer protocolos de atención ante alarmas por actividad sísmica. En este punto, un parámetro vital de estimación es la correlación entre intensidad sísmica y ocurrencia de deslizamientos.

En el caso de Chilpancingo, existe una limitada correlación entre ocurrencia de sismos y desarrollo de deslizamientos. Esta relación es limitada dada la escasez de registros de deslizamientos con referencias de hora y fecha precisas, la ausencia de registro de flujos y la dificultad de contar con información asociada a derrumbes (a lo que se puede añadir que estos dos últimos tipos de PRM son los de mayor correlación con la actividad sísmica). Sin embargo, los registros que se tienen permiten estimar los valores de intensidad que pueden dar lugar a un deslizamiento y las condiciones necesarias de saturación del suelo.

En la siguiente tabla se muestran registros de deslizamientos, los cuales se presentaron durante un periodo de 2 días previos o posteriores a la ocurrencia de actividad sísmica, pero también con registros de precipitación antecedente en el mismo período de tiempo (la precipitación no necesariamente supera valores altos o cercanos a los establecidos como umbrales de precipitación por PRM).

Tabla 22. Correlación entre ocurrencia de PRM, lluvias antecedentes y actividad sísmica en Chilpancingo,

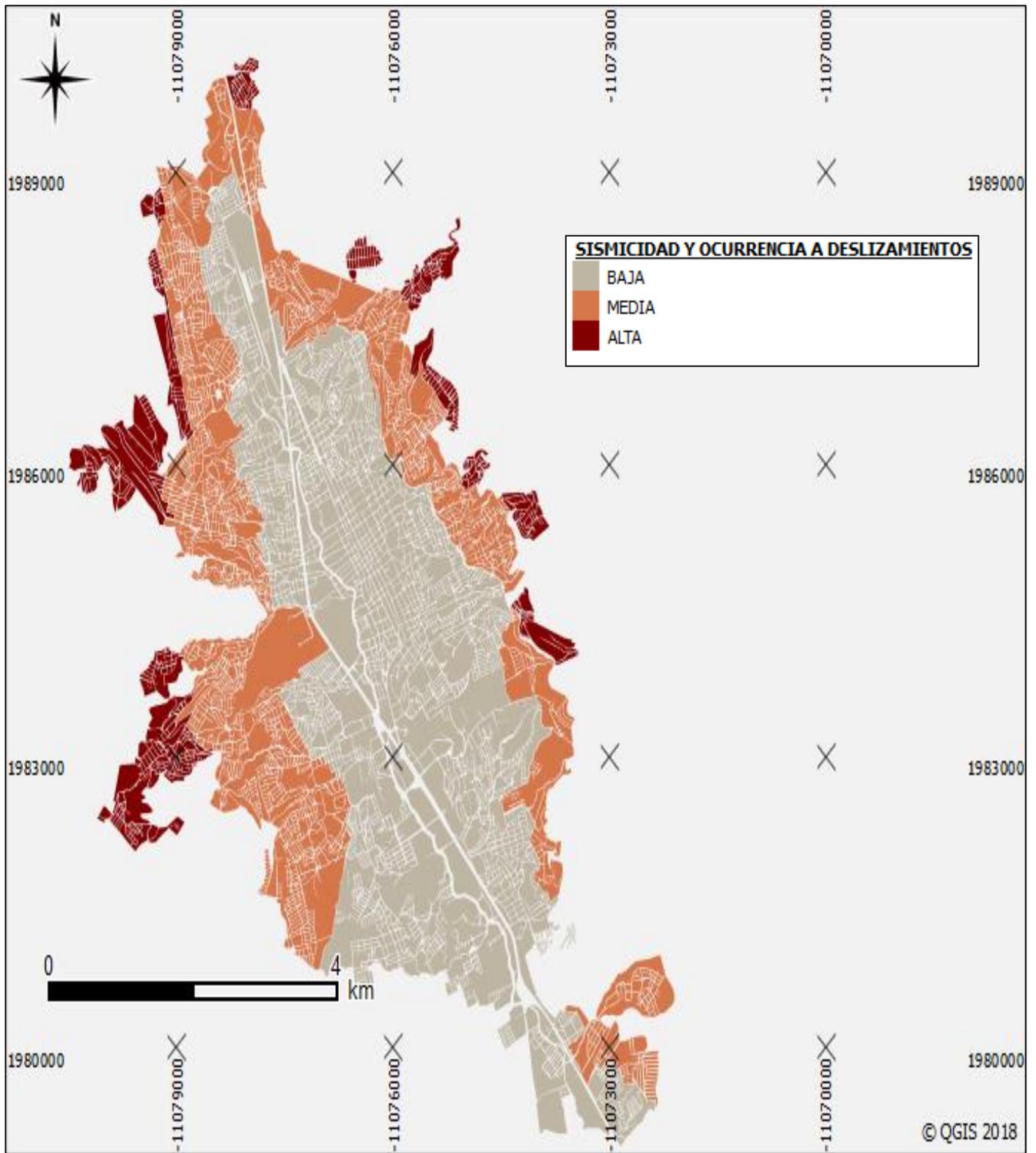
PRM	Fecha	Profundidad (Km.)	Magnitud (° Richter)	Precipitación antecedente (mm/48 hrs.)
Deslizamiento	25/11/2002	59	3.5	15
Deslizamiento	13/07/2004	66	4.0	25
Deslizamiento	09/10/2004	20	3.8	30
Deslizamiento	14/07/2005	32	3.6	45
Deslizamiento	15/05/2008	42	3.6	15
Deslizamiento	27/05/2008	27	3.8	25
Deslizamiento	27/05/2008	43	3.7	25
Deslizamiento	03/06/2008	45	3.7	60
Deslizamiento	16/06/2008	30	3.7	40

