

ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS EN LA CIUDAD CAPITAL
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS EN LA CIUDAD CAPITAL
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Pedro Pablo Conlledo

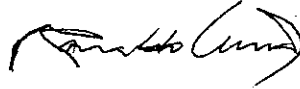
Trabajo de investigación presentado
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2006

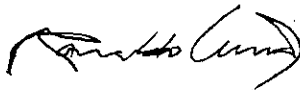
**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Vo.Bo. Asesor:



Dr. Ronaldo Luna

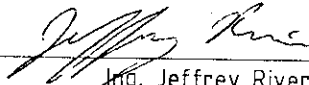
Tribunal:



Dr. Ronaldo Luna



Ing. Alejandro Maldonado Lutomirsky



Ing. Jeffrey Rivera

Fecha de aprobación:

22 de Febrero de 2006

*A mi padre, cuya trayectoria en la vida ha sido y seguirá siendo
una profunda inspiración para alcanzar mis metas;
a mi madre, cuya dedicación a su papel forjaron mi carácter
y me prepararon para enfrentar la vida.*

PREFACIO

En enero de 2005, el Dr. Ronaldo Luna (Fulbright Scholar, University of Missouri-Rolla) impartió el curso de *Geotechnical Structures* en la Universidad del Valle de Guatemala, en la cual participó el autor. Parte de la clase se enfocó en el estudio de deslizamientos; tipos, características, mecanismos, etc. Fue aquí donde nació el interés del autor por el tema.

A través del Dr. Luna, el autor participó como oyente en reuniones y actividades relacionadas con movimientos de laderas y el efecto de los mismos. Además, tuvo acceso a estudios recientes realizados por entidades internacionales y gubernamentales.

Para marzo de 2005, ya existía la idea de hacer un trabajo de investigación en el cual se utilizarían *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* como herramienta para estudiar sistemáticamente los deslizamientos de tierra ocurridos en Guatemala. Después de varias reuniones con el Dr. Luna, en las que se revisó la información disponible y el acceso a herramientas de SIG, se concretaron los detalles del proyecto. Se decidió limitar el área de estudio al Departamento de Guatemala, utilizando únicamente información existente de deslizamientos ocurridos. El objetivo de la investigación sería utilizar herramientas de SIG para estudiar la relación de los deslizamientos con características geomorfológicas. El proyecto dio inicio de inmediato y se extendió hasta enero de 2006. El resultado fue este manuscrito.

En la mayoría de proyectos de investigación participan más personas, además del propio autor, ya sea proporcionando información, haciendo revisiones y comentarios o de muchas otras formas. Esto es particularmente cierto para este proyecto, que hubiese sido imposible de completar sin la colaboración de algunas personas.

Deseo agradecer al Dr. Ronaldo Luna, no sólo por haberme introducido a las aplicaciones en ingeniería del SIG y por haberme ayudado a escoger un tema de investigación como trabajo de graduación, y haber aceptado asesorarme en la elaboración del mismo, sino por haber ampliado mi conocimiento e interés en la geotecnia.

Al Ing. Franklin Matzdorf, ex-director del Departamento de Ingeniería Civil en la Universidad del Valle de Guatemala, por poner a mi disposición los recursos de su Departamento, y por su amistad durante mi paso por la Universidad.

Al Sr. Jorge Roldán, GIS Manager del Centro de Estudios Ambientales de la UVG, por haber compartido la información SIG de su departamento, y por haberme ayudado en mi etapa de aprendizaje del software ArcGIS.

A las siguientes personas, por haber proporcionado información que fue utilizada, en forma directa o indirecta, en la elaboración de este trabajo:

Ing. Manuel Mofa (INSIVUMEH)

Jorge Aguilar (FUNDAECO)

Gustavo Chajón-Mirón (MERTU/G)

Arq. Rodolfo Azpurú (Municipalidad de Guatemala)

Gustavo Barrios (CONRED)

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	vi
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	x
LISTA DE GRÁFICAS	xi
LISTA DE MAPAS.....	xii
SINOPSIS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS	4
3.1. General.....	4
3.2. Específicos.....	4
4. MARCO DE REFERENCIA.....	5
4.1. Deslizamientos de tierra: nociones generales.....	5
4.2. Características del área de estudio.....	7
4.3. Factores condicionantes y desencadenantes.....	14
4.4. Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.....	18
4.5. Introducción a los <i>Sistemas de Información Geográfica</i> , SIG.....	20
5. MARCO METODOLÓGICO	24
5.1. Fases del proyecto.....	24
5.2. Productos finales.....	26

6. MARCO PRÁCTICO	27
6.1. Proceso de recopilación de datos.....	27
6.2. Elaboración de la base de datos de deslizamientos.....	33
6.3. Análisis SIG de deslizamientos: relación con otras variables.....	36
7. CONCLUSIONES	73
8. RECOMENDACIONES	75
9. BIBLIOGRAFÍA.....	77
10. APÉNDICES.....	81
10.1. APÉNDICE A: Información recopilada o disponible.....	81
10.2. APÉNDICE B: El caso de Fredy Jaes.....	85

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1: Placas tectónicas en Centroamérica (Jhonston & Thorkelson, 1996:467)	7
Figura 2: Histograma de Pareto para las pendientes	37
Cuadro 1: Datos climáticos para el Valle de Guatemala	12
Cuadro 2: Datos climáticos para el Valle de Amatitlán	12
Cuadro 3: Criterio de clasificación de deslizamientos	36
Cuadro 4: Series de suelos	51
Cuadro 5: Formaciones geológicas	55
Cuadro 6: Reclasificación de las capas de SERIES DE SUELOS	68
Cuadro 7: Reclasificación de las capas de GEOLOGÍA	69
Cuadro 8: Reclasificación de las capas de COBERTURA FORESTAL	69

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Histograma de pendientes locales (incluye todos los deslizamientos)	43
Gráfica 2: Histograma de pendientes locales (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)	44
Gráfica 3: Histograma de pendientes máximas en radio de 100m (incluye todos los deslizamientos)	47
Gráfica 4: Histograma de pendientes máximas en radio de 100m (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)	47
Gráfica 5: Histograma de pendientes máximas en radio de 200m (incluye todos los deslizamientos)	49
Gráfica 6: Histograma de pendientes máximas en radio de 200m (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)	49
Gráfica 7: Cantidad de deslizamientos según tipo de suelo	53
Gráfica 8: Densidad de deslizamientos según tipo de suelo	53
Gráfica 9: Cantidad de deslizamientos según geología del área	57
Gráfica 10: Densidad de deslizamientos según geología del área	57
Gráfica 11: Cantidad de deslizamientos según cobertura forestal	60
Gráfica 12: Densidad de deslizamientos según cobertura forestal	60
Gráfica 13: Cantidad de deslizamientos según proximidad a ríos	64
Gráfica 14: Distribución de deslizamientos por mes	65
Gráfica 15: Histograma del atributo de amenaza según modelo GIS preliminar	70
Gráfica 16: Histograma del atributo de amenaza según modelo GIS final	71

LISTA DE MAPAS

MAPA 1: Distribución geográfica de deslizamientos sobre mapa de relieve	38
MAPA 2: Distribución geográfica y pendiente del terreno	39
MAPA 3: Comparación de diferentes métodos del muestreo del mapa de pendientes	42
MAPA 4: Buffers de 100m y 200m alrededor de deslizamientos	46
MAPA 5: Análisis de deslizamientos según series de suelos	52
MAPA 6: Análisis de deslizamientos según geología de la región	56
MAPA 7: Análisis de deslizamientos según la cobertura forestal de la región	59
MAPA 8: Análisis de deslizamientos según proximidad a ríos	62
MAPA 9: Áreas de influencia de ríos	63
MAPA 10: Modelo de amenaza por deslizamientos	72

SINOPSIS

El principal objetivo de este trabajo fue utilizar *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* para estudiar sistemáticamente la ocurrencia de deslizamientos en el Departamento de Guatemala. Se utilizó para esto un registro histórico proporcionado por el INSIVUMEH, en el que se registraron eventos desde 1898 hasta 1991. Utilizando software de SIG, se generó un mapa digital de deslizamientos que posteriormente se utilizó para estudiar la relación de los deslizamientos con otras variables, como pendiente del terreno, cobertura vegetal, proximidad a ríos, época del año, etc.

Entre los principales resultados, se encontró que la amenaza de que ocurra un deslizamiento no está directamente correlacionada con la pendiente del terreno, sino que el tipo y origen del suelo juegan un papel de mayor peso. Esto es particularmente evidente en los suelos de origen piroclástico, en los que se pueden practicar cortes cuasi-verticales y permanecer así por muchos años.

Se encontró que existe una mayor concentración de deslizamientos al nor-este de la divisoria continental de aguas, que casi el 50% de los deslizamientos ocurrieron en los meses de septiembre y octubre y que la proximidad a ríos puede ser utilizado como un indicador de amenaza. Finalmente, se generó un *mapa de amenaza* utilizando los resultados del análisis SIG.

En Guatemala, los daños ocasionados por deslizamientos de tierra son innumerables, y sin embargo son pocos los esfuerzos que se han hecho a nivel nacional por estudiarlos. Estos resultados, al ayudar a comprender mejor la naturaleza de este fenómeno, pueden ser utilizados para mitigar el efecto negativo de los mismos.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra son responsables de cientos de muertes y pérdidas económicas en todo el mundo. Son muy pocos los países en los que estos eventos carecen de importancia, y, desafortunadamente, Guatemala no es uno de ellos. De hecho, el territorio guatemalteco reúne una serie de condiciones que la hacen particularmente vulnerable a la ocurrencia de deslizamientos de tierra. La topografía montañosa, depósitos geológicamente recientes, clima tropical y alta sismicidad se asocian para dar como resultado una región en dónde los deslizamientos de tierra ocurren por doquier.

Esta amenaza a los deslizamientos trae consigo una plétora de problemas, especialmente cuando interfieren con el desarrollo urbano. Generalmente, en países desarrollados, estos "problemas" surgen en la etapa de planificación y desarrollo, ya que los profesionales involucrados se ven obligados a estudiar la forma de mitigar los riesgos. Este no es el enfoque que generalmente se da en países en vías de desarrollo, en donde los "problemas" surgen muchas veces después de ocurrido el desastre.

Con respecto a la atención que se le da a la materia en cuestión, Samuel Bonis (1978:9) escribió: «En Guatemala [...] La tendencia actual es ignorar las advertencias geológicas y esperar lo mejor en el futuro». Tanto el terremoto de 1976 como el Huracán Mitch en 1998 desencadenaron deslizamientos de tierra en todo el territorio, incluyendo zonas habitadas en el casco urbano de la ciudad capital. A pesar de que en ambos desastres se contó con el apoyo de la comunidad internacional de varias formas, incluidos estudios realizados por científicos extranjeros, son pocos los esfuerzos que se han realizado a nivel nacional para mitigar los riesgos originados específicamente por deslizamientos de tierra. Además, como bien señaló Samuel Bonis (1978:9):

«Un pequeño grupo de geólogos locales carecen de experiencia y conocimientos y, los especialistas extranjeros no tienen generalmente la combinación requerida de interés, atrevimiento y financiamiento para abordar estos problemas.»

La necesidad de realizar estudios a nivel nacional es más que evidente. Este trabajo consiste en una investigación que tiene como objetivo identificar a través de un análisis SIG las zonas del departamento de Guatemala en las que la amenaza por deslizamientos es alta. A pesar de los riesgos geológicos a los que estamos expuestos, el desarrollo urbano no puede detenerse. La escasez de áreas óptimas obliga a buscar métodos ingenieriles para sacar provecho de áreas que en algún momento fueron tildadas de "inapropiadas". Se pretende con este trabajo ampliar la información al respecto, con la intención que los profesionales guatemaltecos puedan tomar mejores decisiones basados en información experimental, y que esto, de alguna manera, contribuya a la prevención de desastres.

2. JUSTIFICACIÓN

Las características geomorfológicas, climáticas y sísmicas del territorio guatemalteco lo hacen particularmente vulnerable a los deslizamientos. El efecto de estos en la población urbana y rural es totalmente negativo, ya que no solo ponen en peligro las vidas de estos sino que interfieren con el desarrollo del país.

Con este panorama, es evidente que cualquier estudio que ayude a una mejor comprensión del fenómeno es favorable. Se pretende que los resultados de este trabajo puedan eventualmente contribuir a tomar mejores decisiones y a motivar la realización de estudios más profundos en el área.

3. OBJETIVOS

3.1. General

- Utilizar *Sistemas de Información Geográfica* para estudiar sistemáticamente, a nivel macro, la ocurrencia de deslizamientos en el Departamento de Guatemala.

3.2. Específicos

- Identificar los factores más importantes que inciden en la amenaza por deslizamientos de un área.
- Recopilar y transformar datos electrónicos relacionados al tema de deslizamientos y digitalizar las bases de datos análogas cuando esto sea necesario.
- Proponer un modelo de amenaza a deslizamientos que sirva como base a investigaciones posteriores.
- Elaborar un documento de apoyo para entidades encargadas de la caracterización urbana en la capital (Municipalidad de Guatemala) y aquellas encargadas de regular el ejercicio profesional de ingenieros civiles, desde la investigación geotécnica hasta el diseño y construcción de la estructura en cuestión.
- Elaborar un estudio base que despierte el interés de estudios más a fondo en la misma región, o bien, estudios similares en otras regiones del país.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Deslizamientos de tierra: nociones generales

Los deslizamientos de tierra son sólo uno de los tipos de movimientos de masa. En general, estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

4.1.1. **Desprendimientos.** Se refiere sencillamente como aquellos movimientos de masa en los cuales ésta cae la mayor distancia estando en el aire. Incluye caída libre, saltos rebotes y rodamientos de fragmentos de roca y suelo.

4.1.2. **Vuelcos.** Son desprendimientos en los que las fuerzas que se ejercen sobre la masa, hacen que esta rote alrededor de un punto debajo de su centro de gravedad.

4.1.3. **Deslizamientos.** Es el movimiento de masa que involucra desplazamientos por corte a lo largo de una o varias superficies o dentro de una zona relativamente estrecha, y que, adicionalmente, se identifica visualmente con relativa facilidad. Se pueden dividir en dos grandes grupos:

4.1.3.1. Rotacionales. Ocurren a lo largo de superficies de ruptura que son curva cóncavas hacia arriba, dando una inclinación hacia atrás. El tipo más común son los asentamientos. Usualmente suceden cuando el pie del talud ha sido cortado, ya sea en forma natural (e.g. erosión) o por intervención humana.

4.1.3.2. Trasnacionales. Se dan, por lo general, a lo largo de superficies de ruptura que son planas o con una leve inclinación. En el caso de las superficies planas, generalmente siguen discontinuidades preexistentes, por ejemplo: planos de estratificación, fallas o juntas.

4.1.4. **Flujos.** Es un tipo de movimiento más rápido que generalmente ocurre en zonas localizadas en taludes naturales. En un flujo, la masa en movimiento tiene un compartimiento semejante al de un fluido viscoso.

No existe una superficie de falla, por lo que se considera que ésta se forma en un lapso muy breve al inicio del evento. Los flujos pueden ocurrir en cualquier formación geológica, ya sean arcillas o rocas.

Los flujos húmedos se caracterizan por su longitud, su pendiente de escurrimiento uniforme y por la ausencia de tensión de escarpes menores. Los secos, por otro lado, no presentan grietas sobre el escarpe principal y no tienen un pié definido.

4.1.5. **Deslizamientos complejos.** Es aquel que presenta una combinación de los tipos principales de movimientos. Ya que ningún movimiento de masa es puro, puede afirmarse que en realidad, todos los movimientos son complejos. Sin embargo, lo usual es clasificarlo según el tipo predominante, reservando el nombre de "complejas" únicamente para aquellas en las que el tipo de deslizamiento predominante no es evidente.

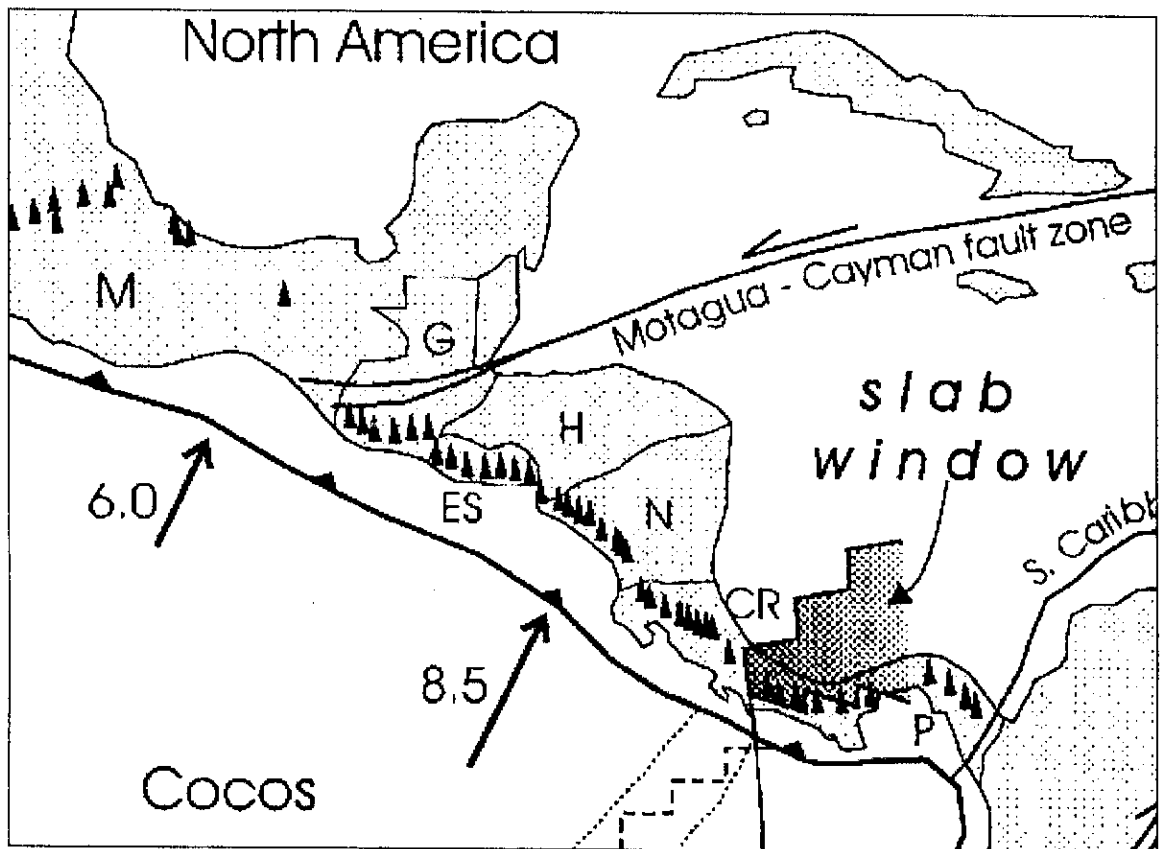
4.1.6. **Reptación.** Es un tipo de movimiento lento de material sin consolidar. Ocurre generalmente en climas templados y tropicales desplazando el material de la superficie lentamente. Por lo general, es difícil reconocer y comprender. Por tener un desplazamiento lento no es menos peligroso. De hecho, es posible que a este tipo de movimiento se le pueda atribuir un transporte de material mayor al de los movimientos rápidos y violentos.

