

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGIA

TESIS DE GRADO

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a cross and a book, surrounded by a wreath. The shield is set against a background of a grid of small dots. The outer ring of the seal contains the text "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" at the top and "FUNDADA EN 1594" at the bottom.

EVALUACION DE LA AMENAZA
POR DESLIZAMIENTOS PARA UN
AREA EN EL MUNICIPIO DE
CHINAUTLA, GUATEMALA

MANUEL ANTONIO MOTA CHAVARRIA

COBAN, A.V., 1997.

Cobán, A.V., 6 de agosto de 1997

**Honorables Miembros Consejo Regional
Honorable Tribunal Examinador
Centro Universitario del Norte
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Respetables Señores:

Con el fin de cumplir con el Reglamento del Programa de Tesis de Grado de Centros Regionales Universitarios, someto a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado:

“EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS PARA UN AREA DEL MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA”,

el cuál espero merezca su aprobación, a la vez que solicito se nombre Tribunal Examinador Público, así como fecha para dicho examen.

En espera de una resolución favorable, me suscribo de ustedes, atentamente,


Manuel Antonio Mota Chavarría
Carnet No. 86-12408

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Centro Universitario del Norte
"CUNOR"
Apto. Postal N° 55, Telefax 0511064-0513645
Cobán, A. M., Guatemala, Centroamérica

MIEMBROS DEL HONORABLE CONSEJO REGIONAL

PRESIDENTE:	ING. ANGEL ARCE CANAHUI
COORDINADOR ACADEMICO:	ING. DAVID S. FUENTES GUILLERMO
SECRETARIO:	LIC. VICTOR RAUL CASTILLO MONTEJO
REPRESENTANTES DOCENTES:	ING. LUIS H. ORTIZ CASTILLO LIC. JUAN RUANO GRANADOS
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	MARBIN ANIBAL CABALLEROS EDGAR FRANCISCO MENDOZA MARIO ROBERTO MARCHORRO PONCE LUIS OSMUNDO TORRES SAM MARCO VINICIO VARGAS JUAREZ

COMISION DE TESIS

PRESIDENTE:	ING. MAURICIO CHIQUIN YOJ
SECRETARIO:	ING. EDGAR O. BRAN SAMAYOA
VOCAL:	ING. JAIME E. REQUENA FERNANDEZ

INSIVUMEH
INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA
VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

MINISTERIO DE COMUNICACIONES, TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS
7a AVENIDA 14-57 ZONA 13
GUATEMALA, C.A

TELEFONO: 3317483
3317483
331722,41
CALLE INSIVUMEH

OFICIO No.
REF

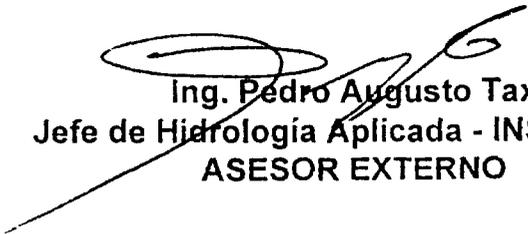
Guatemala, 4 de agosto de 1997

Señores
Miembros de la Comisión de Tesis
de la Carrera de Geología
Centro Universitario del Norte
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores:

Me dirijo a ustedes con el fin de informarles que he revisado la elaboración del trabajo de Tesis titulado: **“EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS PARA UN ÁREA DEL MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA”**, elaborado por el Técnico Universitario en Geología **Manuel Antonio Mota Chavarría**, y que a mi criterio, cumple con los objetivos propuestos originalmente para la investigación, por lo cuál me complace aprobarlo.

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente, me suscribo de usted muy atentamente,


Ing. Pedro Augusto Tax
Jefe de Hidrología Aplicada - INSIVUMEH
ASESOR EXTERNO



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Centro Universitario del Norte
"CUNOR"

Apto. Postal N° 55. Telefax 0511064-0513645
Cobán, A. V., Guatemala, Centroamérica

25 de julio de 1997

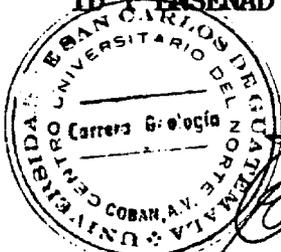
Señores
Miembros de la Comisión de Tesis
Carrera Geología
CUNOR

Señores:

Por este medio, me dirijo a ustedes con el fin de informarles que he revisado el Informe Final de Tesis del T.U. MANUEL ANTONIO MOTA CHAVARRIA titulado "EVALIACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO PARA UN AREA DEL MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA", el cual a mi criterio cumple con los objetivos propuestos, por lo que me complace darlo por aprobado.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Edgar O. Bran Samayoa
ASESOR

c.c. Archivo

Dedicatoria

A Dios Todopoderoso

Por iluminarme y permitirme llegar a este momento.

A mi Madre

Con mucho Amor, por ser este el fruto del esfuerzo de ella al darme la oportunidad de estudiar y como un sincero reconocimiento al apoyo incondicional que me brindó durante toda mi carrera.

A la Memoria de mi Padre

Como tributo al ejemplo que él significó para mí.

A Rosita

Con mucho amor, que sirva la presente para agradecerle la paciencia, el apoyo y confianza que me ha brindado.

A mis Hijos

Con mucho amor y como ejemplo de lo que se puede lograr con determinación.

A mis Hermanos y Sobrinas

Como agradecimiento por la confianza y apoyo que siempre me han brindado, principalmente durante el tiempo que duraron mis estudios en el CUMOR, así como un estímulo a seguir siempre adelante.

AGRADECIMIENTOS

Es justo resaltar el más sincero agradecimiento a las autoridades del INSIVUMEH y del Departamento de Hidrología Aplicada, por la oportunidad brindada para la realización del presente estudio, ya que sin dicha ayuda, hubiera sido imposible la realización del mismo. Esta ayuda incluyó principalmente el transporte durante el trabajo de campo, el acceso al equipo de computación de la Sección de Hidrología Aplicada para la elaboración del documento de la Tesis.