Fuente: Servicio Sismológico Nacional, registros del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Zuñiga-Gutiérrez, 2016.

De lo anterior se concluye que en el caso de Chilpancingo los sismos también pueden ser considerados como un factor detonante de PRM, aun cuando su intensidad no sea considerada media o alta, los registros de deslizamientos asociados a actividad sísmica siempre están asociados a precipitaciones previas.

Finalmente, es fundamental que la población que habita en zonas de riesgo por inestabilidad de laderas cuente con la atención de parte de las autoridades, en términos de recibir la información adecuada de las consecuencias posibles y escenarios de ocurrencia de deslizamientos, tanto asociados a precipitaciones intensas como a la actividad sísmica, lo cual incluye establecer protocolos de alerta temprana ante ambos eventos (sismicidad y precipitaciones intensas).

Mapa 2. Nivel de sismicidad y ocurrencia a deslizamientos para la ciudad de Chilpancingo



5.7 Vulnerabilidad física

Corresponde a las condiciones y características de las viviendas, relacionadas principalmente a los materiales de construcción en muros y techos, debido a que estos responderán de forma diferente ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador.

Para Chilpancingo de los Bravo, esta condición se obtuvo para la sismicidad e inundaciones como dos de los principales peligros que han generado afectaciones. La identificación del tipo de viviendas se realizó de forma indirecta mediante el uso del Google Earth y la herramienta Street View, la cual permitió recorrer las zonas urbanas y obtener la tipología de viviendas por manzana y posteriormente, generar los mapas correspondientes.

a) Vulnerabilidad física por Sismicidad.

Se realizó para las localidades con mayor número de población y catalogadas como urbanas; el siguiente cuadro señala la tipología empleada:

Tabla 23. Tipo de viviendas de acuerdo a su vulnerabilidad física ante sismos.

Valor	Categoría	Características
5	Muy Alta	Muros de materiales débiles con techos flexibles.
4	Alta	Muros de adobe con techos flexibles.
3	Media	Muros de adobe con techos rígidos.
2	Baja	Muros de mampostería con techos flexibles.
1	Muy Baja	Muros de mampostería con techos rígidos.