4.2. Características del área de estudio

4.2.1. Características geológicas

4.2.1.1. Características geotectónicas. Guatemala se sitúa en una zona donde se encuentran tres placas tectónicas, cuya interacción se traduce en una amenaza sísmica constante. Específicamente, la zona de subducción de la placa de Cocos bajo las placas de Norteamérica y el Caribe define la zona de más alta sismicidad (Figura 1).

Figura 1: Placas tectónicas en Centroamérica (Jhonston & Thorkelson, 1996:467)



Muchas de las características tectónicas del país se expresan mediante fallas predominantes del sistema de fallas Polochic-Motagua (fallas transcurrentes) y fallas de desgarre que han formado una serie de grabens paralelos, como es el caso del Valle de Guatemala (Fundación para la Superación de la Ingeniería, 2002).

La estructura geológica que predomina en la región es el llamado Cinturón Volcánico. Esta formación se encuentra principalmente al sur de los ríos Cuilcú en el oeste, y Motagua en el centro y noreste del país. Este Cinturón Volcánico tiene una extensión de alrededor de 200 kms en dirección este-oeste, con una ancho que varía entre 40-80 kms.

Adyacentes al Cinturón Volcánico se encuentran cadenas de montañas, altiplanicies y valles intermontanos formados por una gruesa secuencia de rocas volcánicas de edad Terciaria Superior a MioPlioceno. Un ejemplo de estos valles intermontanos es el que forma la Ciudad de Guatemala, delimitado al norte por el sistema de fallas Motagua-San Agustín, que tiene una dirección este-oeste y una forma convexa. El sur del valle está muy cerca de la falla de Jalpatagua, con una dirección sur-este.

Comprendido entre el sistema de fallas Motagua y Jalpatagua, se forma una estructura tipo graben-horst-graben, que da como resultado dos grandes valles: el de la Ciudad de Guatemala y el de San José Pinula. Por otro lado, estas estructuras forman las fallas de Mixco y Santa Catarina Pinula, que bordean el graben del valle de Guatemala, y las fallas de San José Pinula y Teocinte/Patencia que limitan el valle de San José Pinula (Japanese International Cooperation Agency, 1986).

4.2.1.2. Características geomorfológicas. Desde el punto de vista geomorfológico general, en Guatemala pueden distinguirse tres grandes regiones:

- La provincia volcánica de edad terciaria más reciente, que comprende la parte sur del país.
- La planicie costera del Pacífico, formada por detritos provenientes de la erosión de las sierras volcánicas.

- La cordillera que forma el núcleo norte de Centro América, constituida principalmente por esquistos, granitos y serpentinas. Esta cordillera comprende:
 - Un cinturón plegado sedimentario hacia el Norte,
 - Las tierras bajas de Petén, que corresponden a una cuenca sedimentaria de edad cretácica, y
 - Las rocas sedimentarias de la cuenca de Petén y la zona plegada.

En cuanto al valle de Guatemala, éste se puede definir como una depresión de forma alargada en dirección norte-sur que forma parte del altiplano de Guatemala, y está formado por un terreno de relieve moderado.

Hidrológicamente está constituido por dos cuencas: la del Río la Vacas al norte, y la del Río Michatoya al sur. La frontera entre estas dos cuencas forma parte de la divisoria continental de aguas superficiales. En ambos lados de esta divisoria continental, los ríos han modelado cañones profundos en la planicie del valle, que está constituido principalmente por cenizas y tobas volcánicas. En estas rocas poco resistentes a la erosión mecánica fluvial, se han formado cañones con paredes casi verticales de hasta 140 metros de altura, que representan las densas redes dendríticas juveniles del río Las Vacas que drena al río Motagua en el norte y del río Villalobos al sur de la divisoria continental del aguas, el cual drena hacia el Lago Amatitlán.

La red de drenaje del valle guarda una estrecha relación con la orientación de las cadenas montañosas que circundan las cuencas, las líneas de deformación tectónicas y los contrastes litológicos del subsuelo.

El graben de la ciudad de Guatemala está principalmente relleno de flujos pomáceos piroclásticos de edad Cuaternaria, sin embargo existen dos levantamientos de horsts de

rocas Terciarias. El primero de estos se ubica donde está el Teatro Nacional, y el segundo se encuentra en el Cerro El Naranjo.

4.2.2. Características climáticas. Las características climáticas de Guatemala están definidas básicamente por su posición intertropical, con modificaciones considerables debidas a la presencia de dos litorales y al relieve del país (INSIVUMEH, 1994).

El régimen de precipitaciones depende fundamentalmente de los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical, a lo largo de la cual se encuentran las corrientes de vientos alisios de ambos hemisferios de convergencia intertropical: los que se desplazan hacia el norte durante el verano del hemisferio norte y en dirección sur durante el invierno, y a su paso por Guatemala (entre junio y septiembre) producen las mayores precipitaciones. En función de esto, se define una estación de lluvias comprendida en el periodo mayo-octubre, y una estación seca en el periodo noviembre-abril.

Durante la época lluviosa (mayo-octubre) ocurren dos picos de precipitación separados únicamente por un receso en agosto. Es decir que la mayor precipitación ocurre en junio-julio y septiembre-octubre. Las lluvias del primer pico son por lo general convectivas e intensas, aunque de corta duración y cubriendo áreas localizadas. El segundo pico es influenciado por los ciclones tropicales y las lluvias, aunque de menor intensidad que las primeras, mantienen su intensidad por períodos más largos y cubren grandes extensiones, desempeñando un papel de importancia en las mayores crecidas registradas a la fecha, tanto en las vertientes del Atlántico como en las del Pacífico.

Este esquema general se ve modificado en mayor o menor medida por los siguientes eventos:

- Lluvias que se originan usualmente por frentes fríos provenientes del norte
- Ondas de inestabilidad en la corriente de los alisios del noroeste
- Circulaciones atmosféricas locales
- Huracanes y Temporales del Caribe

La precipitación anual media varía entre aproximadamente 500 y 6000 mm, extendiéndose desde la Bahía de Amatique hasta el vértice Santiago en el Departamento de Huehuetenango. Otra banda de altas precipitaciones se extiende a lo largo del litoral del Pacífico, desde la frontera con México hasta la cuenca del Río Achiguate. Estas bandas de alta precipitación confinan zonas relativamente secas, dentro de las cuales figuran altiplano, el alto valle del río Chixoy, y las cuencas de los ríos Motagua, Ostúa, Paz y Esclavos en el centro sur del país.

Las zonas más secas del país (precipitación anual del orden de 500 mm) se encuentran en el valle del Motagua (Zacapa). Las zonas más húmedas incluyen la bocacosta al oeste del litoral Pacífico y el flanco noroeste de los Cuchumatanes (Huehuetenango).

Las temperaturas medias al nivel del mar son del orden de 27°C en el litoral del Pacífico y 28°C en la Bahía de Amatique, con máximos en los meses de abril y agosto, llegando hasta 30°C y 31,5°C respectivamente. En el interior del país las temperaturas varían principalmente en función de la altitud con respecto al nivel medio del mar.

El clima del Valle de Guatemala está fuertemente influenciado por su elevación sobre el nivel del mar (± 1500 m). De hecho, los ecosistemas de esta región tienen características más similares a los encontrados en regiones de latitudes medias

(alrededor de 40%) que a ecosistemas propios de regiones tropicales. Los siguientes promedios fueron obtenidos del INSIVUMEH, según datos recopilados desde 1928 hasta 1989.

Cuadro 1: Datos climáticos para el Valle de Guatemala

Elevación Promedio:	1504 msnm
Temperatura Promedio Diaria Máxima:	24.5 °C
Temperatura Promedio Diaria Mínima:	14.0 °C
Temperatura Máxima Absoluta:	33.4 °C
Temperatura Mínima Absoluta:	4.2 °C
Precipitación Anual Promedio:	1196.8 mm
Humedad Relativa Promedio:	78%
Velocidad del Viento:	17.7 Km/h
Evaporación:	120.2 mm

Fuente: Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología (marzo 2006)

Como es de esperarse, el valle de Amatitlán, por estar más cerca de la bocacosta que el valle de Guatemala, está a menor altitud, lo cual afecta el clima de la región. El

Cuadro 2 resume los resultados:

Cuadro 2: Datos climáticos para el Valle de Amatitlán

Elevación Promedio:	1189 msnm
Temperatura Promedio Diaria Máxima:	27.5 °C
Temperatura Promedio Diaria Mínima:	14.5 °C
Temperatura Máxima Absoluta:	31.8 °C
Temperatura Mínima Absoluta:	8.0 °C
Precipitación Anual Promedio:	924.0 mm
Humedad Relativa Promedio:	76%
Velocidad del Viento:	No disponible
Evaporación:	No disponible

Fuente: Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología (marzo 2006)

4.2.3. Características sísmicas. Como se mencionó anteriormente, las características geotectónicas del territorio guatemalteco lo hacen particularmente vulnerable a los sismos. Guatemala se ubica en el segmento centroamericano de la franja sísmica circumpacífica, en la cual se localiza alrededor de un 90% de la actividad sísmica del planeta.

Pueden identificarse dos zonas sísmicas diferentes (INSIVUMEH, 1991):

- La franja sísmica circumpacífica, que es paralela a la costa.
- Las zonas de falla con actividad sísmica de las sierras norte, que se extienden con rumbo este-oeste entre el Pacífico y el Atlántico.

La región donde se cruzan estas dos zonas está situada en el área fronteriza entre México y Guatemala, en el extremo oriental de la Sierra Madre.

En Guatemala han ocurrido, por lo menos, 60 terremotos destructores en las últimas cuatro décadas, i.e., sismos con una intensidad de seis o mayor en la escala de Mercalli. Desde luego, esta estadística considera únicamente regiones pobladas. Entre estos terremotos, hay cuatro eventos que destacan:

- 1773: Antigua Guatemala
- 1902: Quetzaltenango
- 1918: Ciudad de Guatemala
- 1976: Falla del Motagua

En 1926 se estableció un observatorio sismológico en la ciudad de Guatemala, que operó hasta 1969. Cada año se registraron alrededor de 300 sismos, cuya distribución es aproximadamente la siguiente:

- 80%: Microsismos, detectados solamente con instrumentos adecuados
- 12%: Sismos con intensidad de 1 a 2
- 7%: Sismos con intensidad de 2 a 4
- 1%: Sismos con intensidad de 4 o mayor.

Analizando la distribución temporal de estos eventos, pueden identificarse los siguientes períodos:

- 1914-1921: Actividad fuerte
- 1939-1946: Actividad mediana
- 1955-1959: Actividad baja

El terremoto de 1976 marcó el inicio de una nueva etapa de intensa actividad sísmica, que ha ido menguando paulatinamente. Siguiendo el patrón temporal sísmico que estos datos indican, y considerando que el período de recurrencia para un terremoto comparable al del 4 de febrero de 1976 se estima entre 50 y 70 años, no sería extraño que se apegue un fuerte terremoto en las décadas siguientes.

4.3. Factores condicionantes y desencadenantes

De acuerdo a Tan (1996:1121), los cuatro factores geológicos más relevantes en el estudio de deslizamientos de tierra, son:

- Litología y tipos de suelo

- Intemperismo
- Discontinuidades de roca
- Geomorfología (incluye morfología superficial y drenaje)

El estudio realizado por el *Instituto Técnico Geominero de España* (ITGE) en el año 2000, a solicitud de la *Agencia Española de Cooperación Internacional* (AECI), clasifica las variables que deben considerarse en la evaluación de la amenaza por deslizamientos en factores condicionantes y factores desencadenantes. Aunque en una forma diferente, no necesariamente explícita, los cuatro factores identificados por Tan están considerados en esta clasificación, de manera que se seguirá este mismo esquema en esta investigación. A continuación se describen brevemente cada uno de estos factores.

4.3.1. Factores condicionantes. Pueden identificarse los siguientes:

4.3.1.1. Litologías favorables. Es un factor de mucho peso en la ocurrencia y distribución de deslizamientos. En el valle de Guatemala, la disposición de los materiales geológicos está relacionada con la estructura geológica y la actividad volcánica.

Como se describió anteriormente (*4.2.1 Características geológicas*), la estructura general del valle de Guatemala ha favorecido la acumulación de depósitos piroclásticos durante el Pleistoceno, la mayor parte de los cuales se produjo por la explosión de las calderas de Amatitlán y Atitlán. También existen depósitos más recientes de origen fluvial que forman los fondos de valle aluvial.

De las doce unidades litológicas que pueden identificarse en el valle de Guatemala, las más favorables para la ocurrencia de deslizamientos son las siguientes:

- Depósitos de caídas de cenizas (tefras)

- Depósitos piroclásticos de flujo

Este hecho se verifica al analizar la distribución espacial de los deslizamientos que se activaron por el terremoto de 1976. Si bien sólo un 20% del área afectada por el terremoto estaba formada por estas unidades litológicas, el 90% de los deslizamientos ocurrieron en ellas.

4.3.1.2. Unidades geomorfológicas favorables al deslizamiento. Al analizar la distribución del historial de deslizamientos del INSIVUMEH, los investigadores del ITME notaron que la mayor parte de deslizamientos ocurrió en una unidad específica: cañones.

Estas unidades concentran una serie de variables que la hacen más vulnerable a deslizamientos que otras unidades, que en ocasiones tienen pendientes mayores.

Se ha encontrado que la incidencia de factores independientes como la pendiente o presencia de deslizamientos previos no contribuye a aumentar la inestabilidad de la ladera (Harp *et al*, 1978). La pendiente es un factor importante, pero su incidencia depende también de otros factores.

4.3.1.3. Red de fracturas y discontinuidades. Estas zonas se han prestado para la acumulación de depósitos de pumitas, que son muy susceptibles a fracturarse durante un sismo. Las pumitas son un ejemplo de rocas volcánicas altamente vesiculadas que se forman por el rápido enfriamiento de un magma ascendente de alta viscosidad. Por lo general, el material expulsado durante la erupción es muy rico en gas y se solidifican antes de tocar tierra. Esto le confiere la estructura porosa que las hace propensas a fracturarse. Por lo tanto, las regiones aledañas a estas zonas son susceptibles de sufrir un deslizamiento disparado, específicamente, por movimientos sísmicos.

4.3.2. Factores desencadenantes. Tanto los terremotos de cierto grado, como las lluvias o la intervención del hombre pueden disparar un deslizamiento en una región propensa. A continuación se describe en forma concisa cada factor.

4.3.2.1. Sismicidad. La aceleración horizontal producida por un sismo puede resultar en la rotura de las uniones cohesivas entre los granos del suelo. Si el suelo está saturado, el aumento en el esfuerzo lo absorbe el agua ya que los pulsos son tan rápidos que no hay suficiente tiempo para disipar la presión de poro, lo cual puede resultar, si el suelo es favorable, en procesos de licuefacción.

Harp (1978) estudió los deslizamientos ocurridos en el terremoto de 1976 y concluyó que el umbral de intensidades sísmicas para el desencadenamiento de deslizamientos es de VI en la escala modificada de Mercalli (MM), lo cual corresponde con una aceleración horizontal de entre 1.4 y 2 m/s² (aproximadamente 0.14g a 0.20g).

4.3.2.2. Variación del contenido de agua en poros. Como es de esperarse, la variación en la presión de poros de un suelo puede disparar un deslizamiento. Los factores más importantes que controlan esta variación son:

- Relaciones precipitación-infiltración-escorrentía
- Eventos climáticos extraordinarios
- Comportamiento hidráulico de los materiales (permeabilidad y transmisividad)
- Fluctuación del nivel freático (cuando aplique)

4.3.2.3. Actividad antrópica. Por supuesto, la intervención humana puede aumentar la probabilidad o incluso disparar un deslizamiento. En Guatemala, las principales causas antrópicas de deslizamientos son las siguientes (FUNSIN, 2002):

- Mala evacuación y concentración de aguas pluviales
- Filtraciones en redes de abastecimiento de agua
- Fosas sanitarias
- Ejecución inadecuada de rellenos
- Botaderos clandestinos de basura
- Remoción indiscriminada de cobertura vegetal
- Aumento del área urbana
- Uso no planificado del terreno
- Rellenos de barrancos no controlados y mal efectuados
- Plataformas en barrancos mal preparadas para soportar estructuras de vivienda

4.4. Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo

El impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes en forma diferente, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar. La UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) en conjunto con la UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años (UNDRO 1980) y que será la utilizada en este trabajo. Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión ("Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad") incluyó los siguientes:

AMENAZA O PELIGRO (HAZARD - H): Peligro latente asociado con un fenómeno físico, de origen natural o tecnológico, que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente.