Sinceras gracias a los compañeros del INSIVUMEH, en especial a los de las Secciones de Aguas Superficiales y Climatología, así como a los jefes de las secciones de Hidrología Aplicada, Vulcanología y Sismología del INSIVUMEH: Ingeniero Pedro Tax, geólogo Otoniel Matías e Ingeniero Enrique Molina, por su ayuda desinteresada en las diferentes etapas de este trabajo y por los comentarios al informe, los cuales definitivamente enriquecieron el contenido del mismo.

A las personas que colaboraron en algún momento en la realización de este estudio, contribuyendo a la finalización del mismo, especialmente a la Geógrafa Gisella Gellert, que contribuyó con sus conocimientos acerca de la población de Santa Cruz Chinautla.

INDICE

INDICE	i
RESUMEN	iv
INTRODUCCION	v
OBJETIVOS	v
Generales	v
Especificos	v
ORGANIZACION Y METODOS DE TRABAJO	vi
Recopilación Bibliográfica y Selección del área de trabajo	vi
Análisis Previo	vi
Etapa de Campo	vi
Interpretación de datos	vii
Trabajo de Gabinete	vii
Primera Parte: Antecedentes	
1. LAS REMOCIONES EN MASA	I
1.1. Clasificación	1
a. Derrumbes	2
b. Deslizamientos	3
b.1. Deslizamientos en bloque	4
b.2. Deslizamientos Rotacionales	5
c. Flujos	6
d. Reptación	7
1.2. Los Mecanismos de las Remociones en Masa	7
a. Los Derrumbes	10
b. Los Deslizamientos	10
1.3. Efectos de las remociones en masa	11
2. EVALUACION DE LA AMENAZA POR REMOCIONES EN MASA	13
2.1. Factores de evaluación	13
a. Factores de susceptibilidad	13
b. Factores de disparo	13
2.2. Aspectos básicos	14
a. Inventario de anteriores remociones	14
b. Relieve	15
c. Litología y estructura	15
d. Geomorfología y fisiografía	16
e. Meteorología y clima	16
f. Hidrología	17
g. Vegetación	18
h. Actividades antrópicas	18
i. Tectónica	19
j. Mecánica de suelos	20
3. EL VALLE DE GUATEMALA	21
3.1. Clima	21
3.2. Fisiografía	21
3.3. Geología	24

3.3.1. Litología	25
a. Rocas Paleozóicas	25
b. Rocas Cretácicas	25
c. Rocas Terciarias	27
d. Rocas Cuaternarias	29
3.3.2. Geología Estructural	32
3.4. Neotectónica	34
3.5. Hidrología	36
a. Hidrografía	37
b. Hidrogeología	38
3.6. Suelos	39
3.7. Deslizamientos en el Valle de Guatemala	39
Segunda Parte: Area de Estudio	
4. AREA DE ESTUDIO	41
4.1. Selección del área	41
4.2. Localización y ubicación	43
4.3. Accesibilidad	43
4.4. Topografía	44
4.5. Clima y Vegetación	45
5. GEOLOGIA LOCAL	46
5.1. Litología	46
a. Intrusivos	46
a.1. Diorita	47
a.2. Granito	49
a.3. Diques	49
a.4. Edad	50
b. Calizas	50
c. Lavas	51
d. Depósitos Volcánicos	51
d.1. Depósitos de Flujo	52
d.2. Depósitos de Caída	53
d.3. Secuencias Fluviales	54
e. Aluviones Recientes	55
5.2. Geología Estructural	56
a. Fracturas	57
b. Fallas	58
5.3. Meteorización	59
5.4. Mecánica de Suelos	60
6. LAS REMOCIONES EN MASA	62
6.1. Generalidades	62
6.2. Procesos de las Remociones en Masa	65
6.3. Los Derrumbes	65
6.4. Los Deslizamientos	66
a. Deslizamientos Superficiales	67
b. Deslizamientos Rotacionales	67
6.5. Otros Fenómenos Observados	71
6.6. Efectos de las Remociones en masa	72

7. FISIOGRAFIA LOCAL	74
7.1. Hidrografía	74
7.2. Geomorfología	76
a. Planicie estructural	76
b. Cañones fluviales	78
c. Depósitos de Remociones en masa	78
d. Valles Fluviales	81
8. EL AGUA	83
8.1. Aguas Meteóricas	83
8.2. Escorrentía Superficial	85
8.3. La Infiltración	87
9. LA ACTIVIDAD SISMICA	88
9.1. Fuentes Sísmicas	88
9.2. La Intensidad Sísmica	90
9.3. Topografía Local	91
9.4. La Litología	92
9.5. El Fracturamiento	94
10. ACTIVIDAD ANTROPICA	95
10.1. Las Areas Habitadas	95
10.2. La Explotación de Minerales no Metálicos	97
10.3. Las Carreteras y Otras Obras de Infraestructura	99
10.4. Los Desagües y Los Desechos	101
10.5. Agricultura y Deforestación	102
11. DETERMINACION DE LA AMENAZA POR REMOCIONES	103
11.1. Metodología	103
11.2. Análisis Paramétrico	104
a. Índice de Relieve Relativo Local (Rrl)	104
b. Índice Litológico Local (Li)	104
c. Índice de Humedad del Suelo Local (HI)	107
d. Índice Local de Actividad Sísmica (SI)	108
e. Índice Local de Lluvias Intensas (LII)	108
11.3. Amenaza por Remociones en Masa para el área de Chinautla	108
12. CONCLUSIONES	110
13. RECOMENDACIONES	112
14. BIBLIOGRAFIA	113
ANEXOS	

RESUMEN

La litología del área de trabajo se compone de intrusivos, lavas, calizas (del Cretácico), depósitos volcánicos Cuaternarios y aluviones recientes; el área presenta fallas normales con rumbo predominantemente al NE, formando un sistema de bloques levantados y hundidos.

La fisiografía se caracteriza por la presencia de cañones regularmente profundos, con laderas de pendientes predominantemente abruptas (regularmente $>40^\circ$), aunque hacia el sur, se observan remanentes de la meseta del Valle, y al norte, se observan pequeños valles fluviales. Los interfluvios de los cañones, regularmente son elevaciones angostas y alargadas de perfil triangular. Existen depósitos de remociones, algunos de los cuales ocupan grandes extensiones areales y que están ocupadas por algunas comunidades.