Fuente: (SEDATU, 2016)

Una vez determinado la tipología de vivienda, se procedió a realizar lo señalado por CENAPRED (2006):

1. Localizar el municipio correspondiente en los mapas de peligro por sismo.
2. Determinar el valor del nivel de peligro asociado al municipio en estudio.
3. Evaluar el índice relacionado con la vulnerabilidad física, IVF.
4. Evaluar el índice relacionado con la vulnerabilidad social, IM.
5. Finalmente evalúese el índice de riesgo, IRF.

La obtención del Índice de Riesgo Físico se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula (los datos se pueden consultar en los ANEXOS):

$$IRF = IVF \left[0.08 + \frac{IM}{25} \right]$$

Los resultados se clasificaron de la siguiente forma:

- 0.0- 0.2= Muy bajo
- 0.2 - 0.4= Bajo
- 0.4 - 0.6= Medio
- 0.6 - 0.8= Alto
- 0.8 - 1.0= Muy alto

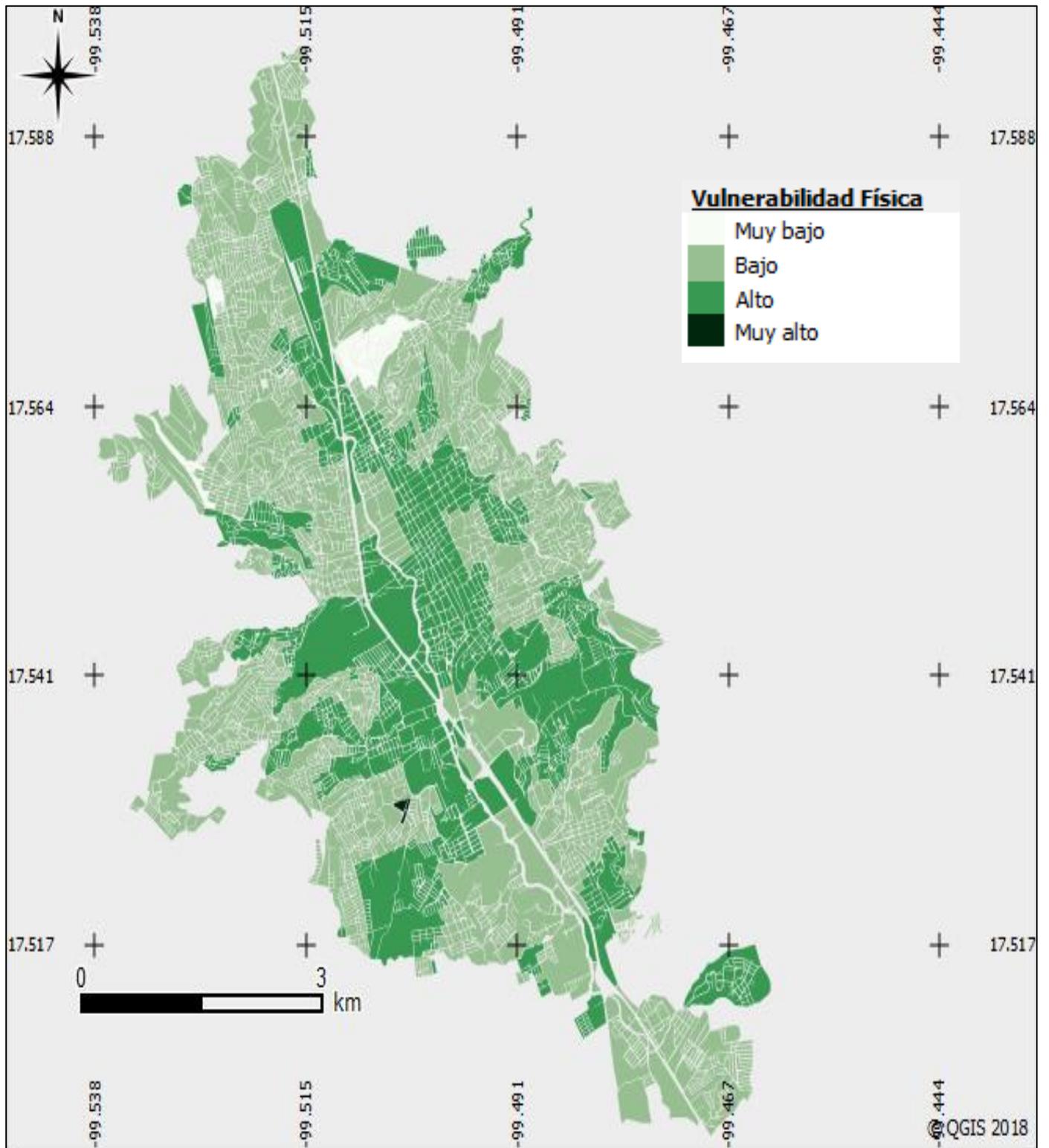
El siguiente cuadro señala el número de viviendas y población en cada nivel de vulnerabilidad física ante sismicidad.