VULNERABILIDAD (V): Grado de pérdida de un elemento, o grupo de elementos, por la probable ocurrencia de un evento desastroso.

RIESGO ESPECÍFICO (SPECIFIC RISK - RS): Grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad.

ELEMENTOS BAJO RIESGO (E): La población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

RIESGO TOTAL (TOTAL RISK - Rt): El número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de evento desastroso, es decir el producto del Riesgo Específico (Rs) y los Elementos Bajo Riesgo (E).

Por consiguiente, la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$R_t = E \times R_s = E \times H \times V$$

Un análisis de riesgo incluye necesariamente un estudio del impacto social de un evento. Este trabajo no considera tal situación y, por lo tanto, se limita a describir la amenaza por deslizamientos a que están sujetas las áreas investigadas.

4.5. Introducción a los *Sistemas de Información Geográfica, SIG*

4.5.1. **Conceptos básicos.** Un Sistema de Información Geográfica asistido por el computador para la entrada, manipulación, análisis y despliegue de datos espaciales. El objetivo de estos sistemas es el tener:

- Ubicación espacial del problema de estudio
- Un sistema normal de recolección de datos
- Información organizada
- Información actualizada
- Información instantánea
- Representación grafica del problema
- Permitir modelos complejos

Esto es, el SIG es un instrumento para crear y actualizar mapas, constituyéndose en una tecnología para combinar e interpretar mapas y en una revolución informática en cuanto a la estructura, contenido y uso del mapa.

En la actualidad se tiene dos tendencias en cuanto a los SIG, procesamiento de tipo descriptivo, esto es inventario de la información, y procesamiento de tipo prescriptivo, análisis y modelaje de la información, siendo este último el que generalmente interesa, por sus características de apoyo en cuanto a la toma de decisiones. En resumen, un Sistema de Información Geográfica es un conjunto de operadores que manipulan una base de datos espaciales. El SIG constituye un puente de soporte para la toma de decisiones entre el mundo real y el usuario.

Ampliando la definición anterior, se puede decir que un SIG es un conjunto de programas de computadora que integran diferentes funciones. Desde la captura de datos, en particular de mapas espaciales con información coherente, cargar y almacenar datos de mapas espaciales internamente referenciados geográficamente, para uso posterior de

los mismos, analizar y modelar (manipular, sobreponer, medir, calcular y recuperar) los datos espaciales hasta obtener resultados, despliegue de nuevos mapas o resultados en forma tabular.

4.5.2. Datos espaciales. El término dato espacial, se refiere al dato o información que se puede ubicar en el espacio, sea con referencia a un sistema de coordenadas o a un orden topológico. El conjunto de datos espaciales y no espaciales, constituyen la base de datos, que es el componente principal sobre el que se basan los análisis y resultados producidos con el Sistema de Información Geográfica.

Por lo general, se considera que la información geográfica tiene dos características:

- El fenómeno o la característica en sí, por ejemplo: la variable, su clasificación, valor, nombre, etc.;
- Su ubicación espacial, esto es, la posición que ocupa en el espacio geográfico.

Al concebir la estructura general de una base de datos para el procesamiento de la información geográfica, hay que tener presente que se manejarán datos tanto de localización como atributos.

Los diferentes programas ("software") y sistemas requieren que estos dos tipos de fenómenos se manejen en formas distintas. En algunos casos, los datos de localización se consideran como un atributo adicional relacionado con las características geográficas.

4.5.3. Categorías de datos espaciales. En un SIG se pretende agrupar la organización de datos espaciales. Específicamente se tienen sistemas de punto, de red o lineal y de áreas o polígonos. En general, se utilizan tres notaciones básicas para

representar la posición espacial de los fenómenos geográficos: puntos, líneas y polígonos.

Los puntos, las líneas y los polígonos suelen definirse en los mapas por medio de coordenadas cartesianas (x, y) (longitud / latitud, etc.), basadas en los principios de geometría euclidiana. Este sistema de coordenadas cartesianas es el que más se utiliza para medir la posición espacial y para analizar sus diversas propiedades, incluyendo la medición, etc.

Además de expresar los fenómenos geográficos utilizando coordenadas cartesianas, también es posible aplicar los principios de la teoría de gráficos que se refieren a las relaciones topológicas para expresar la posición relativa de diversos elementos del mapa.

Básicamente hay dos métodos para identificar esta información espacialmente. El primero es utilizando mediciones reales en la forma de coordenadas (x, y), llamado **formato vectorial**. El segundo comprende la definición de los fenómenos geográficos por medio de las relaciones entre puntos y líneas, las redes, la contigüidad de los polígonos y la proximidad de las celdas, llamado **formato raster**.

4.5.4. Comparación entre formatos vectoriales y raster

4.5.4.1. Formato vectorial

- *Ventajas:* buena representación por parte de la estructura de datos, estructura de datos compacta, la topología puede describirse completamente por medio de la unión de arcos o redes, certeza gráfica, es posible la recuperación, actualización y generación de gráficos y atributos.

- *Desventajas:* estructuras de datos complejas; la combinación de diferentes mapas de polígonos vectoriales y mapas tipo raster, causa dificultades; la simulación es difícil porque cada unidad tiene una diferente forma topológica; el despliegue y la graficación pueden ser caros, particularmente por la alta calidad, color y sombreado de los productos impresos; la tecnología es relativamente cara, particularmente porque requiere de programas y equipos sofisticados, aunque eso tiende a disminuir; el análisis espacial y el filtrado dentro de los polígonos son imposibles de realizar.

4.5.4.2. Formato raster

- *Ventajas:* estructuras de datos simples; la combinación y sobreposición de los datos de los mapas con datos provenientes de sensores es fácil; diferentes clases de análisis espacial son fáciles; la simulación es fácil porque cada unidad espacial tiene el mismo tamaño y forma.

- *Desventajas:* grandes volúmenes de datos gráficos; el uso de grandes celdas para reducir el volumen de los datos significa que el reconocimiento del fenómeno por parte de la estructura puede perderse y por consiguiente puede provocar una pérdida de información importante; se considera que los mapas tipo raster tienen menos presentación que uno con líneas finas; la unión vía arcos o redes es difícil de establecer; sin el uso de algoritmos o equipo especial, la transformación de proyecciones demora bastante.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Fases del proyecto

La elaboración de este trabajo se llevó a cabo en fases, las cuales se describen a continuación:

5.1.1. Fase de recopilación de datos. En esta fase se recopiló toda la información referente al tema, en cualquier formato que se encontrara. La información se clasificó, sintetizó y validó para poder ser usada posteriormente en la fase de análisis. Incluye la modificación, preparación y/o creación de las bases de datos y capas que se usaron en el análisis SIG.

La información recopilada puede diferenciarse en dos grandes grupos:

- Información escrita
 - Libros
 - Artículos
 - Publicaciones
 - Estudios previos

- Información digital
 - SIG (en un formato directamente utilizable por SIG)
 - Otra: mapas en autocad, fotografías, etc.

La mayor parte de esta información se obtuvo de diversas organizaciones. Los detalles del proceso de recopilación de datos se dan más adelante.

Cabe mencionar que no toda la información digital recopilada estaba georeferenciada con respecto al mismo sistema de coordenadas, por lo que en esta etapa también se redefinió el datum espacial de una buena parte de la información. Para los *sistemas de coordenadas geográficas*, el datum que se utilizó fue el World Geodetic System de 1984. Para ciertos análisis fue necesario proyectar las capas, en cuyo caso se utilizó el *sistema de coordenadas proyectadas* correspondientes a la Zona 15N del UTM (Universal Transverse Mercator).

5.1.2. **Fase de análisis.** Con base a la información recopilada, se definieron los criterios a utilizar en el análisis SIG. Esta es la fase teórico-experimental del proyecto, ya que se aplicaron las nociones adquiridas en la fase de recopilación para obtener resultados medibles y proponer un modelo funcional de los factores que intervienen en los movimientos de laderas. El modelo propuesto se probó con el historial de deslizamientos existente para verificar su validez.

Puede decirse que esta etapa sigue los lineamientos del método científico, ya que primero se estudió toda la información en ArcGIS tratando de identificar patrones, correlaciones, etc. entre las variables seleccionadas –pendiente, series de suelos, geología, etc. – (*observación*). Con base en lo observado, se propuso un modelo (*hipótesis*), que fue contrapuesto con la información existente en la base de datos de deslizamientos previamente creada (*experimentación*), para verificar la validez del mismo. Dependiendo de los resultados, se modificó el modelo (*reformulación de la hipótesis*) o se aceptó como válido.

5.1.3. **Fase de conclusiones.** Con los resultados del análisis, se dan las conclusiones del estudio y las recomendaciones para estudios futuros.

5.2. Productos finales

Este trabajo de investigación generó bastante información, especialmente vinculada a los análisis SIG. Los productos finales más relevantes son:

- Digitalización de la base de datos del INSIVUMEH, que incluye deslizamientos desde 1898 hasta 1991.
- Base de datos SIG en formato ArcGIS de información existente con sus atributos originales, más los generados en los análisis SIG (pendiente, distancia a río más cercano, formación geológica subyacente, etc.)
- Nueve mapas que muestran la relación de los deslizamientos con las variables estudiadas.
- Un mapa de amenaza de deslizamientos, generado de acuerdo al modelo propuesto.

6. MARCO PRÁCTICO

6.1. Proceso de recopilación de datos

Para realizar esta investigación, se requiere una vasta cantidad de información del área de estudio, tanto en forma escrita como en formato digital. En esta sección se describe el proceso de recopilación de datos en el período enero-julio 2005.

Gran parte de la información fue facilitada por el Dr. Ronaldo Luna (Fulbright Scholar, University of Missouri-Rolla), quien a su llegada a Guatemala en enero del 2005 estableció contacto con centros de investigación, a fin de conseguir información para su área de estudio: "Deslizamientos de tierra disparados por lluvias pesadas y sismos". Por otro lado, información adicional fue recopilada por el autor de esta tesis.

6.1.1. MERTU/G. El contacto con MERTU/G (Medical Entomology Research and Training Unit / Guatemala) se estableció a través del Sr. Gustavo Chajón-Girón, quien está a cargo del Sistema de Información Geográfica. Esta institución opera bajo un acuerdo tripartito entre la Universidad del Valle de Guatemala, el Ministerio de Salud y CDC (Center for Disease Control); dedican el grueso de su atención a la investigación, control y prevención de enfermedades infecciosas endémicas.

El Sr. Chajón-Girón accedió a darnos una copia de los mapas de carácter público que ellos tienen en formato SIG. La información que nos dieron en MERTU/G consiste en bases de datos y capas de SIG a escalas de 1:250,000 , 1:50,000 , y 1:15000, el contenido de los cuales se detalla en el Anexo. Las capas utilizadas en el análisis fueron las de series de suelos, geología y ríos perennes.

6.1.2. **INSIVUMEH.** Se estableció contacto con el Ing. Manuel Mota, quién entonces era geólogo del INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), a cargo de atender casos de deslizamientos activos en toda la capital y de preparar los reportes respectivos. A la fecha, no se conoce quién cubre este cargo profesional. Si bien el INSIVUMEH no utiliza SIG, posee un trabajo de investigación titulado «*Inventario de los principales deslizamientos ocurridos en la República de Guatemala*» en donde se recopilaron todos los deslizamientos de tierra ocurridos entre 1898 y 1991 que fueron publicados en alguno de los periódicos nacionales. Esta laboriosa tarea tomó lugar en la Hemeroteca Nacional, revisando página por página cada periódico en busca de eventos relacionados con deslizamientos de tierra. Para cada evento, registraron la fecha, ubicación aproximada, coordenadas del lugar (LAT/LON); para algunos eventos también se registró la causa del deslizamiento (cuando era evidente, e.g., una lluvia o sismo), precipitación de la estación meteorológica más cercana (cuando estaba disponible) y daños ocasionados.

Esta información fue complementada con una base de datos en Microsoft Access que, presumiblemente, incluía un registro de los eventos ocurridos entre 1991 y 1998 el cual había sido recopilado originalmente por FLACSO (*Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales*). También se obtuvo una hoja de entrada también en *Microsoft Access* que fue diseñada a fin de que los nuevos eventos fueran quedando registrados automáticamente. El INSIVUMEH no ha registrado los nuevos eventos usando este protocolo digital.

Una revisión más detallada de la base de datos en Microsoft Access mostró que no se registraron las coordenadas de los eventos ocurridos en el Departamento de Guatemala, lo cual, desde luego, impide que esta base de datos se pueda modificar para ser usada en una capa SIG. Para el análisis SIG fue necesario ingresar toda la información nuevamente en un formato adecuado, registrando para cada evento los atributos necesarios para el análisis.

El trabajo de deslizamientos históricos registró 202 eventos en el Departamento de Guatemala, en el período 1898-1991. La recopilación de FLACSO de los eventos ocurridos entre 1991-1998 aportó una cantidad adicional de eventos que, desafortunadamente, no están georeferenciados. Muchos de estos ocurrieron en barrios marginales y asentamientos, por lo que el Ing. Mota recomendó ubicar geográficamente el asentamiento para así situar el deslizamiento. Se hizo el intento de proceder de esta manera, consiguiendo una copia de una investigación realizada por ASIES (*Asociación de Investigación y Estudios Sociales*) sobre los asentamientos en el municipio de Guatemala, pero este no tiene referencias geográficas de los sitios de estudio. Más adelante, esta opción se descartó porque el esfuerzo que implica georeferenciar unos pocos eventos no justifica los medios. El resultado no habría sido muy confiable (por la incertidumbre del posicionamiento). Finalmente, se optó por usar el trabajo de deslizamientos históricos como fuente única, lo cual es aceptable considerando que tiene un número alto de eventos registrados y además y, como valor agregado, la garantía de la homogeneidad de los datos.

A través del Ing. Manuel Mota, también se obtuvieron copias de dos estudios muy importantes que fueron realizados por entidades internacionales como parte de la ayuda post-Mitch. El primero de ellos es un estudio que fue patrocinado por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), y fue realizado por el Instituto Técnico Geominero de España (ITGE) en 1999 (publicado en el 2000). Trabajando conjuntamente con el INSIVUMEH, hicieron un reconocimiento general de la geología de Guatemala, identificaron factores condicionantes y desencadenantes de deslizamientos de tierra e hicieron un análisis SIG que dio como resultado mapas de amenaza.

El segundo estudio fue realizado por JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) en el 2003. Consistió básicamente en la elaboración de una base de datos GIS de una gran parte del país a escalas de 1:10,000 y 1:50,000, así como mapas de amenaza sísmico, de deslizamiento, inundación, entre otros.

Debe resaltarse el valor de las investigaciones patrocinadas por AECI y JICA. Estas constituyen un aporte invaluable para Guatemala, ya que fueron realizadas por profesionales expertos en el área. No obstante, esto no debe mermar los esfuerzos para que entidades guatemaltecas lleven a cabo estos estudios con capital nacional, y de esta manera reducir la dependencia actual de ayuda extranjera en este tipo de situaciones.

6.13. MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA Y FUNDAECO. El día 31 de marzo se realizó una reunión en la Municipalidad de Guatemala, acompañando al Dr. Luna, quien fue contactado para dar sugerencias con respecto a los criterios de restricción del uso de la tierra por peligro de deslizamientos. El Arq. Oliver Obregón Hartleben (Director de Planificación) está a cargo del Plan de Ordenamiento Territorial, en donde se clasificará todo el municipio en 6 regiones (natural, rural, semi-urbano, urbano, central, núcleo). Los criterios que usarán para hacer dicha clasificación estarán basados, fundamentalmente, en principios de urbanismo, pero también se considerará la protección al medio ambiente y riesgos. La parte urbanista está a cargo de la municipalidad, y para los criterios de protección ambiental y riesgo tienen la asesoría de FUNDAECO (Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación).

FUNDAECO ha realizado un análisis SIG del área de estudio, y en base a eso han hecho sus sugerencias sobre restricción del uso de la tierra. Han estudiado mucho la parte ambiental, pero reconocen que la parte de prevención de desastres no es su fuerte. Para estudiar la amenaza por deslizamientos generaron un mapa de pendientes a partir de un modelo de elevación digital con una resolución de 20 metros (LANDSAT 2003). Propusieron clasificar el área de estudio según su pendiente en tres grupos:

- 0-15% (0-6.75º)
- 15-35% (6.75º-15.75º)

- > 35% (>15.75%)

Con esta información, generaron una matriz de amenaza, considerando únicamente las pendientes y la litología del lugar. A pesar que advierten haber hecho la selección de las pendientes de acuerdo a otros estudios, las pendientes son extremadamente conservadoras. Adicionalmente, no se consideraron las áreas sujetas a inundaciones. Los señores de FUNDAECO reconocen que no son expertos en esta área, por lo cual dejaron la puerta abierta a sugerencias.

Esta reunión fue muy importante, ya permitió al autor definir la situación actual del problema y notar que no sólo hay campo sino una necesidad urgente de hacer un análisis más profundo del problema, utilizando criterios ingenieriles y tomando en cuenta la realidad nacional. Se estableció contacto con la Municipalidad (Oliver Obregón, Director de Planificación y Arq. Rodolfo Azpurú, Plan de Desarrollo Metropolitano) y con FUNDAECO.

6.14. **MAGA.** El Dr. Luna proporcionó una copia del CD-ROM MAGA 2005, que es una publicación de esta entidad disponible al público. Contiene varias capas generales de SIG, las cuales se detallan en el anexo. La mayor parte de las capas que contiene están a una escala muy grande (resolución muy baja) y están disponibles para todo el territorio nacional.

6.15. **CONRED.** E Sr. Gustavo Barrios, Jefe del Departamento GIS, se mostró en la total disposición de compartir la información relacionada a deslizamientos que tenían. Por correo electrónico envió lo siguiente:

- Mapa digital con la ubicación de deslizamientos en todo el territorio Guatemalteco (fuente: MAGA 2005).