Las remociones son muy comunes, debido principalmente a las características de las rocas (fracturamiento y meteorización, entre otros) y a la fisiografía (predominantemente abrupta), notándose que los deslizamientos rotacionales se concentran en los depósitos volcánicos Cuaternarios, los derrumbes son más abundantes en las rocas más antiguas y los deslizamientos superficiales, se generan en todos los tipos de roca.

A pesar que el principal disparador de deslizamientos en el área es la precipitación pluvial, existen otros factores, como las actividades hídrica, sísmica y antrópica, las cuales, además de ser disparadores, actúan como "acelerantes" de estos fenómenos.

En el área se han estimado cinco grados de amenaza por deslizamientos, la distribución de los cuales está en relación de la litología, fisiografía y factores de disparo que afectan cada zona.

INTRODUCCION

El presente estudio pretende cumplir dos finalidades: la primera de las cuales es formar parte de un proyecto conjunto entre el INSIVUMEH (representado por el Departamento de Hidrología Aplicada) y el Fondo Argentino de Cooperación Internacional, el cual pretende estudiar el riesgo geológico causado por remociones en masa en la Ciudad de Guatemala y áreas aledañas; la segunda finalidad, consiste en cumplir el requisito de presentar una investigación que sirviera como Tesis previo a optar al título de Ingeniero Geólogo en el Centro Universitario del Norte.

La necesidad de este estudio, consiste en que hasta el momento, son escasos los trabajos en el país donde se evalúe la amenaza por deslizamientos, existiendo algunos que han sido realizados por el Departamento de Hidrología Aplicada del INSIVUMEH, a escala regional (1:50,000), mientras que a mayor detalle, existen pocos estudios de este tipo, principalmente estudios geotécnicos, en los cuales se mencionan en forma general los eventos de este tipo.

El motivo de escoger el norte de la Capital para la investigación, se debió a que existen evidencias de que anteriormente, Chinautla, ha sido afectado por remociones, los que han producido grandes pérdidas materiales y en ocasiones hasta humanas y por lo tanto, se hace necesario una evaluación a detalle de la amenaza por deslizamiento a la que se encuentra expuesta esta zona.

OBJETIVOS

GENERALES

- Evaluar la amenaza por deslizamiento en un área de Chinautla.
- Realizar un mapa de amenaza por deslizamiento para la región de Chinautla, a escala 1:10,000.
- Establecer un modelo de amenaza por deslizamiento para el Area Metropolitana de Guatemala.
- Proporcionar información que ayude en la planificación urbana del Area Metropolitana de Guatemala.

ESPECIFICOS

- Ubicar estructuras geológicas superficiales locales que puedan estar relacionadas con remociones.
- Describir la litología de la zona y sus posibles relaciones con deslizamientos.
- Ubicar y delimitar zonas susceptibles a ser afectadas por deslizamientos.
- Compilar y analizar la información de los aspectos de la zona que puedan servir como "factores de disparo" para las remociones (corrientes de agua, precipitación pluvial, sismología, etc.).

ORGANIZACION Y METODOS DE TRABAJO

La evaluación se llevó a cabo en varias etapas que se describen a continuación:

Recopilación Bibliográfica y Selección del área de trabajo: En esta etapa, se recolectó bibliografía especializada en algunos centros de información (INSIVUMEH, FLACSO Guatemala, Municipalidad de Guatemala, Biblioteca del CUNOR y fuentes particulares) y se obtuvo el material gráfico necesario (fotografías aéreas y mapas topográficos), en el IGM.

La bibliografía obtenida consistió en estudios efectuados en la Capital y en otros casos, documentos específicos acerca de la temática de la investigación. El material gráfico obtenido, consistió en: ortofotomapa (esc. 1:10,000) y fotografías aéreas (esc. aprox. 1:11,000).

Con el material recolectado, se designó una región dentro de la Ciudad de Guatemala, la cual por sus condiciones, fuera una región propensa a sufrir deslizamientos.

Análisis Previo: En esta etapa, luego de seleccionar la región, se efectuó un recorrido preliminar para escoger el área de interés, la cual se escogió por sus condiciones naturales (principalmente la presencia de cañones de laderas muy abruptas). Luego de esta selección (con ayuda de la fotointerpretación), se realizó un primer análisis, el que sirvió para determinar características locales, las que fueron verificadas en los recorridos de campo.

La fotointerpretación ayudó a ubicar algunas de las evidencias de deslizamientos antiguos, algunos puntos de posible interés para evaluar los deslizamientos, así como para definir los posibles caminamientos para utilizar en la actividad de campo.

Etapas de Campo: Los recorridos efectuados, siguieron principalmente los caminos existentes (carreteras, veredas, etc.). Durante estos recorridos, se recolectó la información que pudiera señalar la presencia de remociones antiguas. Para ésto, fue necesario recolectar datos de los rasgos fisiográficos que podrían ser indicativos de la presencia de cicatrices de remociones antiguas o de los depósitos de los mismos (geomorfología local).

En varios lugares (principalmente cortes naturales y artificiales), se recolectó información litológica y estructural, la cual ayudó a estimar los tipos comunes de remoción en cada una de las litologías que afloran en el lugar. Como complemento se tomaron datos de la actividad hídrica local, que en anteriores oportunidades, ha sido importante en la generación de

remociones en los alrededores del poblado de Santa Cruz Chinautla. Finalmente, se obtuvo información acerca de las actividades antrópicas que se realizan en el lugar o que aunque se efectúen fuera del área, tienen alguna repercusión en la misma así como también se tomaron datos de los daños ocasionados por anteriores deslizamientos en obras de infraestructuras.

Interpretación de datos: Con ayuda de la bibliografía y conforme se recolectaron los datos de campo, se inició la interpretación de la información, definiéndose algunas características locales, principalmente, las intrínsecas de los materiales que cubren el terreno y que podrían facilitar la generación de remociones locales (humedad, litología, meteorización, etc.), y que ayudaron a determinar posibles factores que facilitan las remociones, además, se evaluaron los posibles disparadores de deslizamientos y en algunos casos, se definieron las condiciones que seguramente afectaron remociones anteriores, lo que ayudó a concretar las características que podrían esperarse en el futuro en el caso que se genere alguna remoción en el lugar.