Tabla 24. Población y viviendas de acuerdo a su vulnerabilidad física ante sismos

Categoría	Población	Viviendas
Muy Alta	924	263
Alta	2,194	579
Baja	23,046	6,537
Muy Baja	186,071	55,344

Fuente: (SEDATU, 2016)

Mapa 3. Vulnerabilidad física a la que se encuentra expuesta la ciudad de Chilpancingo



6. Conclusiones y recomendaciones

En los últimos años el fenómeno de los deslizamientos de laderas es un tema de gran importancia para las investigaciones científicas, las cuales pretenden conocer mejor la peligrosidad asociada y los efectos que se generan durante estos eventos.

A continuación se exponen las principales conclusiones deducidas del trabajo de investigación:

- Se realizó un estado del arte sobre las metodologías para la evaluación del riesgo asociado a los deslizamientos de laderas; el cual, nos permitió desarrollar las técnicas y encuadrar mejor el problema abordado, así como canalizar las aportaciones realizadas en la tesis.
- El reconocimiento del suelo, las evidencias geológicas, relatos de las personas que han estado desde los inicios de la colonia y evidencias actuantes de la problemática empleada; son factores que requieren un amplio conocimiento al momento de realizar la evaluación por la metodología que maneja el Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED). Para esta investigación se consultó a geólogos que laboran en Protección Civil, se realizó un estudio de mecánica de suelo por parte de un especialista y se consultó a los investigadores expertos en el tema de este posgrado.
- Después de analizar los datos obtenidos podemos concluir que el método empleado solo permite un análisis inicial al fenómeno, es decir que los mapas resultantes de la investigación se consideran como una primera aproximación en la identificación de las zonas con índice de susceptibilidad a los deslizamiento. Por lo tanto, se recomienda realizar una investigación a escala muy detallada y emplear algún otro método eficaz en el análisis a la problemática.
- Los factores que más influyeron para la inestabilidad de laderas es el tipo de suelo (arcillas) que facilita la filtración de agua y saturación del poro, los cuales disminuyen la resistencia al esfuerzo cortante. Las altas pendientes que se tienen en algunas zonas, sobre todo en las periferias. Y por último la presencia de lluvias pero sobre todo, los frecuentes sismos de baja o alta intensidad producidas en la ciudad.

- Se realizó un esfuerzo importante para el análisis y la implementación del modelo en relación con el factor detonante (sismos), ya que la correlación entre la intensidad sísmica y ocurrencia de deslizamientos es escasa. Para realizar una generalización del comportamiento, la resistencia y la intensidad o magnitud del sismo en una ladera, se requiere un análisis más a fondo con el fin de mejorar el modelo de evaluación y los resultados.
- Las áreas o zonas que resultan con un mayor índice de peligrosidad de deslizamientos sobre los sismos, se utilizó en método del Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) y el método del I-DCM que consiste en modificar de un grado de libertad equivalente a la estructura multiplicándolo por una serie de coeficientes para estimar el desplazamiento máximo del oscilador no lineal.
- Al realizar un estudio sobre el riesgo a deslizamientos de laderas a una escala urbana, la acción sísmica se debe asociar a un escenario sísmico concreto, y no solo a una estimación probabilista en la que la contribución a la peligrosidad de varias fuentes impide identificar de forma directa el evento específico que causaría el riesgo calculado.