- Listado de los municipios amenazados por deslizamientos, clasificados según el peligro como "muy alto", "alto", "media" y "baja".

La fuente del mapa digital fue el MAGA, de manera que este mapa está repetido y los deslizamientos no tienen atributos.

6.1.6. CATASTRO. Se obtuvieron ortofotos de la ciudad capital, a escala 1:40,000, tomadas en enero del año 2000. Estas fotografías fueron usadas por el Catastro para trazar un mapa de las principales carreteras de la ciudad capital, del cual también se tiene una copia.

Estas fotos pueden ser usadas para ubicar geográficamente sitios de interés, o bien como mapas base para colocar sobre ellos otras capas de interés y tener una referencia familiar.

6.1.7. CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES (UVG). Este centro de investigación, que opera en las instalaciones de la Universidad del Valle, fue el receptor de la toda la información digital producida por JICA en el 2003. La información está contenida en un total de 105 CDs en los cuales se encuentra desde los mapas digitales que usaron (en formato ArcInfo), hasta los mapas finales. En el anexo se detalla la información contenida en estos discos.

El Centro de Estudios Ambientales está bajo la dirección del Dr. Edwin Castellanos, pero el contacto se ha manejado con el Sr. Jorge Roldán, quien está a cargo de la parte operativa del SIG. A pesar de que el compromiso con JICA era de distribuir la información con otras universidades, esto no se ha realizado hasta el momento.

Gran parte de la información fue almacenada en un formato distinto al que se maneja en el programa ArcGIS, ya que fue elaborada con "Microstation" (Bentley Systems). Desafortunadamente no fue posible extraer esta información, ya que la UVG no cuenta con el software adecuado.

6.1.8. FUNDAECO. El 22 de Julio del 2005 asistí, acompañado por el Dr. Luna, a una reunión con el Sr. Jorge Aguilar. El objeto de la misma era intercambiar información en un formato directamente utilizable para realizar análisis SIG. De esta fuente obtuve una ortofoto compuesta de parte del municipio de Guatemala, así como un modelo de elevación digital (DEM) de todo el territorio guatemalteco. El DEM fue generado por la NASA y es de libre distribución. Tiene una resolución de tres arcosegundos por píxel, lo cual equivale a aproximadamente a pixeles de 90m x 90m.

6.2. Elaboración de la base de datos de deslizamientos

Después de haber finalizado la recopilación de datos, como se describió anteriormente, se procedió a ordenar la información, a clasificarla y finalmente ponerla en un formato útil para los análisis que posteriormente serían realizados. La base de esta investigación son los deslizamientos, por lo que se inició revisando el Inventario de Deslizamientos que se obtuvo del INSIVUMEH. El procedimiento se resume en los siguientes pasos:

6.2.1. Tabulación de la información. Los 202 deslizamientos registrados en el departamento de Guatemala contaban con coordenadas geográficas, y algunos de ellos tenían el número de heridos, muertes, el disparador del deslizamientos (i.e. lluvia, sismo, excavación, etc.), la precipitación mensual y anual, y una breve descripción de lo ocurrido. Esta información se tabuló en Excel de Microsoft, ingresando en cada fila un evento y en las columnas los atributos o propiedades del mismo. Dentro de estos atributos se

incluyeron los siguientes:

- Número de identificación
- Fecha del evento
- Coordenadas geográficas (latitud y longitud)
- Población
- Disparador (no disponible para todos los eventos)
- Precipitación mensual (no disponible para todos los eventos)
- Precipitación anual (no disponible para todos los eventos)
- Número de muertes
- Número de heridos

6.2.2. Importación de la base de datos al SIG. Completada la tabulación de los resultados, se importaron los resultados al programa ArcGIS de ESRI. Para esto fue necesario grabarlos en formato *.dbf (database file type IV), ya que ArcGIS no reconoce los archivos *.xls de Excel. Posteriormente se creó un shapefile utilizando esta base de datos, con lo cual fue posible, finalmente, visualizar la distribución geográfica de los deslizamientos. El shapefile es un tipo de archivo que almacena información geográfica en forma vectorial. Cada shapefile almacena un tipo de geometría en particular, siendo las más comunes las de puntos, polilíneas y polígonos. Tiene la ventaja de almacenar atributos para cada entrada, sin embargo no puede guardar información topológica.

6.2.3. Verificación de la precisión de la distribución geográfica. Debe mencionarse que el registro histórico de deslizamientos fue realizado por otras personas, y que se desconocen los métodos que utilizados para obtener las coordenadas geográficas de cada deslizamiento. Por esta razón, se revisó la veracidad de estos previo a utilizarlos en la etapa de análisis. Esto se hizo estudiando la descripción del evento y colocando el shapefile de deslizamientos sobre un mapa de pendientes y una fotografía aérea de la ciudad. De esta revisión, se observó lo siguiente:

- Varios eventos compartían las mismas coordenadas geográficas. Habían coordenadas a las que, según el registro, les correspondían hasta 12 eventos. En ocasiones, las coordenadas correspondían a un punto en el que un deslizamiento es prácticamente imposible. Por ejemplo, hay 12 eventos registrados en el parque central de la zona 1.
- La descripción de muchos eventos no coincidía con su ubicación geográfica.
- El disparador del evento no era de interés para el análisis. Por ejemplo, algunos eventos habían sido provocados por malas prácticas constructivas (desagües rotos, excavación de zanjas sin protección, etc.). Otros, habían ocurrido en bancos de extracción de materiales.

6.2.4. Adición de dos atributos de clasificación: tipo y multiplicidad. Evidentemente, las observaciones anteriores reducen la confiabilidad de la precisión de la información. Sin embargo, es probable que no todos los registros tengan el mismo grado de certeza, y que si existen eventos para los cuales se registró la información en forma fidedigna. Por esta razón, se decidió agregar dos atributos a cada evento (tipo y multiplicidad) los cuales permitirían ser selectivos en los eventos que serían utilizados en los análisis posteriores. El Cuadro 3 muestra el criterio de clasificación utilizado.

La enumeración se seleccionó de esa forma por facilidad al utilizar el software (ArcGIS), ya que este utiliza un lenguaje de programación (SQL, Standard Query Language) en el que se facilita la selección de grupos por rangos numéricos. Por ejemplo, para discriminar los deslizamientos disparados por procesos antrópicos, basta con excluir del análisis a los deslizamientos cuyo tipo está en el rango de 30 a 42.

Cuadro 3: Criterio de clasificación de deslizamientos

DESCRIPCIÓN		CERTEZA DE UBICACIÓN		
		<i>Factible</i>	<i>Dudosa</i>	<i>Imposible</i>
Procesos naturales	En ladera, por corte, lluvia o sismo. VÁLIDO PARA ANÁLISIS	10	11	12
	Hundimientos o deslizamientos por fallas Geológicas, disparados por lluvias, sismos o sin motivo aparente. VÁLIDO PARA ANÁLISIS.	20	21	22
Procesos antrópicos	En proceso constructivo local (e.g. zanjas), o por malas prácticas constructivas (desagües rotos) aunque haya sido disparado por lluvia o sismo. NO VÁLIDO PARA ANÁLISIS.	30	31	32
	En proceso de extracción de material (bancos). NO VÁLIDO PARA ANÁLISIS.	40	41	42

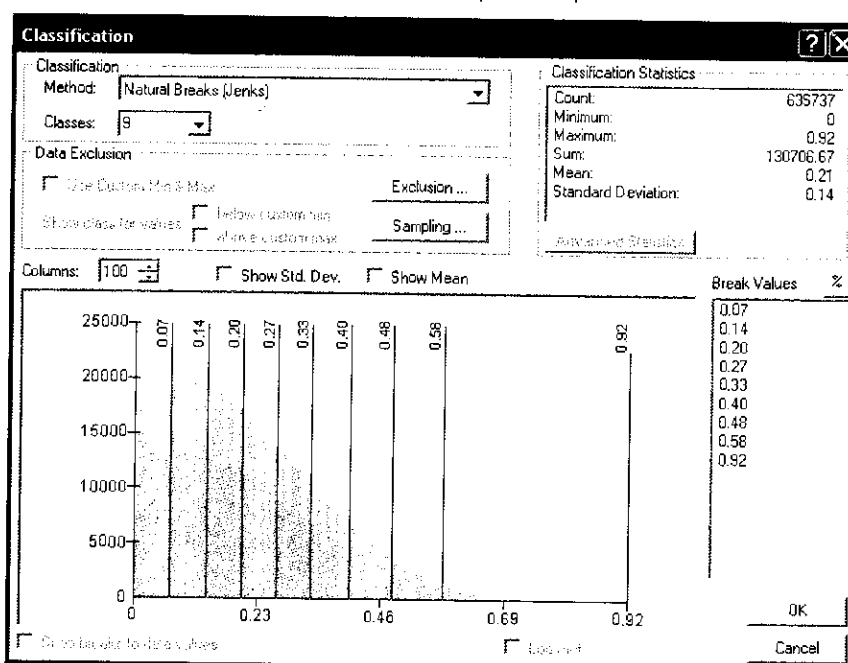
6.3. Análisis SIG de deslizamientos: relación con otras variables

6.3.1. Distribución geográfica. La representación gráfica del problema bajo estudio es una de las principales características de los *Sistemas de Información Geográfica*. De hecho, ésta es quizá la mejor forma de aproximarse a un problema de esta naturaleza.

Los Mapas 1 y 2 (páginas siguientes) muestran, a distintas escalas, la distribución geográfica de los deslizamientos en el municipio de Guatemala. Los deslizamientos aparecen codificados por color y símbolo según su tipo (ver Cuadro 3). Los círculos corresponden a deslizamientos disparados por sismo, lluvias o cortes; los diamantes corresponden a hundimientos o deslizamientos ocasionados por fallas Geológicas. En cada caso, mientras más intenso es el color, mayor es la certeza de la ubicación del mismo. El relieve del Mapa 2 (*slope grid*) aparece codificado por colores en nueve grupos que se

han definido según el método de las divisiones naturales de Jenks. Como su nombre lo indica, este método persigue encontrar la agrupación natural de un conjunto de números, buscando en forma estadística las parejas de datos más distantes entre sí. La Figura 2 muestra el histograma de Pareto para las pendientes, tal y como las despliega el programa ArcGIS. Nótese que las divisiones ocurren justamente cuando hay un cambio brusco en la altura de dos columnas consecutivas.

Figura 2: Histograma de Pareto para las pendientes



De ambos mapas pueden hacerse las siguientes observaciones:

- Existe una mayor concentración de deslizamientos al nor-este de la ciudad. La división pareciera coincidir con la divisoria continental de aguas.
- Una buena parte de los hundimientos y deslizamientos ocasionados por fallas Geológicas están distribuidos a cierta distancia de los bordes de los barrancos (menos de 500 m, aproximadamente).

6.3.2. Pendiente del terreno (relieve). Se mencionó anteriormente que uno de los factores condicionantes de los deslizamientos de tierra es la geomorfología. Partiendo de esto, es razonable pensar que existe una relación entre la pendiente del terreno y la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en un punto dado. Esta afirmación no excluye la participación de otros factores que también determinan parcialmente esta probabilidad.

Para estudiar la relación que existe entre la pendiente del terreno y los deslizamientos, se generó un mapa de pendientes (*slope grid*) a partir de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés *Digital Elevation Model*). La resolución del mapa de pendientes, desde luego, está ligada a la resolución del DEM. En este caso, se utilizó un DEM producido por la NASA cuya precisión es de 3 arcossegundos por píxel, que equivalen a aproximadamente 90 metros, es decir que cada píxel tendría una resolución de 90m x 90m.

Naturalmente, esta resolución no es la ideal para efectuar un análisis de este tipo, especialmente al considerar la topografía del valle de Guatemala, en la que ocurren cambios bruscos en distancias muy cortas. Los resultados de un análisis de este tipo deben tratarse con mucha resolución para evitar extraer conclusiones erróneas.

El mapa de pendientes que se generó ya se incluyó en el Mapa 2. Al sobreponer la retícula de ortofotografías con el mapa de pendientes, puede observarse que efectivamente el mapa detecta los principales barrancos, los cuales aparecen en rojo.

Un acercamiento revelará los defectos del mapa de pendientes. El Mapa 3 presenta una comparación de los diferentes métodos de muestreo del mapa de pendientes. "Muestreo" es el término que se utiliza para identificar el método con que SIG asigna un valor de pendiente a cada punto del mapa. El primer método consiste simplemente en respetar el valor de cada píxel en el mapa de pendientes, es decir, un *muestreo*

discreto. En el Mapa 3 puede observarse que este método produce un mapa de poca resolución, asignando un solo valor de pendiente a un área muy grande.

Los otros dos métodos (*interpolación lineal* y *convolución cúbica*) utilizan un algoritmo para convertir la distribución discreta en una continua. Este método es preferible en este caso ya que, después de todo, la variación de pendientes en la superficie del terreno es continua, no discreta. El método seleccionado para este análisis fue el de *convolución cúbica*, ya que produce la interpolación matemáticamente menos distorsionada.

A pesar de las limitaciones ya mencionadas, se intentó analizar la información con la finalidad de identificar una relación funcional entre la pendiente y la frecuencia de ocurrencia de deslizamientos. El uso de histogramas resulta muy práctico en este sentido. No obstante, para asociar en forma certera cada deslizamiento con la pendiente en ese punto, la ubicación y pendiente de cada deslizamiento debe ser exacta.

Ninguna de estas condiciones se cumple en este caso. Por esta razón se realizaron varios histogramas, cada uno con ciertas variaciones que intentan minimizar el efecto de la imprecisión de los datos utilizados. La agrupación, en todos los histogramas, se realizó de la misma manera que en los mapas: en nueve categorías, utilizando el método de las divisiones naturales de Jenks. A continuación se explica la forma en que se generó cada histograma y sus limitaciones.

6.3.2.1. Histogramas de pendientes locales. Estos histogramas se generaron con las pendientes que correspondían exactamente a la ubicación de cada deslizamiento. Naturalmente, se puede anticipar que los resultados de este análisis no serán precisos, ya que no se ha hecho ninguna corrección a los datos. El primer histograma incluye todos los deslizamientos registrados y es, por ende, el menos confiable. El segundo incluye únicamente los tipos 10, 11, 20 y 21, es decir, aquellos inducidos por sismo, lluvias o cortes para los cuales se tiene una ubicación relativamente certera. El efecto de discriminar los deslizamientos de cuyas ubicaciones se tiene duda debería aumentar la precisión de los resultados.

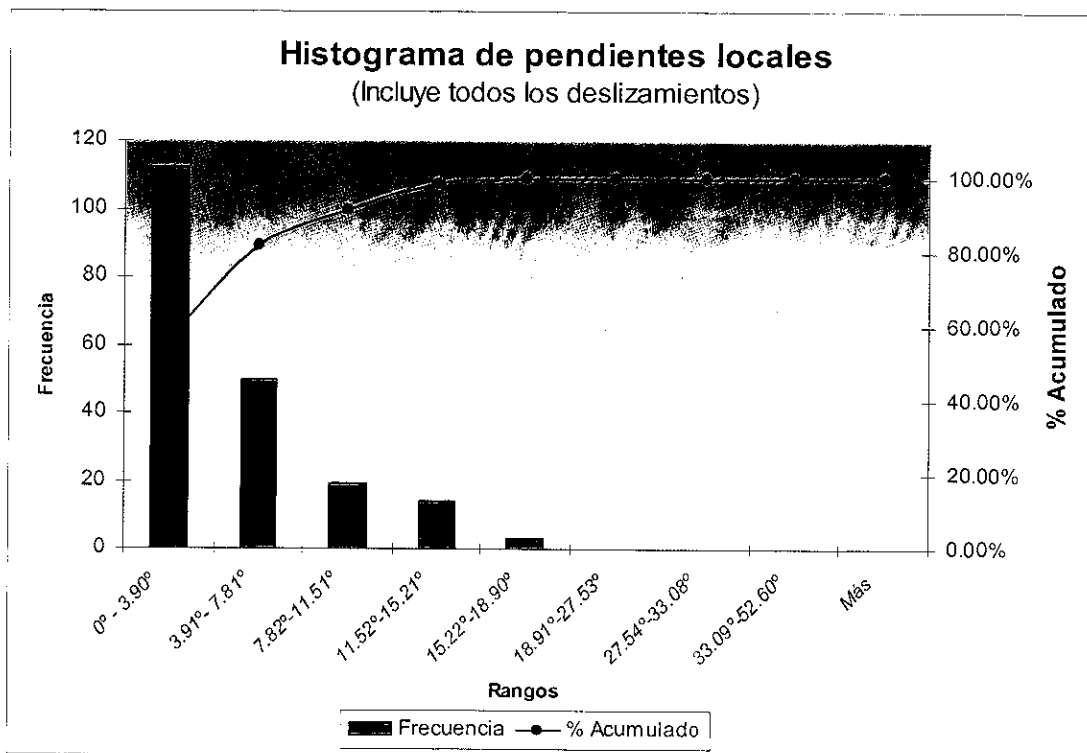
PROCEDIMIENTO (resumen):

- Usando la herramienta "Extract to Points" de ArcGIS, se añadió el valor de pendiente correspondiente a cada deslizamiento como un atributo del mismo.
- Se exportó la tabla de atributos a Excel.
- Se usó el paquete "Analysis Toolpack" de Excel para analizar la información y generar los histogramas.