Trabajo de Gabinete: En la última etapa del trabajo, se elaboraron los mapas geológico, geomorfológico y de amenaza por deslizamientos a escala 1:10,000 del área seleccionada para el estudio. Finalmente, se procedió a la redacción del documento final.

Primera Parte
Antecedentes

1. LAS REMOCIONES EN MASA

Las remociones están entre los más naturales procesos geológicos dinámicos relacionados con la geodinámica externa e incluyen todos los movimientos de rocas y escombros que se producen bajo la influencia de la gravedad¹. El movimiento de estos fenómenos, puede ser imperceptiblemente lento o extremadamente rápido, puede involucrar un solo fragmento de roca o toda la ladera de una montaña y puede tener un componente vertical y horizontal, o puede ser únicamente vertical como en el caso de caída libre de rocas en la pared de un acantilado.

Debido a que en la superficie terrestre, la carga litostática es nula o pequeña, la mayor parte de las rocas tienen un comportamiento muy frágil y por lo tanto están intensamente fracturadas y fisuradas. Como no existen grandes esfuerzos triaxiales, las estructuras formadas en la superficie, no tienen elementos de simetría, se convierten en incoherentes y caóticas, su forma dependerá en gran parte de la topografía superficial y de las condiciones que reinan en la superficie².

En la naturaleza, el movimiento de las remociones dependerá de la combinación de factores del medio natural (litología, pendiente, clima y tectónica), que motivan la generación de inestabilidades en las laderas de los cañones. A pesar de lo anterior, la gran mayoría de las remociones en masa, se generan al presentarse otros factores distintos a los naturales, los cuales aceleran o activan precipitadamente estos fenómenos, como por ejemplo, cuando el hombre interactúa nocivamente con las pendientes, alterando las condiciones normales del terreno.

En la actualidad, estos fenómenos geológicos producen grandes pérdidas, debido a que pueden mover grandes volúmenes de material en pocos minutos que los que pueden mover agentes erosivos ordinarios en un siglo o más³.

1.1. Clasificación

Los movimientos de laderas pueden presentarse bajo condiciones variadas, debido a las combinaciones que pueden existir entre los factores activadores y las características de los materiales involucrados (volúmenes, mecanismos de ruptura,

¹ Llamadas también movimiento de tierras, movimiento de laderas, deslizamientos, etc.

² MATTAUER, M. 1976.

³ ZUMBERGE, J.H. y NELSON, C.A. 1972.

comportamiento, etc.). Debido a estas circunstancias, se hace difícil su clasificación y estudio⁴, y por lo tanto, su clasificación variará según sea el autor que se consulte. Por este motivo, la clasificación que se propone para la presente investigación, está adaptada de varios autores⁵ y tipifica los fenómenos más comunes de acuerdo al tipo de movimiento que se puede suceder.

Según se observa en la **Figura 1.1**, los movimientos de ladera se pueden dividir en cuatro categorías⁶, dependiendo del tipo de movimiento y de la velocidad de la remoción de material, y que son: Derrumbes, deslizamientos, flujos y reptaciones. A pesar de que esta clasificación es una manera sistemática de diferenciar las remociones, debe pensarse que muchos fallamientos de ladera involucran varios tipos de movimiento durante el tiempo en el cual la dislocación del material de la ladera está en progreso.



* Para HARP (1981), estos dos tipos de movimientos se clasifican como deslizamientos.

Figura 1.1. Gráfica de los movimientos de tierra sobre laderas, de acuerdo al tipo de movimiento (no se incluyen las posibles combinaciones de movimientos) (modificado de varios autores)

a. Derrumbes⁷

Estos fenómenos incluyen los movimientos y caída violenta de materiales rocosos de diferentes dimensiones y que generalmente se producen en la parte superior de laderas de pendiente muy abrupta, o en las partes altas de los escarpes de acantilados y cortes de carreteras, canteras, etc.(Figura 1.2).

⁴ FERRER GIJON, M. 1987.

⁵ HARP, E.L. *et al.* 1981, y ZUMBERGE...

⁶ Según ZUMBERGE...

⁷ También llamadas "de caída libre".

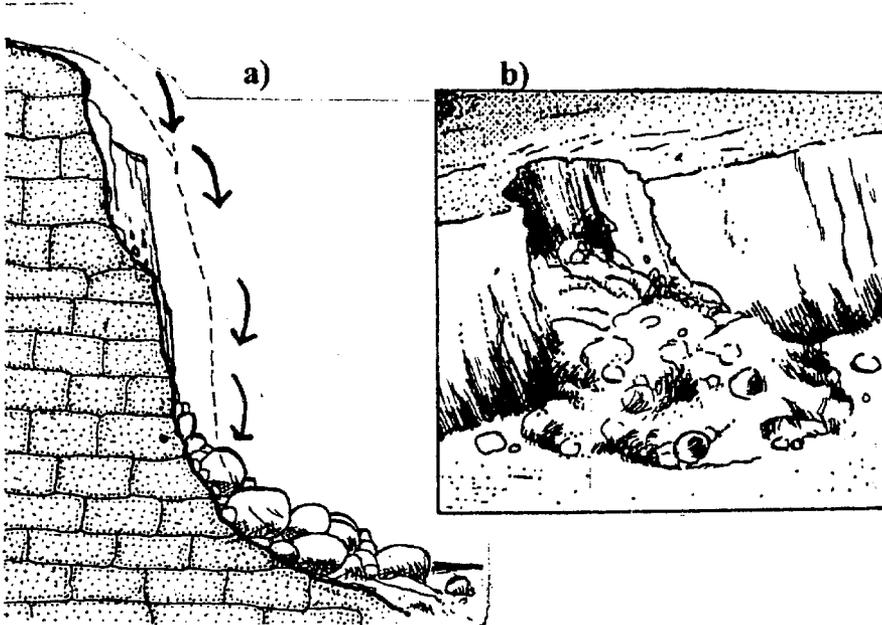


Figura 1.2. a) Sección de un derrumbe, mostrando el desarrollo del fenómeno. b) Esquema de un derrumbe típico (MEDINA, J. 1991).

En ocasiones, pueden incluir rebotes o rodamiento de rocas a lo largo de algunas de las laderas menos abruptas de los cañones y se pueden generar a lo largo de un plano o una serie de planos paralelos, principalmente desde las partes superiores de laderas abruptas de cañones.