ANEXOS

Mapa 1. Índice de susceptibilidad a un deslizamiento

Mapa 2. Nivel de sismicidad y ocurrencia a deslizamientos para la ciudad de Chilpancingo

Mapa 3. Vulnerabilidad física a la que se encuentra expuesta la ciudad de Chilpancingo

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. El riesgo es la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada

Imagen 2. La amenaza en la ocurrencia de un incidente

Imagen 3. Vulnerabilidad ante los desastres naturales

Imagen 4. El Asipu o exorcista de Mesopotamia

Imagen 5. El Fedón o sobre la inmortalidad del alma es un diálogo platónico que se ambienta en las últimas horas de vida de Sócrates

Imagen 6. Mapa de Hecateo de Mileto

Imagen 7. Códice Telleriano Remensis

Imagen 8. Sacrificio por extracción de corazón. Códice Magliabechiano

Imagen 9. Procesión al Exvoto novohispano a la Virgen de los Remedios

Imagen 10. Partes principales de un deslave.

Imagen 11. Los caídos o derrumbes pueden ocurrir con más frecuencia en las carreteras

Imagen 12. Los vuelcos o desplomes

Imagen 13. Los deslizamientos

Imagen 14. Esquema de deslizamiento rotacional

Imagen 15. Esquema de deslizamiento transnacional

Imagen 16. Flujo de lodo, Cerro de Yantajirca Yanahuanca

Imagen 17. Flujo de tierra en el Salvador

Imagen 18. Flujo de detritos

Imagen 19. Lahar en el volcán Casitas, Nicaragua

Imagen 20. Representación esquemática de las fuerzas actuantes y resistentes que se desarrollan en una ladera: a) antes y b) durante un evento sísmico

Imagen 21. Características de los deslizamientos ocasionados por el sismo de Naganoken 1984 en Japón

Imagen 22. Frecuencia de volumen de deslizamientos, durante el sismo de Izuoshima de 1978, Grafica Inferior área de Otaki durante el sismo de Nagano en 1984,

Imagen 23. Aceleración critica en función del factor de seguridad y el ángulo de inclinación de la ladera

Imagen 24. Material movilizado durante el sismo del 3 de enero de 1920

Imagen 25. Distribución y tipo de desplazamiento de las placas tectónicas a lo largo de la costa occidental de México

Imagen 26. Localización del epicentro del sismo del 21 de enero de 2003 M 7.6

Imagen 27. Llegada de las ondas sísmicas. Primero, se sienten las ondas P, luego las S y finalmente, las ondas Love y las ondas superficiales

Imagen 28. Deslizamiento de Takarazuka en el Japón activado por un sismo

Imagen 29. Deslizamiento por licuación en el momento de un sismo en Alaska -1964

Imagen 30. Algunas distancias para los estudios de ingeniería sísmica

Imagen 31. Mapa de Isosistas del Sismo de Puerto Rondón, Colombia 1993

Imagen 32. Zona intertropical de convergencia mostrando su influencia sobre el Estado de Guerrero

Imagen 33. Gráfica que muestra la incidencia de deslaves relacionada con las zonas de precipitación en el Estado

Imagen 34. Mapa de pendientes del Estado de Guerrero

Imagen 35. Sombreado a base de los modelos digitales de elevación del Estado de Guerrero, donde se puede notar lo abrupto del territorio

Imagen 36. Principales rasgos batimétricos del Litoral del Pacífico Mexicano, zonas de ruptura, velocidad de subducción y edad de la corteza oceánica

Imagen 37. Localización aproximada de las franjas de sismicidad en el Estado de Guerrero.