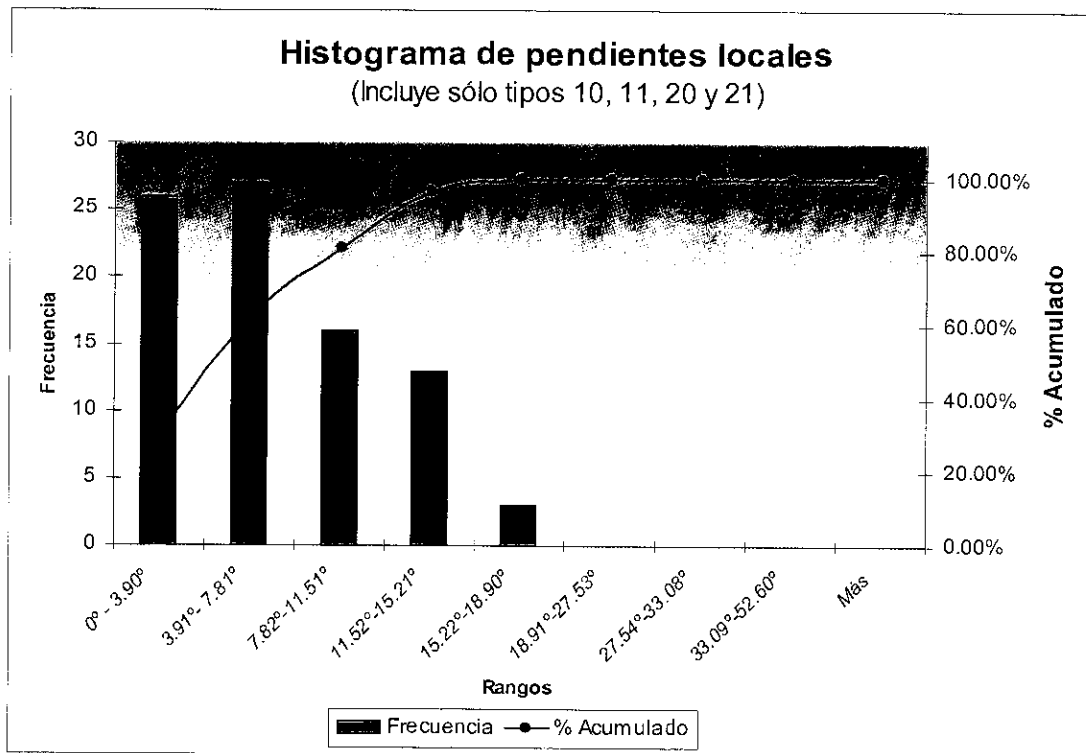
Puede observarse en la Gráfica 1 que, contrario a lo esperado, la frecuencia más alta ocurre en el rango más pequeño, y que estas van disminuyendo a medida que las pendientes aumentan. La Gráfica 2 tiene una distribución muy diferente, asemejándose más a una curva normal cuya cola inicial a sido truncada. El grupo más poblado ya no es el primero sino el segundo y, adicionalmente, el último grupo tiene más peso.

Esto lleva a pensar que, efectivamente, existe una buena porción de los deslizamientos registrados no están certeramente ubicados, y que no es posible utilizar un mapa de pendientes de tan poca precisión de esta manera.

Gráfica 1: Histograma de pendientes locales (incluye todos los deslizamientos)



Gráfica 2: Histograma de pendientes locales (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)



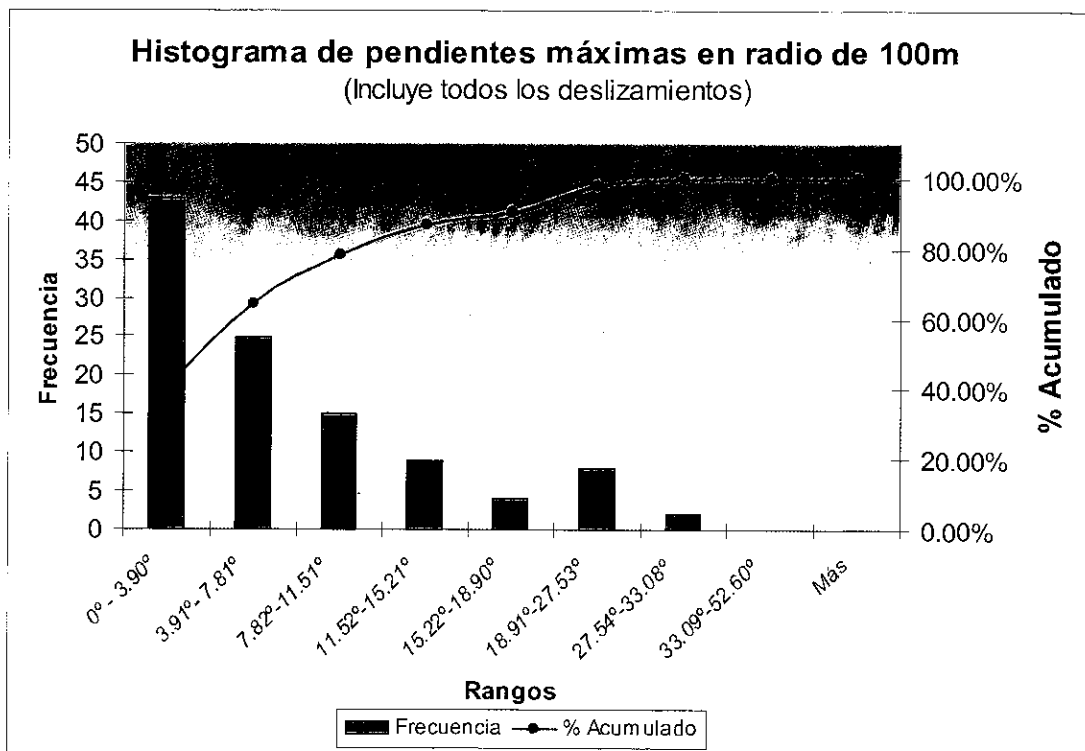
6.3.2.2. Histograma de pendientes máximas en un radio de 100m. Los resultados anteriores nos llevan a pensar en una forma de minimizar el efecto de la poca resolución del mapa de pendientes y de la imprecisión en la ubicación de los deslizamientos. Una forma es no usar el valor de la pendiente local, sino el de la pendiente máxima en un radio determinado. Este procedimiento, si bien no asigna las pendientes reales a cada deslizamiento, permite obtener una distribución más realista de las pendientes. Por otro lado, ya se vio que el problema de imprecisión en la ubicación de los deslizamientos puede minimizarse si se es selectivo en los tipos que se consideren en el análisis.

Con esto en mente, se generaron dos histogramas adicionales en donde la pendiente asignada a cada deslizamiento corresponde a la máxima pendiente encontrada en un radio de 100m. Al igual que en el caso anterior el primer histograma considera todos los deslizamientos mientras que el segundo es selectivo.

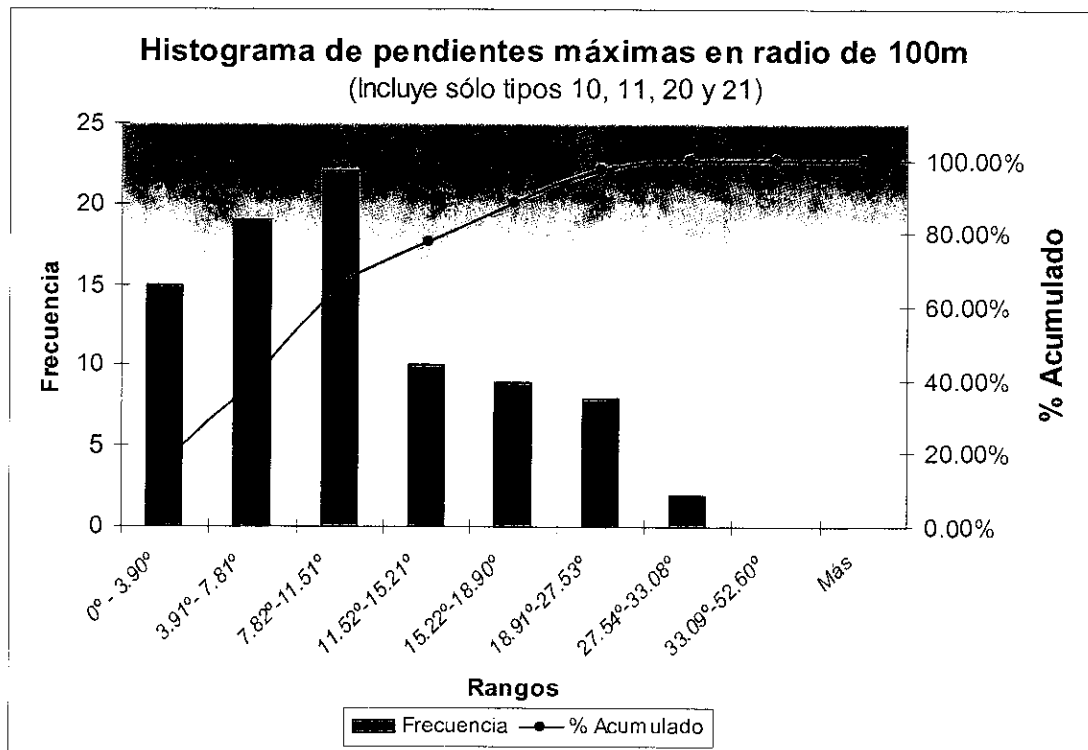
PROCEDIMIENTO (resumen):

- Se generó un "buffer" de 100m alrededor de los deslizamientos considerados y se grabó el resultado como un *shapefile* de polígonos (ver Mapa 4)
- Se usó la herramienta "Zonal Statistics" del paquete "Spatial Analyst" de ArcGIS para evaluar las pendientes máximas en las zonas delimitadas por el "buffer". El resultado se agregó como atributo al *shapefile* de polígonos y se grabó en un archivo *.dbf.
- Se importó el archivo *.dbf con los resultados estadísticos a Excel
- Se usó el paquete "Analysis Toolpack" de Excel para analizar la información y generar los histogramas.

Gráfica 3: Histograma de pendientes máximas en radio de 100m (incluye todos los deslizamientos)



Gráfica 4: Histograma de pendientes máximas en radio de 100m (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)



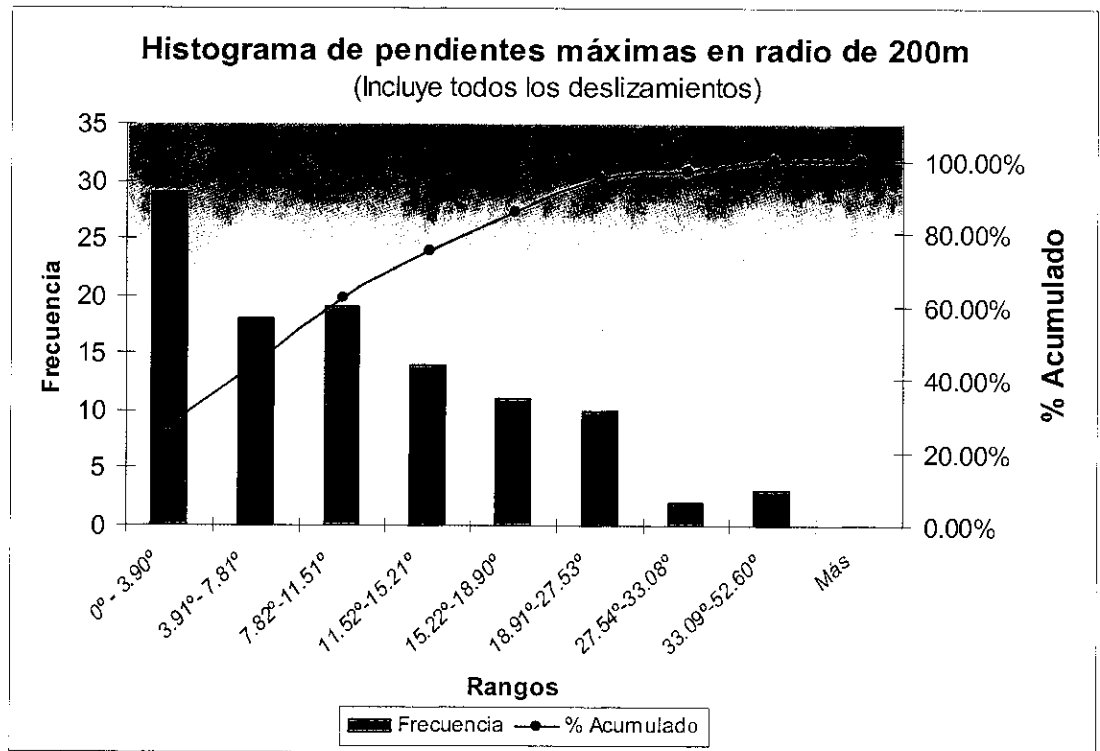
Los resultados de la Gráfica 3 son muy similares a los de la Gráfica 3, de manera que un buffer de 100m en este caso parece no haber ayudado a mejorar los resultados. En la Gráfica 4, por el contrario, se observa una redistribución en la frecuencia de los eventos, la cual sigue la misma tendencia de la redistribución observada en la Gráfica 2, pero en este caso, más pronunciada. Pareciera ser que, para los deslizamientos considerados en este último histograma, el buffer de 100m favoreció una distribución más cargada hacia las pendientes mayores.

Debe aclararse que en este análisis en particular sólo interesa la forma relativa de la distribución, y no los valores específicos, ya que el procedimiento de asignar la pendiente máxima en un radio determinado no asigna las pendientes reales. Interesa, por lo tanto, los valores relativos, no absolutos, de las pendientes. En pocas palabras, sólo debe prestarse atención a la forma del histograma.

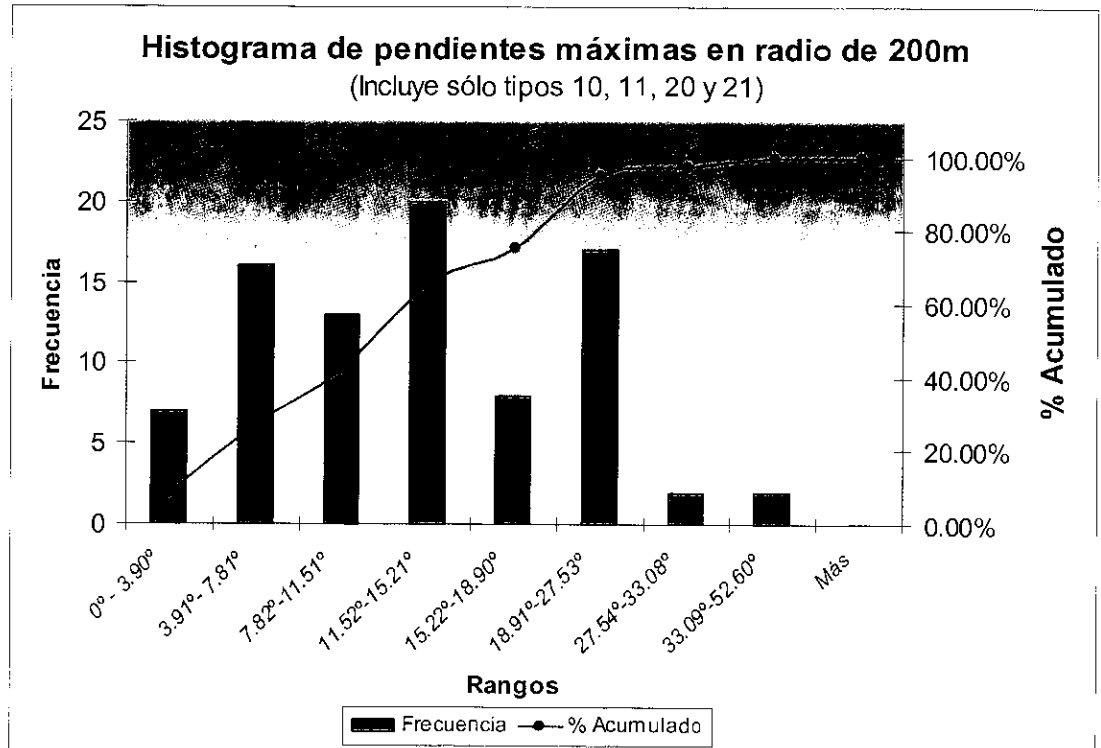
6.3.2.3. Histograma de pendientes máximas en un radio de 200m. El procedimiento y las características de estos histogramas son similares a los generados en el inciso B, siendo la única diferencia que en este caso el buffer se generó con un radio de 200m. Es decir, la muestra de pendientes es cuatro veces mayor que en el primer caso.

Ahora la Gráfica 5 presenta una diferencia más marcada con las Gráfica 1 y Gráfica 3. Puede observarse que si se reduce el tamaño de la primera columna, tendría la forma de una curva normal con una cola superior liviana. La reducción en el tamaño de la primera columna puede justificarse al recordar que en este análisis se han incluido todos los deslizamientos, por lo que un buffer de 200m no es suficiente para corregir los problemas de ubicación de los deslizamientos tipo 12 y 22 (ubicación improbable). Podría esperarse que al ser selectivo la distribución sería más realista.

Gráfica 5: Histograma de pendientes máximas en radio de 200m (incluye todos los deslizamientos)



Gráfica 6: Histograma de pendientes máximas en radio de 200m (incluye sólo tipos 10, 11, 20 y 21)



La Gráfica 6 confirma que el tamaño de la primera columna de la Gráfica 5 se debe a los deslizamientos de cuya ubicación se desconfía. La distribución en este último caso está mucho más cargada hacia las pendientes mayores, que es coherente con lo que establece la literatura respecto al efecto de las pendientes sobre la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

Los resultados anteriores sugieren que para poder estudiar la relación de los deslizamientos con la pendiente del terreno, utilizando Sistemas de Información Geográfica, se debe contar con información base de alta resolución. Es difícil y riesgoso extraer conclusiones de un análisis como el anterior. Un levantamiento *in situ* de las pendientes reales en los puntos donde ocurrieron los deslizamientos sería una manera más confiable de asignar este atributo a cada deslizamiento.

La NASA posee modelos de elevación digital de mayor precisión (1 arcosegundo), con los cuales podrían generarse mapas de pendientes más precisos. Estos DEMs están disponibles a organizaciones que justifiquen su uso, por un precio razonable.