A diferencia de otros fenómenos de remoción en masa, estos se caracterizan por el movimiento desordenado, acompañado de fuertes ruidos. Un mecanismo particular lo constituye el desprendimiento de bloques rocosos de diferentes tamaños a manera de caída libre sin rozar con la superficie (MEDINA, J, 1991).

b. Deslizamientos

Estos fenómenos, frecuentemente se producen muy rápidamente, y posiblemente debido a las grandes pérdidas que han generado en muchos países, están entre los tipos mejor estudiados de las remociones en masa. Un deslizamiento típico presenta varias rasgos característicos, los cuales se observan en la Figura 1.4.

Los deslizamientos se pueden generar en laderas de pendientes muy variables, llegando en ocasiones, a detenerse hasta que el terreno tenga una pendiente muy pequeña o que carezca totalmente de ella, y al igual que los derrumbes, se pueden producir a lo largo de un plano o una serie de planos paralelos.

Los deslizamientos se pueden clasificar en dos tipos, de acuerdo a la superficie sobre la cual se desliza el material que se remueve durante el fenómeno. Estos tipos son los siguientes:

b.1. Deslizamientos en bloque⁸

Se producen a lo largo de una zona de debilidad o plano inclinado casi paralelos a la superficie del afloramiento de roca e inclinación menor o igual que la cara del talud y a lo largo del escarpe superior de la cabecera del deslizamiento. El movimiento en general es por traslación a lo largo del plano o zona basal. Estos deslizamientos ocurren principalmente a lo largo de la parte más profunda de la superficie fallada (Figura 1.3).

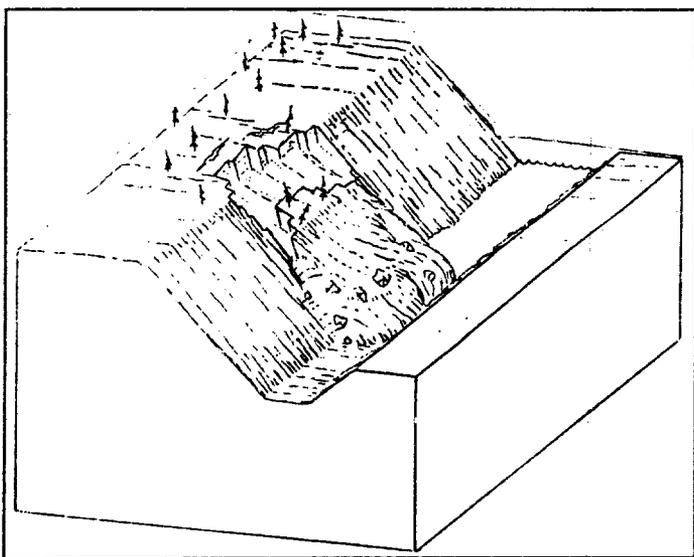


Figura 1.3. Esquema de un deslizamiento en bloque (HARP, E.L. et al, 1981)

Generalmente, una superficie de discontinuidad estructural o de contacto entre dos unidades litológicas de diferente competencia, sirve de plano de rotura, pudiendo ser la superficie de despegue una discontinuidad litológica o un nivel blando o arcilloso subyacente al material rocoso. Este tipo de movimiento, relativamente es poco profundo con relación a la longitud del deslizamiento y la masa del material que desliza permanece casi intacta⁹.

En ocasiones, estos deslizamientos son poco profundos y disgregacionales, limitándose a la zona menos profunda del terreno, originado principalmente el movimiento de las delgadas capas de suelos residuales que se encuentran sobre el cuerpo rocoso, y puede originarse como un desacoplamiento en la interfase suelo-roca¹⁰. Este tipo de deslizamiento recibe el nombre de *deslizamiento de suelo*.

⁸ Llamados también "deslizamientos traslacionales" (FERRER...)

⁹ Idem

¹⁰ Un ejemplo de esto, son los suelos cohesivos con presencia de niveles de diferente competencia intercalados y que están condicionados por la existencia de filtraciones paralelas a la cara del talud. (Idem).

b.2. Deslizamientos Rotacionales¹¹

Se generan a lo largo de una superficie o zona basal cóncava hacia arriba y se caracterizan por el movimiento rotacional del bloque desplomado como por el resbalamiento a lo largo del plano curvo (Figura 1.4). Durante estos deslizamientos, la superficie superior, cerca del escarpe de la cabecera, generalmente es rotado hacia la cara del escarpe posterior y el desplome ocurre principalmente a lo largo de la parte más profunda del fallamiento.

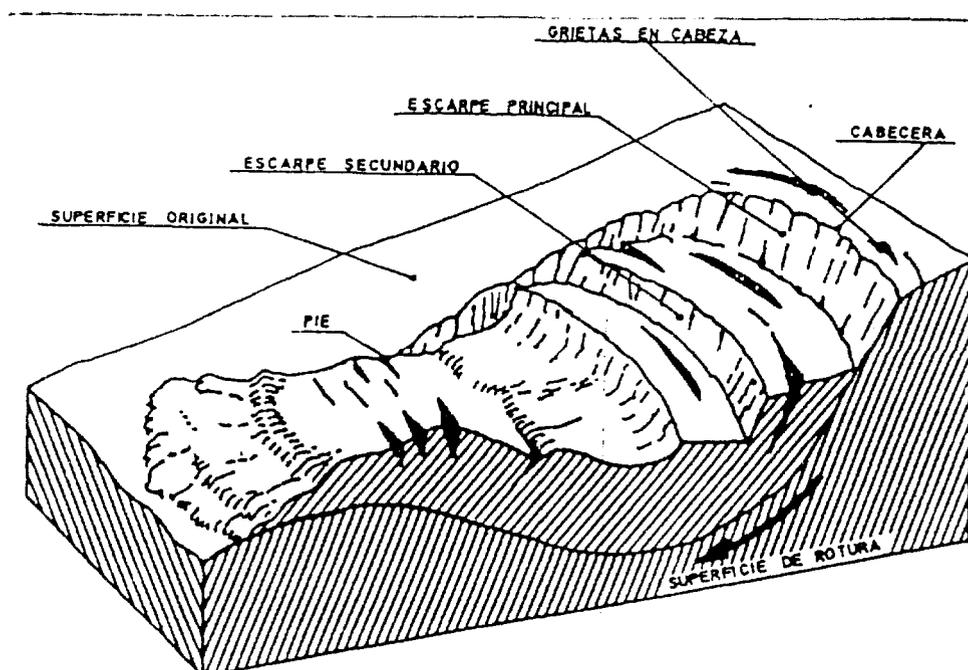


Figura 1.4.
Esquema de un
deslizamiento
rotacional (FERRER
GIJON, M. 1987)