Imagen 38. Mapa de localización de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo

Imagen 39. Geología de la Ciudad de Chilpancingo mostrando las principales unidades litológicas, donde se infiere que la mayor parte de los deslizamientos ocurre en los sedimentos lacustres de la formación Chilpancingo

Imágenes 40 y 41. Sedimentos de la Formación Chilpancingo donde se puede apreciar las capas de aglomerados, arenas y arcillas en estratificación subhorizontal

Imagen 42. Gráfica de precipitación en la estación Chilpancingo (1980-1994).

Imagen 43. Gráfica de precipitación total promedio para Chilpancingo entre los años 1980-1994

Imagen 44. Vista de la colonia Héroes de Guerrero después de la ocurrencia del deslizamiento

Imagen 45. Vista de la afectación que dejó el deslizamiento en la zona

Imágenes 46 y 47. Extracción de las muestras del suelo en la ladera

Imágenes 48 y 49. Visita y evaluación de la colonia para el análisis de riesgo

Imágenes 50 y 51. Vistas de los deslizamientos que ocurrieron en la colonia

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los procesos de remoción en masa

Tabla 2. Escala de velocidad de remociones en masa

Tabla 3. Clasificación de remociones en masa basadas en la generación por sismos

Tabla 4. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa

Tabla 5. Tipos de remociones en masa generadas por sismos

Tabla 6. Abundancia de eventos de remoción en masas generadas por sismos

Tabla 7. Terremotos históricos causan deslizamientos en El Salvador

Tabla 8. Relación histórica de algunos deslizamientos activados por sismos y volcanes

Tabla 9. Posibilidad de deslizamientos causados por sismos

Tabla 10. Escala de intensidad Mercalli modificada

Tabla 11. Aceleración máxima y duración de sismos

Tabla 12. Acelerogramas de los terremotos registrados en los últimos 20 años, en Chilpancingo

Tabla 13. Formato para la identificación geotécnica de laderas inestables utilizado en el presente estudio

Tabla 14. Grados de amenaza en laderas

Tabla 15. Estimación del peligro de deslizamiento

Tabla 16. Velocidad y destructividad de deslizamientos y flujos

Tabla 17. Índice general de los límites de líquido y plástico en el muestreo de la colonia “Héroes de Guerrero”

Tabla 18. Resultados de la evaluación en la colonia “Héroes de Guerrero” por los diferentes factores de inestabilidad

Tabla 19. Resultados de la evaluación en la colonia “El Mirador” por los diferentes factores de inestabilidad

Tabla 20. Resumen de las evaluaciones en las dos colonias de la ciudad

Tabla 21. Índices comparativos y peso específico final de parámetros empleados en definir zonas de susceptibilidad por deslizamientos en Chilpancingo

Tabla 22. Correlación entre ocurrencia de PRM, lluvias antecedentes y actividad sísmica en Chilpancingo,

Tabla 23. Tipo de viviendas de acuerdo a su vulnerabilidad física ante sismos.

Tabla 24. Población y viviendas de acuerdo a su vulnerabilidad física ante sismos

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, A. I. (2004). *Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla*. Ciudad de México, México: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Allan Lavell, P. (1996). *Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición*.
- Alonso Gómez Bernal, H. J. (2004). *Earthquake scenarios in Guerrero México, an earthquake hazard characterization*. Vancouver, Canadá: 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Austin, A. L. (2005). *El sacrificio humano entre los mexicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ayala, I. A. (2000). *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos de terreno? Definición, clasificaciones y terminología*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Baeza, R. C. (2003). *Análisis de susceptibilidad y riesgos asociados a procesos de remoción en masa en Zacapoaxtla, Puebla*. México: Filosofía y letras, UNAM.
- Bello Gutiérrez B, C. Á. (2004). *Medicina de desastres*. La Habana: Ciencias Médicas.
- Bennassar, B. (1996). *Los desastres naturales en la Europa medieval y moderna*. Madrid: Universidad de Madrid.
- Berenguer, A. L. (1999). *Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico*. Física de la Tierra.
- Blancas, L. (24 de Septiembre de 2017). Afecta un deslizamiento de tierra más de 10 casas de Chilpancingo. *El Sur de Acapulco*.
- Brabb, E. (1985). *Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping* (Vol. 1). Toronto: IV International Symposium on Landslides.
- Capel, H. (1980). *Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII*. Barcelona, España: Cuadernos Críticos de Geografía Humana .
- Cardona, O. D. (1993). *Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo*. Bogotá, Colombia: Ediciones Tercer Mundo.
- Cardona, O. D. (2001). *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