6.3.3. **Series de suelos.** Este análisis se basa en la clasificación de suelos por series, que es parte de la información obtenida de MERTU/G (*Medical Entomology Research and Training Unit / Guatemala*). El Mapa 5 muestra los deslizamientos sobre la capa de series de suelos; como fondo se ha colocado un relieve formado por un mapa de sombras (*hillshade*), para darle un sentido de profundidad, y el mapa de pendientes (*slope grid*) para darle la codificación por colores.

La distribución de los deslizamientos según la serie de suelo en que ocurrieron se estudió de dos formas. La primera se hizo según al número de eventos que tomaron lugar en las 11 series de suelos identificados en la capital (

Cuadro 4). El histograma resultante (

Gráfica 7), muestra qué serie albergó el mayor número de eventos. Sin embargo, no

puede utilizarse para determinar qué serie es la más susceptible a deslizamientos, ya que para esto debe considerarse el área que cubre cada serie de suelos en el Departamento de Guatemala.

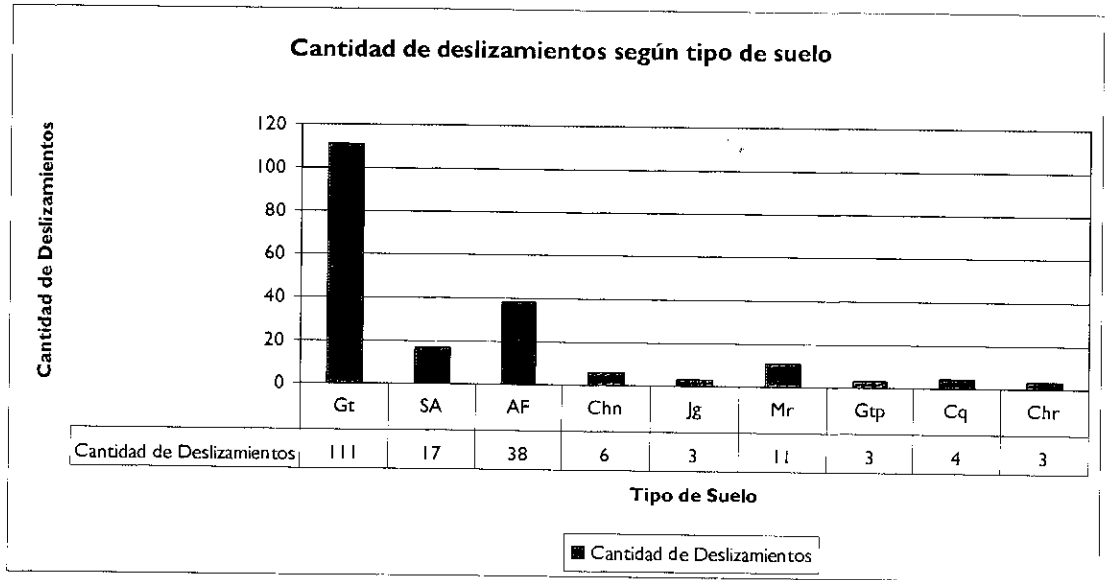
La forma estadísticamente correcta de proceder es normalizando el número de eventos de acuerdo al factor desequilibrante, que en este caso es el área que cubre cada serie de suelos. Una forma de hacer esto es dividiendo el número de eventos por el valor del área, con lo cual se obtiene una medida de densidad, i.e., deslizamientos por unidad de área en cada serie. Este fue el procedimiento que se siguió para generar la Gráfica 8, en la que se muestra la distribución en base a las densidades.

Debe notarse, sin embargo, que los valores de densidad son útiles únicamente para hacer una comparación relativa. Los valores absolutos carecen de sentido, ya que no se ha hecho consideración del espacio de tiempo en que han ocurrido. Una forma de eliminar este problema es, nuevamente, normalizando los valores en base al factor desequilibrante, que en este caso es el tiempo. Para este análisis no hay necesidad de recurrir a la normalización con respecto al tiempo.

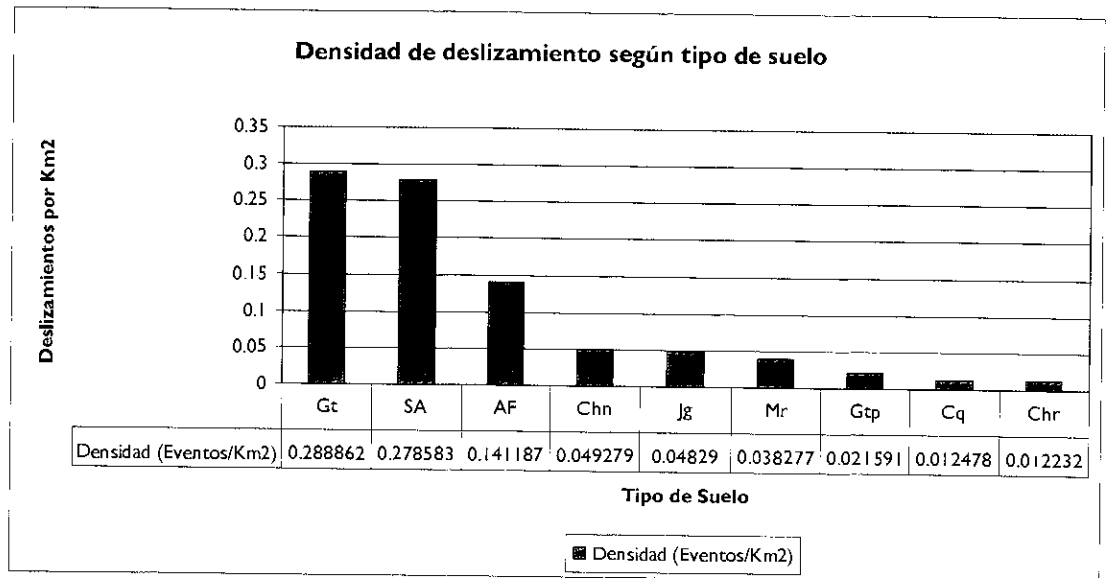
Cuadro 4: Series de suelos

SIMBOLO	SERIE	MATERIAL ORIGINARIO
Gt	Guatemala	Ceniza volcánica
SA	Suelos aluviales	N/D
AF	Areas fragosas	N/D
Chn	Chinautla	Granito, Gneis
Jg	Jigua	Roca andesítica
Mr	Morán	Ceniza volcánica pomácea
Gtp	Guatemala (fase pendiente)	Ceniza volcánica
Cq	Cauqué	Ceniza volcánica pomácea
Chr	Chuarrancho	Esquisto arcilloso

Gráfica 7: Cantidad de deslizamientos según tipo de suelo



Gráfica 8: Densidad de deslizamientos según tipo de suelo



En la Gráfica 8 puede concluirse que las series de suelos más propensas a deslizamientos son Gt, SA y AF. El efecto de la normalización es evidente en el caso de la serie SA ya que en la

Gráfica 7 pareciera que no se compara con la serie Gt, pero al normalizar los valores resulta que ambas series tienen una densidad casi idéntica y son las mayores del grupo, seguidas por AF.

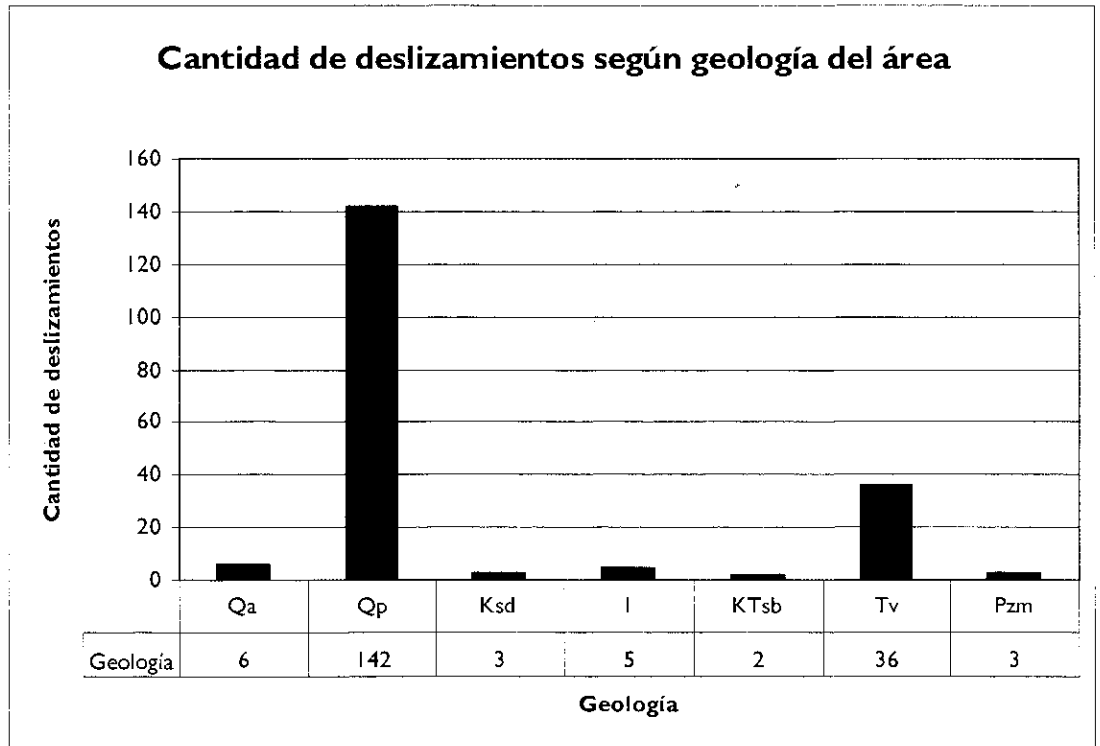
6.3.4. Geología. El Mapa 6 es similar al Mapa 5, pero en este caso se ha usado la capa de geologías predominantes en el departamento de Guatemala (Cuadro 5). El análisis que se hizo fue muy similar al de series de suelo. La Gráfica 9 muestra el total de deslizamientos ocurridos en cada tipo de geología; la Gráfica 10 muestra los deslizamientos normalizados con respecto al área de cada región geológica, es decir, la densidad de deslizamientos.

La situación en este caso es similar a la ocurrida con las series de suelos. El Mapa 6 y la Gráfica 9 dejan claro que alrededor de 70% de los deslizamientos ocurrieron sobre una geología de tipo Qp, que consiste en depósitos de pómez de origen diverso. Las demás formaciones geológicas parecieran no ser muy propensas a deslizamientos. Sin embargo, la Gráfica 10 hace notar que hay otras dos formaciones geológicas a las que también se les debe prestar atención (Qa y Ksd) ya que en ellas la densidad de deslizamientos es alta (a pesar de que el número total de deslizamientos en ellas ocurrido es bajo).

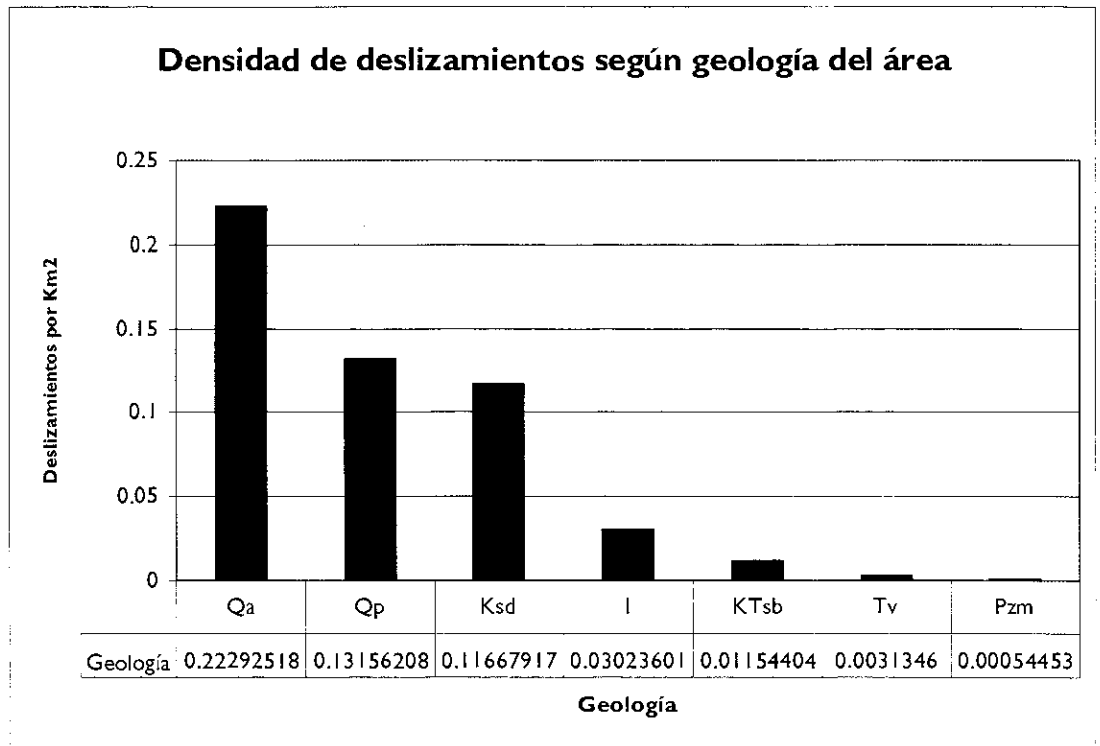
Cuadro 5: Formaciones geológicas

SÍMBOLO	TIPO DE ROCA	PERÍODO	CARACTERIZACIÓN
Qa	Rocas sedimentarias	<i>Aluviones Cuaternarios</i>	N/D
Qp	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Cuaternario</i>	Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso.
Qv	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Cuaternario</i>	Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
Ksd	Rocas sedimentarias	<i>Cretácico</i>	Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa.
I	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Terciario</i>	Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario.
KTsb	Rocas sedimentarias	<i>Cretácico- Eoceno</i>	Formación Subinal (capas rojas, predominantemente Terciarias).
Tv	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Terciario</i>	Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos.
Pzm	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Paleozoico</i>	Rocas metamórficas sin dividir. Filitas, esquistos cloríticos y granatíferos, esquistos y gneisses de cuarzo-mica-feldespato, marmol, y migmatitas.
Pi	Rocas ígneas y metamórficas	<i>Terciario</i>	Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos

Gráfica 9: Cantidad de deslizamientos según geología del área



Gráfica 10: Densidad de deslizamientos según geología del área

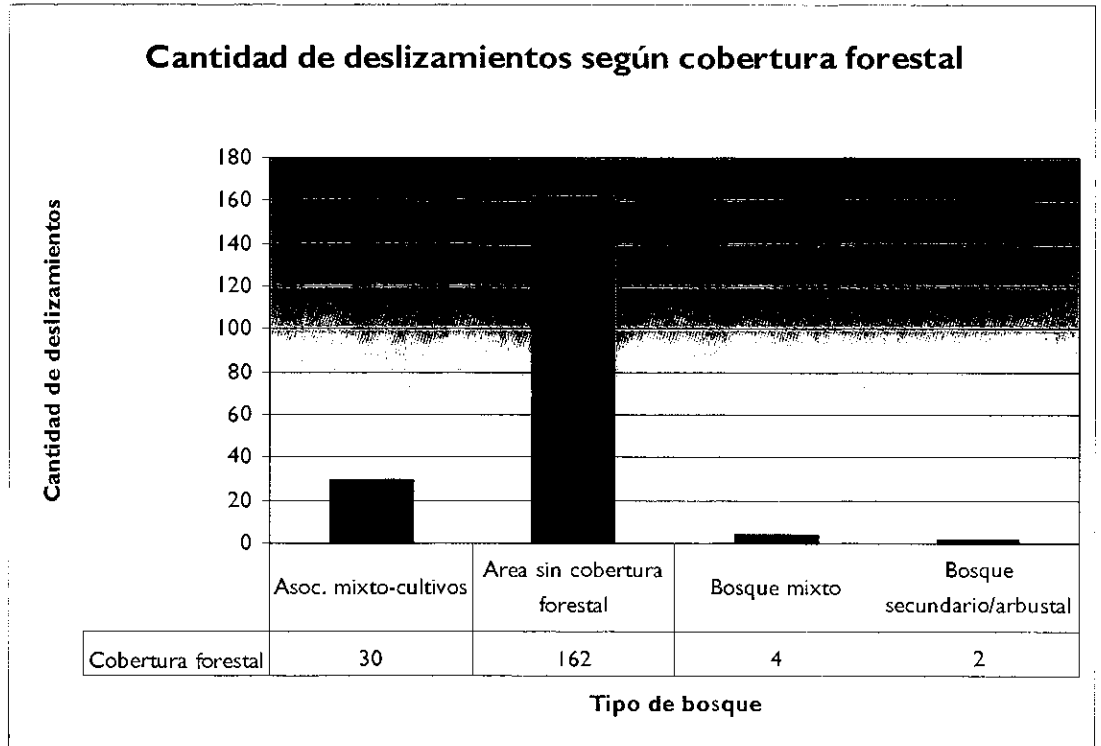


6.3.5. Cobertura forestal. Mapa 7 muestra los tipos de bosques sobre el área de estudio. Al repetir el análisis anterior con la capa de cobertura forestal, se obtienen las Gráfica 11 y Gráfica 12. El caso es similar a los anteriores: existe un área predominante en la que ocurre la gran mayoría de los deslizamientos que en este caso son las áreas sin cobertura forestal alguna. Esta región albergó más del 80% de los deslizamientos registrados. Esto es consistente con lo que se conoce del efecto de remover la vegetación de un área: aumenta la erosión, el contenido de humedad, y también otros factores que finalmente resultan en un aumento en el peligro de deslizamientos.