Este tipo de deslizamiento, puede desarrollarse en lechos rocosos muy fracturados y sin estructura o en suelos cohesivos uniformes o no consolidados. En ocasiones, cuando el material deslizado no alcanza un estado de equilibrio al pie del talud (debido a su pérdida de resistencia o a la pendiente existente), puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros alcanzando velocidades muy altas y pudiendo dar lugar a un flujo, si existe presencia de agua y el material presenta las características necesarias, arrasando todo lo que encuentre a su paso¹².

Los deslizamientos rotacionales pueden ser: simples, múltiples o sucesivos (Figura. 1.5). El primer tipo genera una sola superficie de rotura circular y el material se mueve como una unidad. Existe avance del terreno hacia abajo (en cabecera)

¹¹ llamados también desplomes (en inglés "slump")

¹² FERRER...

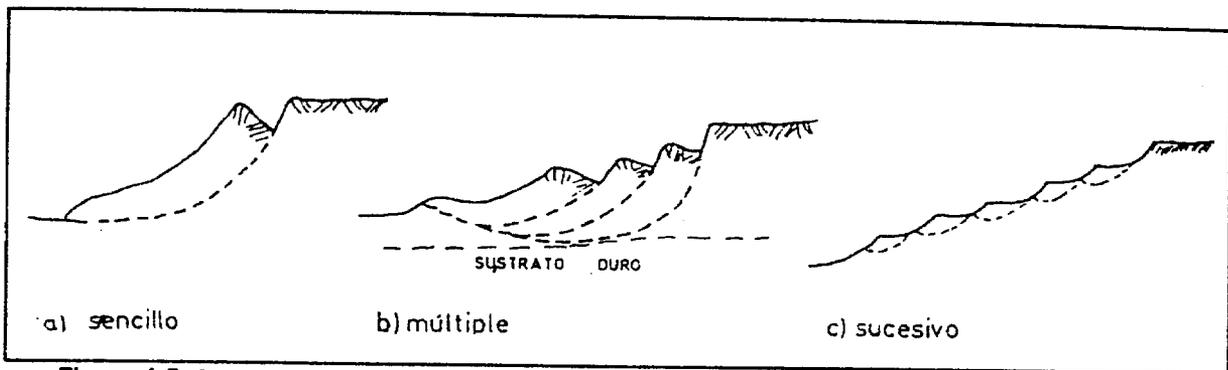


Figura 1.5. Tipos de deslizamientos rotacionales: a) Sencillos, b) Múltiples, c) Sucesivos (FERRER GIJON, M. 1987).

y hacia afuera (a pie del talud) cuando se dan varios deslizamientos que van englobándose sucesivamente. Este tipo de roturas se dan principalmente en arcillas duras y fisuradas. La base de los círculos de rotura puede estar impuesta por la presencia de algún nivel litológico competente.

Los grandes deslizamientos rotacionales suelen ser movimientos complejos, incluyendo componentes traslacionales en sus desplazamientos y procesos tipo flujo a pie de los mismos. Dependiendo del tamaño del deslizamiento, la masa deslizada puede estar recortada por un sistema de fallas que delimitan horsts y grabens¹³.

c. Flujos

Los flujos son remociones de material en los cuales los materiales sólidos están mezclados con grandes cantidades de agua, constituyendo un fluido de muy alta viscosidad debido al alto contenido de agua en la composición del material removido. La velocidad del movimiento, dependerá del grado de fluidez del fluido y pueden variar desde pocos metros por mes a varios metros por segundo (ZUMBERGE y NELSON. 1972). Por lo anterior, estos fenómenos se originan en terrenos con un alto contenido de agua y se pueden clasificar en dos tipos, de acuerdo a los porcentajes de material transportado:

Flujo de escombros, cuando involucran regolita no consolidada que contiene mucha agua y un amplio rango de tamaño de partículas, desde arcillas hasta grandes cantos rodados. **Flujo de lodo**, cuando al menos la mitad de los materiales involucrados, son arcillas, limos o arenas; estos flujos se mueven en canales bien definidos que estuvieron ocupados por corrientes en otros tiempos, y pueden acarrear fragmentos muy grandes o bloques de roca que han sido escogidos a lo largo del camino; estos flujos avanzan valle abajo en una serie de arranques en intervalos que varían desde pocos segundos a

¹³ MATTAUER, M. (1976)

varias horas. Algunos flujos de lodo son grandemente fluidos y forman depósitos en forma de mantos digitados donde ellos emergen sobre el piso de una superficie suavemente inclinada¹⁴

d. Reptación

Es el más lento y muchas veces el más imperceptible de los movimientos de remoción. Puede involucrar deslizamiento o flujo, dependiendo del material, el ángulo de la ladera y otros factores. Las manifestaciones de estos fenómenos, se pueden observar en la zona intemperizada de capas de rocas sedimentarias de gran buzamiento y la dislocación de los rasgos culturales situados sobre ellos. A pesar de que la reptación no depende del contenido de agua en el terreno, la congelación y el derretimiento del agua en los escombros de ladera pueden acelerar el proceso.

I.2. Los Mecanismos de las Remociones en Masa

Como ya se mencionó con anterioridad, para que se produzcan las remociones se necesita la presencia de dos elementos naturales fundamentales: **Gravedad y relieve**¹⁵. Además de estos dos elementos, existen otros aspectos que influyen en el movimiento de laderas: El aspecto climático más influyente sobre estos fenómenos es la **precipitación pluvial**, la cual influye en el tipo de movimiento: Al agregar un poco de agua, la **reptación** se convierte en **deslizamiento** y añadiendo otro poco de agua, el deslizamiento se transforma en **colada de barro**¹⁶.