- Castillo, M. d. (2007). *Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- CENAPRED. (2017). *Antecedentes Históricos*. México.
- CENAPRED, M. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales*. Ciudad de México: SEGOB.
- Chaves, O. J. (2011). *Base de datos de deslizamientos inducidos por sismos*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Civil, P. (2010). *Ley número 455 de Protección Civil*. Acapulco.
- Colindres, F. J. (2012). *Participación en la gestión de riesgos, por deslizamientos y derrumbes: Caso de los centro de educación básica, ubicados en las laderas del cerro El Pichado de Tegucigalpa*. Honduras: Universidad Pedagógica Nacional.
- Cortés, G. V. (2007). *Vulnerabilidad social y desastres en Totonacapan. Una historia persistente*. México: Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.
- Covello V.T., M. J. (1985). "Risk Analysis and Risk Management: An Historical Perspective". Risk Analysis, Society for Risk Analysis Volume 5 (2), pp 103-20 .
- Del Pilar, M. L. (2007). *Metodología para la evaluación y zonificación del peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada, San Ramón*. Santiago de Chile: Facultad de ciencias Geofísicas y Matemáticas.
- Desastres, C. N. (2003). *Informe Técnico para Sustento de la Declaratoria de Desastre Natural de 3 Municipios del Estado de Michoacán, 10 del Estado de Colima y 27 del Estado de Jalisco*. Ciudad de México: Sistema Nacional de Protección Civil.
- Desastres, C. N. (2008). *Inestabilidad de Laderas*. MÉXICO: SEGOB.
- Donati, L. T. (2002). *An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Appennines (Valnerina; Perugia, Italy)*. Elsevier: Engineering Geology No. 63.
- Durán, F. A. (2010). *Adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres en México: obstáculos y posibilidades de articulación*. Villahermosa, Tabasco: El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Villahermosa.
- Figueras Vila, S. (2005). *Aplicación del Método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra*. Valencia, España: VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- Gálvez, E. D. (2016). *Plan Institucional frente a Emergencias y Desastres* . México: IMSS.

- González De Vallejo, L. F. (1999). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- González, A.-C. C. (2002). *Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastre*. Manizales, Colombia: IDEA.
- Gonzalez, M. y. (2009). *Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables*. Chilpancingo de los Bravo: FOPREDEN.
- González, M. y. (2009). *Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables*. Chilpancingo de los Bravo: FOPREDEN.
- Gutierrez, C. A. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos* (1a ed.). México, D.F.: CENAPRED.
- Gutiérrez, C. A. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos* (1a ed.). México, D.F.: CENAPRED.
- Hauser, A. (1993). *Remociones en masa en Chile*. Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- Housner, G. W. (1970). *Strong ground motion en Earthquake engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Jurado, J. J. (2009). *Desastres naturales, rogativas públicas y santos protectores en la nueva Granada (siglos XVIII y XIX)*. Bogotá: Boletín cultural y bibliografico.
- Kari Keipi, S. M. (2005). *Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Keefer, D. (1984). *Landslides caused by earthquakes*. Geological Society of America Bulletin.
- Keefer, D. (1984). *Landslides caused by earthquakes*. Geological Society of America. California, U.S.A.: Menlo Park.
- Lavell, A. (2003). *La Gestión Local del Riesgo*. Guatemala, Guatemala: CEPREDENAC y PNUD.
- Lizardo Narváez, A. L. (2009). *La gestión del riesgo de desastres, un enfoque basado en procesos*. San Isidro, Perú: Comunidad Andina.
- Makdisi F.I., S. H. (1978). *Simplified procedure for computing maximum acceleration and natural period for embankments*. Berkeley, California: University of California.
- Maskrey, A. (1998). *Navegando entre Brumas*. Perú: La Red.