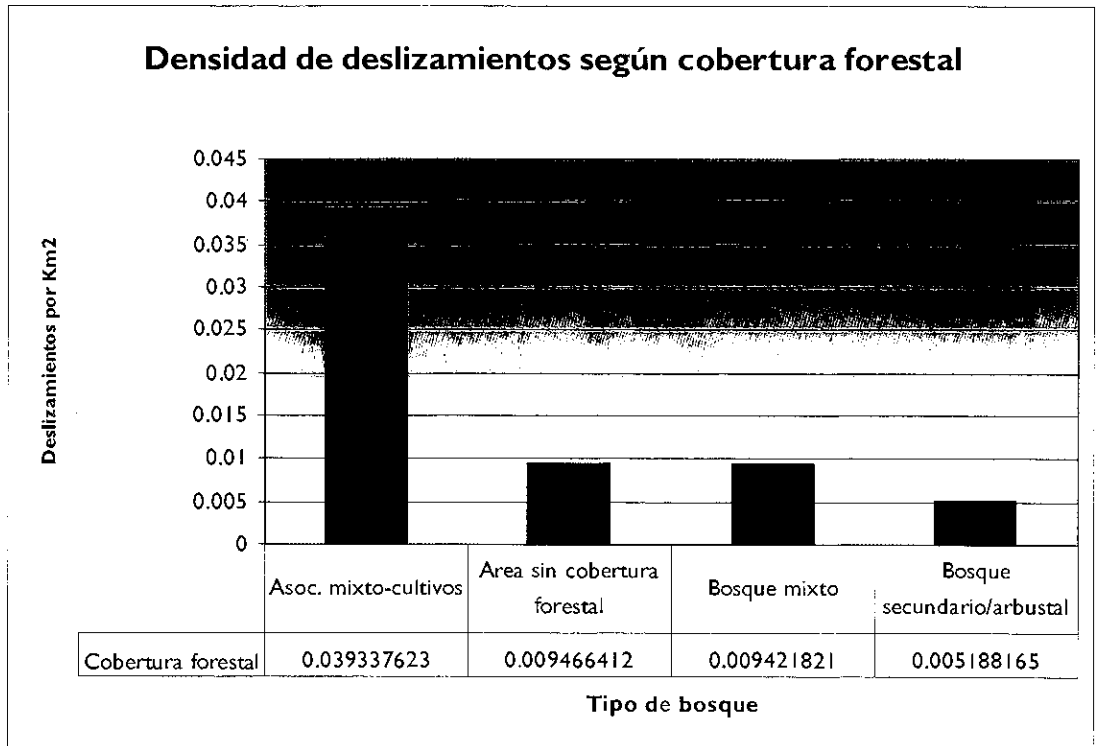
La segunda gráfica muestra que los bosques mixtos que han desaparecido para dar cabida a cultivos son regiones en la que la densidad de deslizamientos es alta, en comparación con las otras regiones. Es interesante notar que el 97% de los deslizamientos ocurrieron en esta área y las regiones sin cobertura forestal.

Con respecto a la densidad de deslizamientos en área sin cobertura forestal, es normal que sea baja, aún cuando este tipo de terreno reúne condiciones que lo hacen particularmente vulnerable a los deslizamientos, si se considera lo siguiente: el bosque en estas áreas ha sido talado para dar lugar a la ciudad, y por supuesto, siempre que ha sido posible se han escogido las regiones más planas. Esto implica que la mayor parte de regiones sin cobertura forestal no tienen pendientes que favorezcan la ocurrencia de deslizamientos.

Gráfica 11: Cantidad de deslizamientos según cobertura forestal



Gráfica 12: Densidad de deslizamientos según cobertura forestal

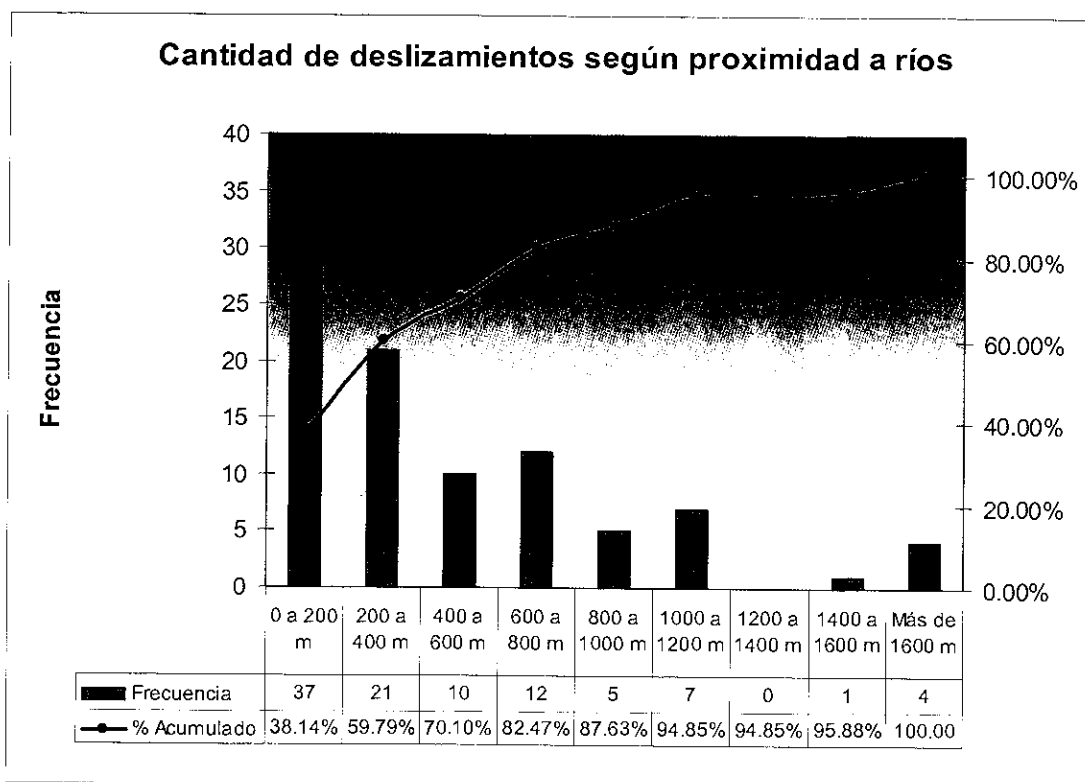


6.3.6. **Proximidad a ríos perennes.** En el Mapa 8 se muestran los deslizamientos simbolizados según su tipo, sobre una capa que contiene los ríos perennes. Puede observarse una porción grande de los deslizamientos marcados con círculos (disparados por lluvias o sismos y cuya ubicación se conoce con cierta precisión) ocurren en los márgenes de los ríos. Hasta cierto punto, este resultado es predecible, ya que la mayor parte de ríos se forman entre valles o al fondo de barrancos, de manera que este resultado podría estar más relacionado con las pendientes pronunciadas en los bordos de los ríos que con la presencia misma de los ríos. No obstante, es válido usar la proximidad a los ríos como un factor adicional a considerar cuando se determine la amenaza por deslizamientos de un punto en específico, aún cuando no sea la presencia misma de los ríos lo que causa dicha amenaza.

Para verificar la observación anterior se generó un mapa de influencias por proximidad al río (Mapa 9). Aquí puede apreciarse con mayor claridad que la mayor parte de deslizamientos ocurren dentro de cierta distancia de los ríos; son pocos los deslizamientos que caen en las áreas moradas (lejos de ríos), y en la mayoría de casos puede encontrarse una explicación para esto. Por ejemplo, hay dos deslizamientos que ocurren en una región morada aproximadamente a 20 y 25 Km, respectivamente, al este franco del pico del Volcán de Agua. En otro mapa puede comprobarse que estos deslizamientos ocurrieron al borde del lago Amatitlán, que también es un cuerpo de agua.

Se realizó un análisis más detallado de la distribución de los deslizamientos en base a la distancia al río más cercano. Con este propósito, a la base de datos de deslizamientos se le agregó como atributo la distancia al río perenne más cercano, utilizando una de las herramientas Spatial Analyst de ArcGIS. Posteriormente se exportó la tabla de atributos a Excel, en donde se utilizó el Analysis Toolpak para generar histogramas con base a la distancia. Dado que este análisis depende exclusivamente de la distancia, se discriminaron los deslizamientos de cuya ubicación se tiene duda. La Gráfica 13 muestra el histograma resultante.

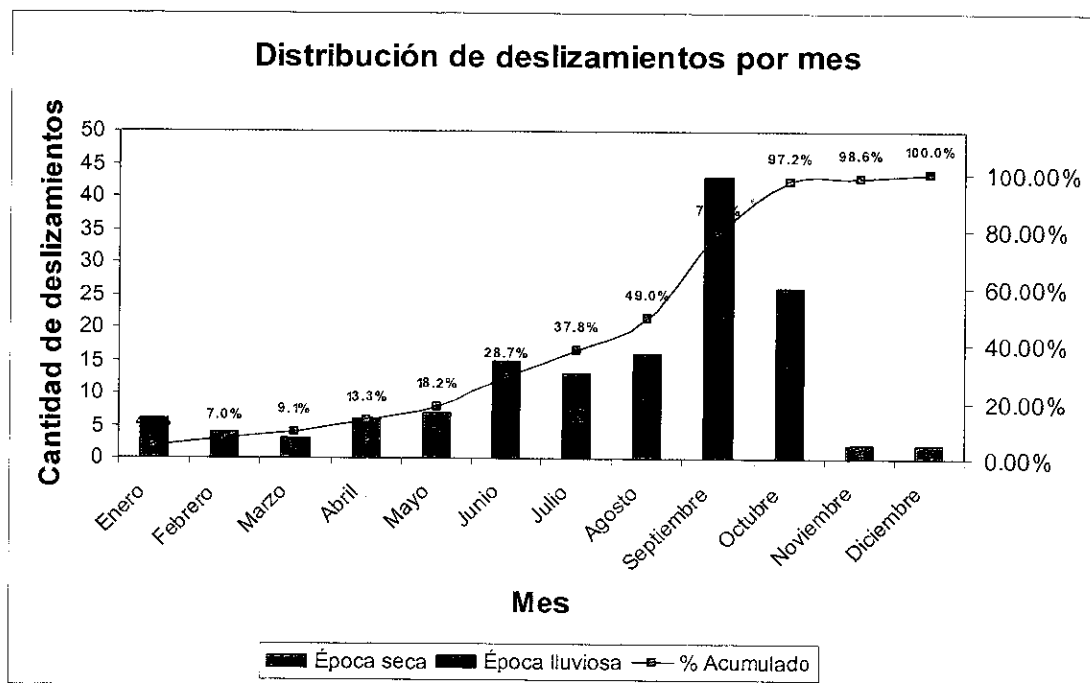
Gráfica 13: Cantidad de deslizamientos según proximidad a ríos



El histograma confirma las observaciones anteriores; casi un 40% de los deslizamientos analizados ocurrieron a menos de 200 m de un río, y alrededor de un 83% se produjeron a menos de 800 m. Este resultado es interesante desde el punto de vista estadístico, ya que sugiere que la proximidad a ríos puede usarse como un indicador de la amenaza a deslizamientos, independientemente de si los deslizamientos propiamente están relacionados con la presencia del río.

6.3.7. Distribución en el tiempo. Finalmente, se estudió la distribución de los deslizamientos en el tiempo utilizando únicamente los deslizamientos disparados por lluvias o sismos (series 10 y 20), ocurridos en el período 1898-1991. En este caso se escogieron los meses del año como unidades temporales. La Gráfica 14 muestra el resultado:

Gráfica 14: Distribución de deslizamientos por mes



Se observa claramente el aumento de deslizamientos que se produce en la época lluviosa (marcada en celeste). Lo más interesante es quizá el cambio súbito que ocurre de octubre a noviembre, y la tendencia ascendente a partir de entonces, la cual sufre un incremento notorio en el mes de junio, que coincide con el inicio de la época lluviosa.

De la Gráfica 14 pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- En el período lluvioso se produjo el 79% de los deslizamientos (97.2% - 18.2%).
- El 48% de los deslizamientos ocurrieron en los meses de septiembre y octubre.
- Al finalizar la época lluviosa, existe una tendencia decreciente en el número de deslizamientos que llega a su punto más bajo precisamente en el mes más caliente: marzo.

6.3.8. **Modelo SIG: mapa de amenaza por deslizamientos.** Hasta el momento se han realizado análisis descriptivos en base a las características de los deslizamientos registrados. En cada caso se estudió en forma aislada el efecto de diversos factores sobre la ocurrencia y/o distribución de los deslizamientos. Para efectos prácticos, sin embargo, es más útil conocer el efecto global de cada uno de estos factores, es decir,

- Cobertura forestal

- Cada uno de los posibles valores que toman las variables anteriores fueron reclasificados en una escala de 1 a 10 (factor de incidencia) de la misma forma en que la variable A. Por ejemplo, una pendiente baja se reclasificó con un valor factor de incidencia bajo, mientras que una pendiente alta tendrá un factor de incidencia más alto.
- La reclasificación de valores para cada variables se hizo de dos formas:
 - Los valores de las variables de pendiente del terreno y proximidad a rios fueron divididas en 10 grupos según el método de agrupaciones naturales de Jenks. A cada grupo se le asignó el factor de incidencia correspondiente.
 - Los valores de las variables serie de suelo, geología y cobertura forestal fueron asignados en base a la densidad de deslizamientos calculada en los análisis anteriores. A la densidad más alta se le asignó el valor de 10 (mayor amenaza) y a la más baja el valor de 1. Los valores intermedios se calcularon en forma proporcional y se redondearon al entero más próximo. Los resultados se muestran en los Cuadro 6, 7 y 8.
- A cada variable se le asignó un valor de influencia sobre la amenaza global, en forma porcentual. La suma de los valores de influencia de todas las variables es 100%. Estos valores se asignaron arbitrariamente (ver último inciso).

- Finalmente se creó una imagen raster en la que cada píxel toma un valor amenaza ("A"), calculado de la siguiente manera:

$$A_i = \sum_1^5 F_i \cdot V_i \quad \text{en donde} \quad F = \text{Factor de Influencia}$$

$V = \text{Valor Reclasificado de la Variable}$

Para verificar la validez del modelo, se asignó el valor de la variable "A" (amenaza) como atributo a los deslizamientos, y se estudió su distribución. Si el resultado no era aceptable, se variaban nuevamente los factores de influencia.

Cuadro 6: Reclasificación de las capas de SERIES DE SUELOS

SÍMBOLO	Densidad (Eventos/Km2)	Factor de Incidencia (FI)	FI redondeado
Gt	0.288861959	10	10
SA	0.278583485	9.679756	10
AF	0.141186755	5.398921	5
Chn	0.04927929	2.535383	3
Jg	0.048289738	2.504551	3
Mr	0.038276979	2.192586	2
Gtp	0.0215905	1.67269	2
Cq	0.012477774	1.388767	1
Chr	0.012232167	1.381115	1

Cuadro 7: Reclasificación de las capas de GEOLOGÍA

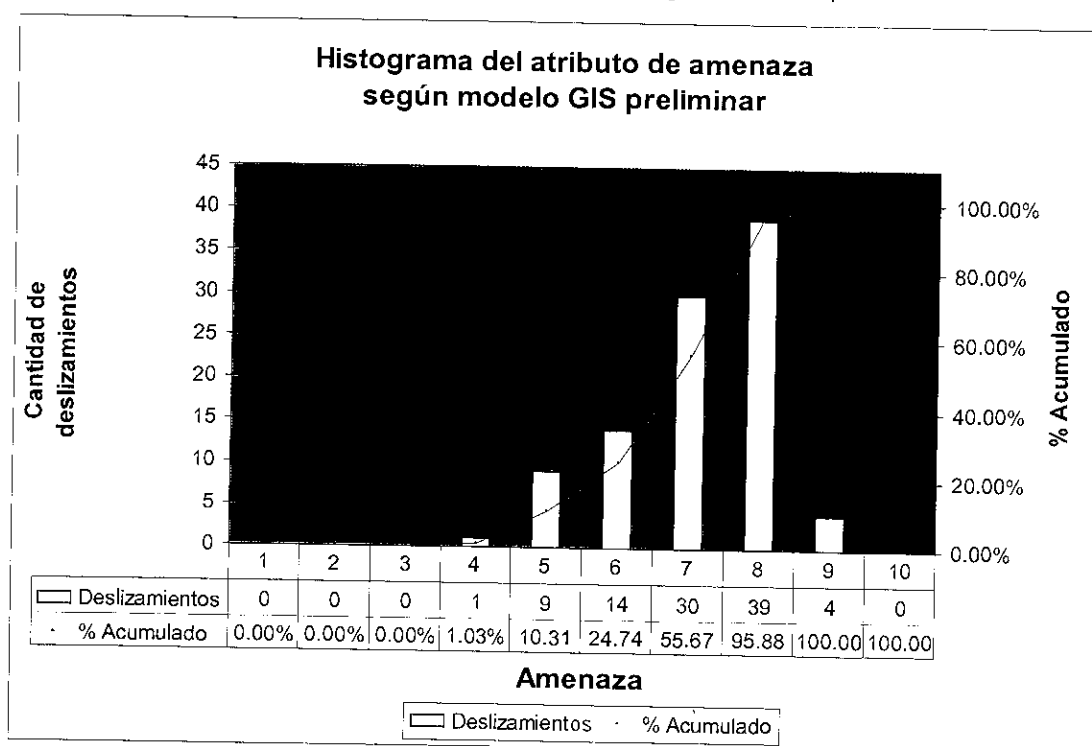
SÍMBOLO	Densidad (Eventos/Km2)	Factor de Incidencia (FI)	FI redondeado
Qa	0.22292518	10	10
Qp	0.131562077	6.311462	6
Ksd	0.116679171	5.710605	6
l	0.030236007	2.220697	2
KTsb	0.011544045	1.46606	1
Tv	0.003134605	1.126551	1
Pzm	0.000544534	1.021984	1