Otro aspecto es la **tectónica** y la **sismicidad** asociada, ya que es bien conocida la asociación que existe entre los terremotos violentos con los deslizamientos y no existe duda alguna de que los sismos puedan causar remociones, especialmente en laderas inestables¹⁷ o donde existe un reemplazo del manto vegetal natural o bien ausencia total del mismo.

En general, cualquier remoción es la respuesta del material al cambio en las condiciones que controlan la estabilidad. La causa principal generadora de cambios en los materiales de una ladera, es la **reducción en la intensidad de las fuerzas que**

¹⁴ ZUMBERGE...

¹⁵ FONDO ARGENTINO...

¹⁶ Idem.

¹⁷ Como se observó durante el terremoto de 1976. GUATEMALA, MUNICIPALIDAD. 1995. Guatemala y el contexto nacional.

tienden a mantener estos productos en un estado de descanso¹⁸, dando lugar a fenómenos de "reajuste" que se pueden manifestar en forma de movimientos gravitacionales que a veces involucran un volumen importante de material¹⁹.

La propiedad de los materiales que impide que sean afectados por la dislocación gravitacional a lo largo de algún plano de fallamiento o por deformación interna de cualquier material, es llamada esfuerzo de corte²⁰, y por esta razón, es el factor de mayor importancia para mantener la estabilidad de una ladera con respecto a la gravedad; en algunas masas rocosas, esta propiedad puede variar por sectores: algunas partes son fuertes, mientras que otras presentan zonas de debilidad en las juntas, fallas, fracturas o planos de estratificación (el contacto entre la regolita y el cuerpo rocoso, es un ejemplo de un posible plano inestable con respecto a la gravedad).

El intemperismo puede producir una pérdida en el esfuerzo de corte, tanto en rocas como en regolita: El intemperismo químico debilita los enlaces entre los granos minerales adyacentes en rocas ígneas y metamórficas, disolviendo el material cementante en sedimentos detríticos, produciendo minerales arcillosos que poseen bajo esfuerzo de corte. Algunas rocas, inicialmente poseen un esfuerzo de corte muy leve y el intemperismo simplemente agrava una situación ya inestable. Las arcillas y lutitas particularmente son bajas en su resistencia al corte y son más susceptibles a la pérdida de masa que otros tipos de roca.

El agua juega un papel importante en el esfuerzo de corte de los materiales terrestres. En pequeñas cantidades, el agua contenida en los poros entre granos de arena o limo, puede incrementar el esfuerzo de corte de estos materiales, pero al aumentar la cantidad de agua, se pueden hinchar los minerales arcillosos²¹ y finalmente cambiar una lutita, antes coherente, en una mezcla que actúa como líquido, prácticamente sin esfuerzo de corte, que como un sólido. Debe tomarse en cuenta, que los movimientos muy rápidos en las ladera, ocurren durante o posteriormente a las fuertes lluvias.

Luego que se ha debilitado el esfuerzo de corte, entra a trabajar la tensión de corte (fuerza que tiende a permitir que dos partes adyacentes de un sólido se deslicen uno con respecto al otro a lo largo de uno o varios planos paralelos), que

¹⁸ ZUMBERGE...

¹⁹ FERRER...

²⁰ ZUMBERGE...

²¹ Esto disminuye el esfuerzo de corte en la masa rocosa así como a lo largo de planos de debilidad preexistentes. (Idem)

puede generar grietas de expansión o relajación en las laderas de los cañones en donde no existe confinamiento lateral, con lo cual se fragmentan las rocas dando origen a los movimientos de remoción de masa.

La gravedad es la fuerza principal que produce una tensión de corte en los materiales terrestres, pero como la gravedad es una constante con respecto a la pérdida de masa, puede no ser responsable de un incremento o disminución en la tensión de corte.

Por lo general, la tensión de corte no se incrementa tanto como para alcanzar el límite de ruptura, pero en ocasiones pueden existir factores que pueden incrementarla hasta alcanzar el límite de ruptura, entre los cuales se encuentran: **Incremento en el peso de los materiales** (producto de la adición de nuevo material sobre el techo o por saturación con agua), **la remoción del soporte** (realizado por medios naturales o artificiales e involucra un incremento en la inclinación de toda la ladera o parte de ella)²², **o las vibraciones terrestres** (producidas por los terremotos, el paso muy cercano de camiones o trenes pesados, explosiones y fenómenos similares).

Para comprender mejor los movimientos de laderas, hay que tener en cuenta las siguientes características de la superficie terrestre, que están muy relacionadas con ellos²³:

- a) La superficie terrestre presenta laderas que varían de pendiente, desde verticales en regiones montañosas, gargantas de ríos, y acantilados costeros hasta los terrenos suaves de las bases de montañas y tierras bajas.
- b) Se supone que las laderas naturales que retienen una pendiente constante, sobre un período de tiempo cualquiera, son estables o se encuentran en una condición de equilibrio, con lo que se estima que la resistencia del material sobre el que se ha desarrollado la ladera, es lo suficientemente fuerte para contrarrestar la gravedad que tiende a empujar la roca y el suelo hacia abajo.

Si cada una de estas características se analiza por separado en cada caso en particular, se puede observar que cada uno de ellas, presenta distinta mecánica y por lo tanto deben de analizarse por separado.

²² Por ejemplo, la erosión de la base de la ribera de un río por la corriente de agua o las excavaciones en proyectos de construcción.

²³ ZUMBERGE...

a. Los Derrumbes

Estos fenómenos se generan cuando la tensión de corte se produce a lo largo de un plano o una serie de planos paralelos, principalmente desde las partes superiores de laderas abruptas de cañones y son producto de la acción directa de la gravedad sobre el material que se encuentra generalmente en pendientes muy abruptas o verticales. Entre las causas que pueden originar estos fenómenos, están:

- La remoción (o erosión) del material de la base de un escarpe por acción natural o por la intervención del hombre.
- Efectos de meteorización (alteración de la roca)
- Efectos de congelamiento del agua en las fracturas
- Presión de las raíces de los árboles en las fracturas
- Baja cohesión de los materiales que constituyen los taludes.

b. Los Deslizamientos

La mecánica de generación de los deslizamientos, se puede estudiar, si sobre una superficie de contacto entre dos bloques de roca (que puede ser una discontinuidad estratigráfica o una fractura), se descompone el peso (P) del bloque superior en sus dos componentes (Figura 1.6): la tensión de corte (τ) y la componente normal a la superficie (σ). Cuando por cualquier razón (por ejemplo, un aumento de peso en la superficie o un sismo) se alcanza el límite de ruptura del bloque superior, se puede provocar un deslizamiento de todo ese bloque hacia la base, que sólo se detiene cuando se alcanza un nuevo equilibrio²⁴.