- Miguel A. Jaimes Téllez, M. P. (2010). *Metodología para estimación de daño en la infraestructura por deslizamientos usando sistemas de información geográfica*. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Morales, M. J. (1999). *Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas*. Fenómenos Geológicos.
- ONU. (1994). *La Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales*. Yokohama, Japón.
- Ortíz, A. (25 de Octubre de 2015). Se hunde parte de una colonia en Chilpancingo; hay familias afectadas. *Bajo Palabra*.
- Parise, M. (2001). *Landslide Mapping Techniques and their use in the assessment of the landslide hazard*. Elsevier: Phys. Chem.
- Pathak, S. N. (2004). *Probabilistic rock slope stability analysis for Himalayan*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment No. 63.
- Popescu, M. (2002). *Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options*. Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides. Singapur: Slope Stability and Safety of Infra-Structures.
- Prieto, C. (1985). *Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Quirós, L. H. (2017). *Modeliaciones y análisis de sensibilidad en la evaluación integral del riesgo sísmico a escala urbana. aplicación a la ciudad de Lorca*. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.
- RAE. (2017). *RAE*. Madrid, España.
- Rubiano, M. T. (2009). *Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Ruiz, A. M. (2005-2006). La Sociedad del Riesgo y la necesidad Moderna de Seguridad. *Castellano - Manchega de Ciencias Sociales*, 27-41.
- Sánchez, O. A. (2012). *Percepción de riesgo en desastres, un tema a priorizar en la educación médica*. Holguín, Cuba: Universidad de Ciencias Médicas de Holguín.
- SEDATU, A. M. (2016). *Atlas de peligros del municipio de Chilpancingo de los Bravo*. Chilpancingo: Instituto de Capacitación Profesional.
- Seed, H. (1970). *Soil problems and Soil behavior, Earthquake Engineering*, R.L. Newark, New Jersey: Englewood Cliffs.

- Selby, M. (1993). *Hillslope materials and processes* (Second Edition ed.). Oxford.
- Sepúlveda, S. (1998). *Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana*. Santiago de Chile: Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Soldado, A. (2009). *"Inundaciones ¿Qué es susceptibilidad? Conceptos sobre riesgo"*. Córdoba, Argentina: RIMD.
- Soustelle, J. (2012). *El universo de los Aztecas*. México, D.F.: Fondo de cultura económica.
- Suarez, J. D. (2009). *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (Vol. 1). Bucaramanga, Colombia.
- Tamayo, J. J. (2004). *Fundamentalismos y diálogos entre religiones*. Madrid, España: Trotta.
- UNDRO. (1980). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Informe de la Reunión del Grupo de Expertos*. Ginebra: Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en casos de Desastre.
- Villar, M. d. (1996). *Por voluntad divina: Escasez, epidemias y otras calamidades en la ciudad de México*. México: SEP.
- Virginia García Acosta, J. M. (2003). *Desastres agrícolas en Meéxico* (Vol. 1). México: Época prehispánica y colonial.
- Wahlstrom, M. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres*. Sendai, Japón: Naciones Unidas.
- Weppen, R. Q. (2001). *Inestabilidad de Laderas*. México: CENAPRED.
- Wilches Chau, G. (1993). "La Vulnerabilidad Global". En Maskrey, A. (ed.) *Los desastres no son naturales*. Colombia: Tercer Mundo Editores.
- Wordreference. (2017). <http://www.wordreference.com>. Obtenido de <http://www.wordreference.com>: <http://www.wordreference.com/es/en/translation.asp?spen=riesgo>