Cuadro 8: Reclasificación de las capas de COBERTURA FORESTAL

TIPO DE BOSQUE	Densidad (Eventos/Km2)	Factor de Incidencia (FI)	FI redondeado
Asoc. mixto-cultivos	0.039337623	10	10
Area sin cobertura forestal	0.009466412	3.165807	3
Bosque mixto	0.009421821	3.155605	3
Bosque secundario/arbustal	0.005188165	2.186993	2

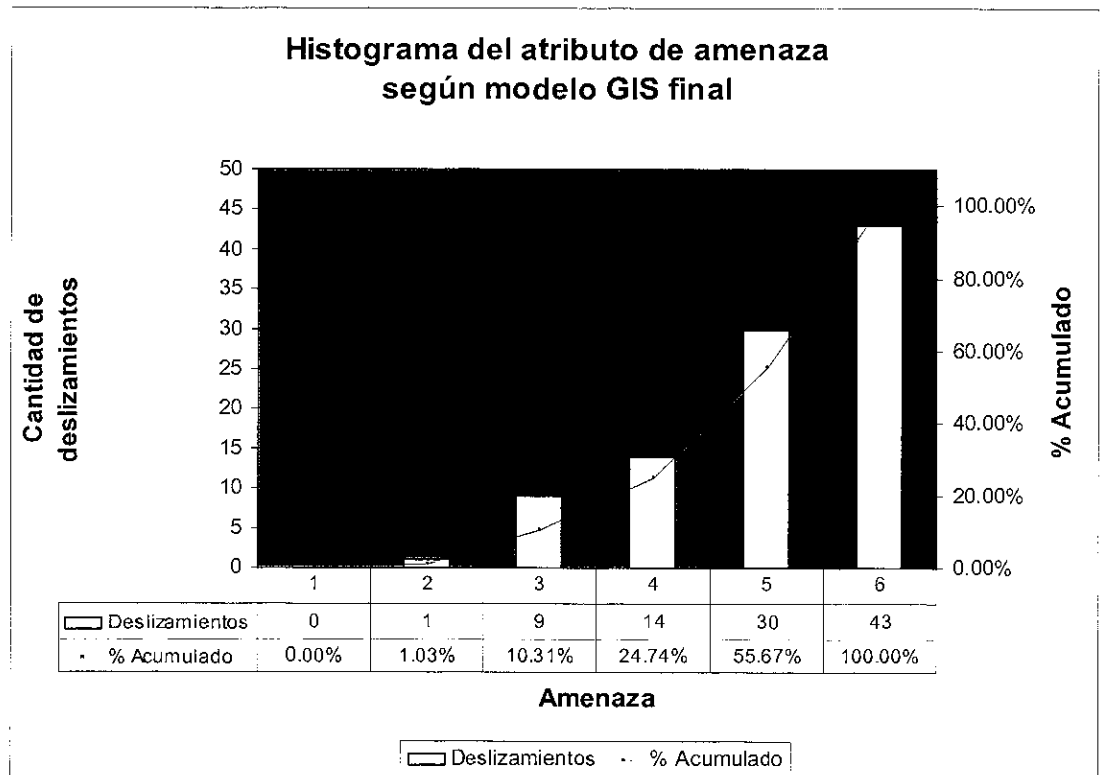
El raster que resulta al seguir al procedimiento anterior contiene un mapa de amenaza dividido en 10 zonas, los valores de las cuales son producto de la ponderación del valor individual de las variables consideradas. Utilizando la herramienta *Extract Value to Points* de ArcGIS se asignó a cada deslizamiento el valor de la zona en que, según el modelo, está ubicado. Para verificar la consistencia del modelo, se generó la Gráfica 15.

Gráfica 15: Histograma del atributo de amenaza según modelo GIS preliminar



Puede observarse que el modelo es consistente al asignar valores de amenaza ("A") más altos en las regiones en donde ocurrió el mayor número de deslizamientos, por lo menos en el rango de valores de 1 a 8. Para los valores 9 y 10, pareciera no ser preciso. Una posible solución a esta inconsistencia es reclasificar el raster de amenaza para colocar los valores de A de 8, 9 y 10 en el mismo rango. También pueden asignarse al mismo rango los valores de 1 a 3. Este procedimiento resulta en una disminución en el total de zonas, de 10 a 6, como se mencionó originalmente. El histograma siguiente (Gráfica 16), generado únicamente con los deslizamientos de tipo 10, 11, 20 y 21, confirma la consistencia del modelo, el cual se muestra Mapa 11.

Gráfica 16: Histograma del atributo de amenaza según modelo GIS final



7. CONCLUSIONES

- Para hacer un análisis preciso de las pendientes es indispensable disponer de un DEM de alta resolución.
- Los resultados del análisis de pendientes muestran que la amenaza de que ocurra un deslizamiento no está directamente correlacionada con la pendiente del terreno, sino que el tipo y origen del suelo juegan un papel de mayor peso. Esto es particularmente evidente en los suelos de origen piroclástico, en los que se pueden practicar cortes cuasi-verticales y permanecer así por muchos años.
- La amenaza por deslizamientos puede estimarse utilizando factores que no necesariamente están clasificados como factores desencadenantes, sino que tienen una participación indirecta. Tal es el caso de la proximidad a ríos perennes. Factores como la serie de suelo, la geología y la cobertura forestal juegan papeles secundarios, pero también tienen cierta influencia.
- El modelo confirma la observación inicial de que la amenaza por deslizamientos es mayor en la región al nor-este de la divisoria continental.
- Según el modelo, la única región prácticamente libre de amenaza a deslizamientos es la correspondiente al sur-este de Amatlán y zona central del municipio de Villa Canales, ya que estas aparece codificada como una zona tipo 1.
- Según el modelo, la zona con mayor peligro de deslizamientos en el área metropolitana es la zona 2. También lo son los municipios al norte de la capital, dentro de los que destacan San Pedro Sacatepéquez, Chinautla y sus alrededores.

- La consistencia del modelo propuesto confirma que sí es posible utilizar los *Sistemas de Información Geográfica* para realizar estudios sistemáticos de los movimientos de ladera en una región determinada.
- La calidad de la información recopilada por otras entidades, previo a este estudio, tiene que ser clasificada antes de utilizarse en un análisis.

8. RECOMENDACIONES

- Este estudio demostró la utilidad de los *Sistemas de Información Geográfica* para el análisis de deslizamientos. Dado que la precisión de los resultados está ligada a la precisión de los datos utilizados, se recomienda a las instituciones guatemaltecas que tengan participación en el estudio y prevención de deslizamientos, lleven una base de datos computarizada, con los atributos más importantes de cada uno. Deberá prestarse especial importancia a los siguientes atributos:
 - Ubicación: siendo éste un dato tan importante, se recomienda que este se obtenga utilizando GPS.
 - Pendiente: dado que el acceso a DEMs de alta resolución no siempre es posible, se recomienda contar con un valor de pendiente obtenida de un levantamiento in situ.

Dentro de estas instituciones se encuentran las siguientes:

- CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres)
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología)
- CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central)

Adicionalmente, a estas mismas instituciones se recomienda que no restrinjan el acceso a dicha información, sino que más bien implementen canales para facilitar su distribución (v.g. usando Internet). De esta forma la información estará disponible para otras entidades u personas individuales que deseen estudiar la materia, y que, eventualmente podrían llegar a resultados importantes.

- Nuevamente a las instituciones anteriormente aludidas, se recomienda implementar el uso de SIG como una práctica estándar, no sólo para el análisis de deslizamientos sino también para estudiar otros fenómenos similares. De esta forma se generará información precisa que podrá ser utilizada eventualmente para realizar análisis más detallados.

- A Universidades y otros centros de formación profesional, se recomienda que introduzcan a sus estudiantes a los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en ingeniería. Esta es una forma de incentivar la investigación en los estudiantes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abramson, Lee Wayne, *et al.* 2002. *Slope Stability and Stabilization Methods*. 2ª ed. New York, John Wiley and Sons. 712 págs.
- Amenaza de movimientos de ladera en el valle de Guatemala: bases metodológicas y cartografía piloto*. 2000. Instituto Técnico Geominero de España y Agencia Española de Cooperación Internacional. Guatemala. 176 págs.
- Bonis, Samuel. 1978. «Son Desatendidas las Advertencias Geológicas del Terremoto de Guatemala de 1976». *Memorias: Simposio Internacional sobre el Terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción, Guatemala, 14-20 Mayo 1978*. I(9): 1-6.
- Cereser, Leonardo. 2005. «Triste adiós a víctimas de deslave». *Prensa Libre* [Guatemala].
- Estudio del establecimiento de los mapas básicos y mapas de amenaza para el Sistema de Información Geográfica de la República de Guatemala (informe final)*. 2003. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Guatemala, Kokusai Kogyo, S.A., Guatemala. 416 págs.
- Evaluación de amenazas naturales en nueve asentamientos del departamento de Guatemala*. 2002. Fundación para la Superación de la Ingeniería. Guatemala. 153 págs.

- «Feasibility Study on the Ground Water Development Project». 1986. Japan International Cooperation Agency; Empresa Municipal de Agua. En *Evaluación de amenazas naturales en nueve asentamientos del Departamento de Guatemala*. 2002. Fundación para la Superación de la Ingeniería. Guatemala. 153 págs.
- Harp, Edwin, *et al.* 1978. «Derrumbamiento por inducción de terremotos a partir del terremoto del 4 de Febrero de 1976 en Guatemala, y sus implicaciones para la reducción de riesgos sísmicos». *Memorias: Simposio Internacional sobre el Terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción, Guatemala, 14-20 Mayo 1978*.
- Inventario de los principales deslizamientos ocurridos en la República de Guatemala*. 1991. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Sección de Hidrología Aplicada. Guatemala. 221 págs.
- Johnston, Stephen T. y D.J. Thorkelson. 1996. «Cocos-Nazca slab window beneath Central America». *Earth and Planetary Science Letters*. (146): 465-474.
- «La situación de los asentamientos en el Municipio de Guatemala». 2003. *Revista ASIES*. [Guatemala]. Asociación de Investigación y Estudios Sociales. 2:7-94.
- Leet, Don y S. Judson. 2001. *Fundamento de Geología Física*. México, D.F., Editorial Limusa, S.A. de C.V. 450 págs.
- Memorias: Simposio Internacional sobre el Terremoto de Guatemala del 4 de Febrero de 1976 y el Proceso de Reconstrucción*. 1978. Guatemala. 2 tomos.
- Ojeda, Jacobo y E. Velázquez. 1996. «Some aspects of Colombian landslide research». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 1103-1108.

- Pande, Prabhas; P.L. Narula y K.C. Joshi. 1996. «Coseismic landslides and fractures induced by Uttarkashi Earthquake (1991): Remedial measures and mitigation efforts». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 1019-1024.
- _____; 1996a. «Landslide hazard zonation and its correlation with coseismic slides during Uttarkashi Earthquake of 20th October, 1991». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 977-982.
- Partnerships for Reducing Landslide Risk*. 2004. National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Earth Sciences and Resources, Committee on the Review of the National Landslides Hazards Mitigation Strategy. Washington, D.C., National Academies Press. 131 págs.
- Partnerships for Reducing Landslide Risk*. 2004. National Research Council, Committee on the Review of the National Landslides Hazards Mitigation Strategy. Washington, D.C., National Academies Press. 131 págs.
- Rahardjo, H.; M.F. Chang y T.T. Lim. 1996. «Stability of residual soil slopes as affected by rainfalls». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 1109-1114.
- Stylianos, P, *et al.* 1996. «Earthquake-induced landslides during the great Hanshin Earthquake of January 17th, 1995 (Kobe, Japan)». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 989-994.

- Suárez, J. 1996. «Erosion induced landslides in tropical environments». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 1115-1119.
- «Susceptibilidad de Movimientos de Ladera en el Valle de Guatemala: Bases Metodológicas y Cartografía Piloto». 2000. Instituto Técnico Geominero de España. Guatemala. 239 págs.
- Tan, B.K. 1996. «Geologic factors contributory to landslides – some case studies in Malaysia». *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 Junio 1996*. Editado por Kaare Senneset. 2: 1121-1124.
- Terzagui, Karl; R.B. Peck y G. Mesri. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3ª ed. New York, John Wiley and Sons. 549 págs.

10. APÉNDICES

10.1. APÉNDICE A: Información recopilada o disponible

l) En formato utilizable por Sistemas de Información Geográfica

a) *MERTU/G (Medical Entomology Research and Training Unit / Guatemala)*

i) 1:250,000

- (1) Fronteras
- (2) Municipios
- (3) Geología
- (4) Suelos
- (5) Uso de tierra
- (6) Cobertura forestal
- (7) Cuerpos de agua
- (8) Ríos
- (9) Sismos (50,100 y 500)
- (10) Curvas de nivel
- (11) Carreteras principales

ii) 1:50,000

- (1) Departamentos y municipios
- (2) Cuerpos de agua
- (3) Ríos perennes e intermitentes
- (4) Roderas
- (5) Veredas
- (6) Tipos de carreteras

iii) 1:15,000

- (1) Calles
- (2) Edificios de comercio, gubernamentales, militares, de comercio
- (3) Complejos, iglesias y escuelas
- (4) Curvas a nivel @ 20 m.
- (5) Mapa con zonas de Municipalidad.

b) JICA (Japanese International Cooperation Agency)

Ortofotos y mapas detallados de todo el territorio guatemalteco. La información se almacenó en 105 CD's que fueron entregados al Centro de Estudios ambientales de la UVG.

c) MAGA 2005 (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación)

i) Covers y Shapefiles de:

- (1) Poblados, municipios y departamentos
- (2) Cuencas
- (3) Puentes y escuelas
- (4) Sitios arqueológicos
- (5) Ríos y lagos
- (6) Incendios
- (7) Deslizamientos
- (8) Fisiografía
- (9) Uso de la tierra
- (10) Etc.

d) OTRA INFORMACIÓN EN FORMATO DIGITAL

- i) Ortofotografías a 1:40,000 de la ciudad capital, año 2000 (CATASTRO)
- ii) Mapa Ciudad de Guatemala en autocad (CATASTRO)
- iii) Inventario de deslizamientos en Microsoft Access (INSIVUMEH)
- iv) CD de presentaciones de conferencias:
- v) RECLAIMM Regional Workshop 2005 (Norwegian Geotechnical Institute). Costa Rica, Abril 2005
- vi) Encuentro Italo-Centroamericano sobre Prevención y Mitigación de Riesgos Naturales. Guatemala, Abril 2005.

e) ESTUDIOS PREVIOS

- i) Estudio de Españoles (AECI-ITGE): ver Bibliografía para detalles de publicación.
- ii) Estudio de Japoneses (JICA): ver Bibliografía para detalles de publicación.

f) INFORMACIÓN VARIADA

- i) Tabla de Municipios amenazados por deslizamientos (CONRED)
- ii) Folletos con descripción de deslizamientos (INSIVUMEH)

10.2. APÉNDICE B: El caso de Fredy Jaes

El 12 de Julio de 2005, un destlave ocurrido en uno de los muchos asentamientos de la Ciudad, le arrebató la vida a la familia de Fredy Jaes, conserje de la Universidad del Valle de Guatemala. El artículo siguiente narra los pormenores del caso.

Guatemala, 15 de Julio de 2005

PRENSA LIBRE

Triste adiós a víctimas de deslave

Cientos de vecinos acompañaron sepelio de familia Jaes Pacheco

Por: Leonardo Cereser

Compañeros, maestros, familiares y amigos velaron ayer en la Escuela Américas, zona 16, a cinco miembros de una familia, víctimas de un alud de tierra y agua, ocurrido el martes recién pasado en esa área.



El cortejo fúnebre fue acompañado por una multitud de vecinos y familiares. Foto Prensa Libre: Mynor de León.

"En nombre de tus compañeros y maestra, te deseamos, Fredy Raúl, que estés gozando de la presencia del Señor, al lado de tu mamá y hermanitos", decía un cartel colocado sobre el ataúd del menor de 9 años, el mayor de los hermanos Jaes, fallecidos durante el deslave.

El día de la tragedia, la intensa lluvia provocó que toneladas de lodo se desprendieran de un cerro de la 6a. avenida final, sector Camposeco, Concepción Las Lomas, zona 16, y cayeran sobre la precaria vivienda de la familia Jaes Pacheco.

El miércoles recién pasado, todavía fue rescatado sin vida el cuerpo de Douglas, de 17 meses de edad.

En el hecho murieron sus hermanos Fredy Raúl, Fredy Humberto y Aniceto, de 5 años, su mamá Isabel y su abuela Agustina. También falleció la vecina Emilia Gatica.

Dos días después de la tragedia, los vecinos llegaban a la escuela de la comunidad para presentar sus condolencias a Fredy Jaes, de 32 años, padre y esposo de las víctimas.

Presagio de la tragedia

Jaes recordó que, como si hubiera sido un presagio, un día antes del deslave, un pequeño derrumbe había obstruido el paso para salir de la vivienda, indicó que una pared de la cocina había comenzado a gotear intensamente desde hace algunos días, por las lluvias.

A esa vivienda, Jaes se fue a vivir hace 12 años, cuando se casó con Isabel.

"Conocíamos del riesgo, pero yo gano Q1 mil 400 como encargado de limpieza en la Universidad del Valle, y no nos alcanzaba para mudarnos", contó Jaes, quien agregó que el único problema lo experimentaron cuando el huracán Mitch, en 1998, ocasionó otro alud en un lugar del asentamiento.

Añadió que había iniciado estudios como bachiller en computación, para dar una mejor vida a su familia, y soñaba con que su hijo mayor aprendiera la profesión.

Misa y sepelio

Después del velatorio en la escuela, los cuerpos fueron llevados a la iglesia cercana, donde se ofició una misa. Minutos después, empezó el recorrido hacia el cementerio de la comunidad, bajo una llovizna pertinaz.

Más de 110 personas que residen en Concepción Las Lomas continuaban ayer refugiadas en las instalaciones de las iglesias Mormona y Maranatha, ubicadas en el sector, y que fueron habilitadas como albergues.