Tomando en cuenta lo anterior, los deslizamientos en bloque, se generan cuando el cizallamiento se presenta a lo largo de una zona de debilidad o plano basal inclinado y por esfuerzo tensional a lo largo del escarpe superior de la cabecera del deslizamiento y ocurren principalmente a lo largo de la parte más profunda del fallamiento.

²⁴ MATTAUER, M. 1976.

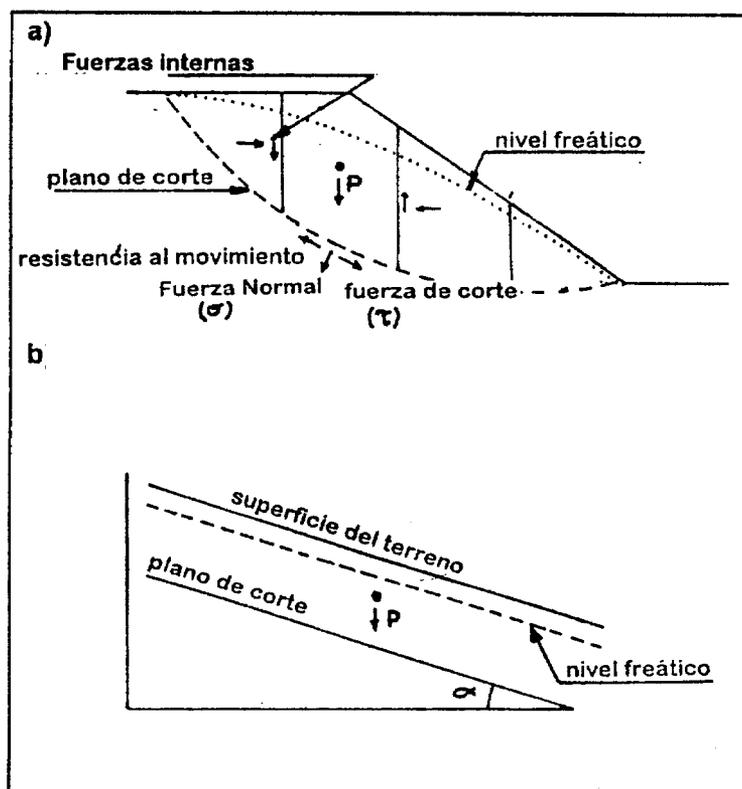


Figura 1.6. Esquema de un deslizamiento mostrando su forma de desplazamiento: a. sobre una superficie curva (deslizamiento rotacional); b. sobre una superficie plana (deslizamiento traslacional). Adaptado de "Geomorphological Techniques" por Goudie, A. Et al. (1981). British Geomorphological Research Group.

1.3. Efectos de las remociones en masa

Anteriormente, las remociones eran poco o nada conocidas, debido a que las áreas afectadas por ellas, tenían reducidas poblaciones y por lo tanto, los daños fueron relativamente pequeños. Pero debido principalmente a la deforestación, los cambios en los regímenes pluviales y la ocupación de cañones por personas de condiciones precarias (donde el terreno es poco adecuadas para construir), las laderas de los cañones se han vuelto foco de desastres²⁵.

Los grandes deslizamientos influyen en la configuración del terreno, principalmente en zonas montañosas, pudiendo llegar a obstruir valles, cursos de ríos y embalses (con el consiguiente peligro de creación de lagos artificiales y desbordamientos) y a destruir pueblos y edificaciones asentados al pie o en laderas montañosas²⁶.

Los efectos más espectaculares y frecuentemente catastróficos, son producto de movimientos inducidos en forma de deslizamientos y flujos de lodo. Algunas de estas dislocaciones destructivas, son disparadas por las actividades antrópicas,

²⁵ GUATEMALA, MUNICIPALIDAD. 1995. La planificación integral de la Ciudad.

²⁶ FERRER... 1987.

pero la gran mayoría de ellos ocurren como resultado de los procesos naturales. En cualquiera de los dos casos, pueden crear estragos en áreas pobladas y hacer gran destrucción sobre las obras de infraestructura creadas por el hombre.

Por lo anteriormente visto, las grandes remociones son un aspecto importante del ambiente natural del hombre, particularmente en áreas urbanas, donde se han llegado a edificar residencias en sitios muy susceptibles para el movimiento de masas²⁷ :

Las remociones constituyen un riesgo, no solamente por el movimiento mismo (interrumpiendo los servicios básicos mínimos, destrucción de viviendas o edificios, etc.)²⁸ , sino por los subsecuentes daños por las corrientes de agua, la apertura de brecha en los escombros de deslizamiento de tierra por las aguas de los lagos²⁹ y por las dificultades en el mantenimiento de los servicios mínimos, problema que aumenta con cada nuevo invierno³⁰ .

Las remociones pueden ocasionar la fuga de agua potable y residual, así como pueden contaminar y erosionar el subsuelo provocando tubificación, lo cual puede ocasionar la desnivelación y agrietamiento en obras de infraestructuras y si llegan a profundizarse, pueden mezclar agua servidas con fuentes de agua potable.

Cuando los llamados flujos son muy fluidos, pueden destruir los terrenos sobre los cuales pasa y si ocurren en zonas pobladas, interrumpen o destruyen muchos de los rasgos culturales a lo largo de los cursos que siguen y si fluyen en valles fluviales pueden formar embalses naturales y posteriormente formar lagos, mientras que en otras ocasiones se extienden sobre el fondo de algunos valles como masas lobuladas que permanecen por siglos.

²⁷ ZUMBERGE...

²⁸ MOLINA, E.; VILLAGRAN, M.; LIGORRIA, J.P. 1996.

²⁹ HARP, E.L.; WILSON, R.C.; WIECZOREK, G.F. 1981.

³⁰ GUATEMALA, MUNICIPALIDAD. 1995. Guatemala y el contexto nacional.