

01 Jan 2007

Análisis De Deslizamientos En La Ciudad Capital Utilizando Sistemas De Información Geográfica

Pedro Pablo Conlledo

Ronaldo Luna

Missouri University of Science and Technology, rluna@mst.edu

Follow this and additional works at: https://scholarsmine.mst.edu/civarc_enveng_facwork



Part of the [Civil Engineering Commons](#)

Recommended Citation

P. Pablo Conlledo and R. Luna, "Análisis De Deslizamientos En La Ciudad Capital Utilizando Sistemas De Información Geográfica," Universidad del Valle de Guatemala, Jan 2007.

This Technical Report is brought to you for free and open access by Scholars' Mine. It has been accepted for inclusion in Civil, Architectural and Environmental Engineering Faculty Research & Creative Works by an authorized administrator of Scholars' Mine. This work is protected by U. S. Copyright Law. Unauthorized use including reproduction for redistribution requires the permission of the copyright holder. For more information, please contact scholarsmine@mst.edu.

Análisis de deslizamientos en la ciudad capital

utilizando sistemas de información geográfica^a

Pedro Pablo Conill Tapia, graduado de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala

Ronaldo Luna Jiménez, Asesor de Tesis, Universidad de Missouri - Rolla EEUU

Resumen

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. 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 con la información disponible.

El estudio partió de un registro histórico proporcionado por el INSIVUMEH^b (1), en el que se registraron eventos desde 1898 hasta 1991. Utilizando software de SIG, se generó un mapa digital de deslizamientos con el que posteriormente se estudió 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.

^a Reseña de tesis presentada para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil.

^b Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

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 geológicos recientes, clima tropical y alta sismicidad se asocian para dar como resultado una región en donde los deslizamientos de tierra ocurren por doquier.

La amenaza a 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, Bonis (2) 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 Bonis (2) en 1,976:

«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.»

Estas condiciones se siguen viviendo en Guatemala.

La necesidad de realizar estudios a nivel nacional es más que evidente. Este trabajo consiste en una investigación que tiene como objetivo utilizar los Sistemas de Información Geográfica como una herramienta para estudiar sistemáticamente los movimientos de laderas. Se busca 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.

Materiales y métodos

• Recopilación de Información

El estudio inició con la recopilación de información existente, tanto en formato digital como en formato escrito. En esta etapa se contó con la colaboración de varias instituciones que aportaron la información con que contaban, dentro de la cual destaca el inventario de deslizamientos (1) proporcionado por el INSIVUMEH, y los mapas base en formato SIG proporcionados por MERTU/G^c y FUNDAECO^d y MAGA^e.

• Digitalización y Reclasificación de Deslizamientos

El inventario de deslizamientos, que recopila eventos ocurridos en el Departamento de Guatemala entre 1989 y 1991, se ingresó en la computadora en un formato utilizable por ArcGIS, el software de SIG (por ESRI: Environmental Systems Research Institute, Inc.) que se usó en este estudio. A cada deslizamiento se le agregó sus atributos, como coordenadas geográficas, fecha del evento, disparador, número de heridos y muertos, etc.

• Procedimiento de Análisis GIS

El análisis SIG inició al sobreponer la capa temática (mapa digital) que contenía la información de deslizamientos con otras capas que contenían información como: pendiente del terreno, series de suelo, formaciones geológicas, cobertura forestal y proximidad a ríos perennes. Los valores de cada una de estas capas correspondientes a los puntos en donde

ocurrieron deslizamientos, se agregaron como nuevos atributos a la capa de deslizamientos. El resultado fue que para cada deslizamiento registrado, se tenía información sobre la pendiente del terreno en que ocurrió, la serie de suelo, la distancia al río más cercano, etc. Esta base de datos se exportó para hacer uso en hoja de cálculo, en donde se generaron varios histogramas para estudiar la distribución de eventos en el rango de resultados de cada variable.

• Modelo de Amenaza por Deslizamientos

Finalmente se creó un mapa de amenaza por deslizamientos en el que se dividió el área de estudio en 6 zonas con grados de amenaza creciente. Las zonas en este mapa se crearon utilizando una herramienta de ArcGIS que permite ponderar el efecto de cada factor. Para esto fue necesario reclasificar los valores de cada variable en un rango de 1 a 6, asignando un valor de 1 a los valores que representaban una amenaza baja y un valor de 6 a los que representaban la mayor amenaza. Los valores intermedios se asignaron en forma proporcional.

A continuación se creó una imagen *raster* en la que cada pixel se le asignó un valor de amenaza "A" entre 1 y 6 (que determina la zona a la que pertenece) calculado de la manera siguiente:

$$A_i = \sum_1^{n=5} F_i \cdot V_i$$

en donde

F = Factor de influencia (valor de ponderación)

V = Valor reclasificado de la variable

n = número de variables o factores considerado

^cMedical Entomology Research and Training Unit / Guatemala.

^dFundación para el Ecodesarrollo y la Conservación.

^eMinisterio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Los cinco variables que se consideraron fueron: *relieve* (pendiente del terreno), *proximidad a ríos perennes*, *serie de suelo*, *formación geológica* y *cobertura forestal*. El valor reclasificado de la variable, "V", se calculó anteriormente. La única incógnita sería el valor de ponderación para cada variable. El objetivo fue encontrar los valores de ponderación que dieran como resultado zonas que agruparan un número cada vez mayor de deslizamientos. El método utilizado fue de prueba y error; las propuestas iniciales se basaron en las tendencias observadas en los histogramas. Los factores de influencia finales se dieron por aceptados al momento de obtener un histograma de deslizamientos creciente, según la zona en la que estaban ubicados.

Resultados ^f

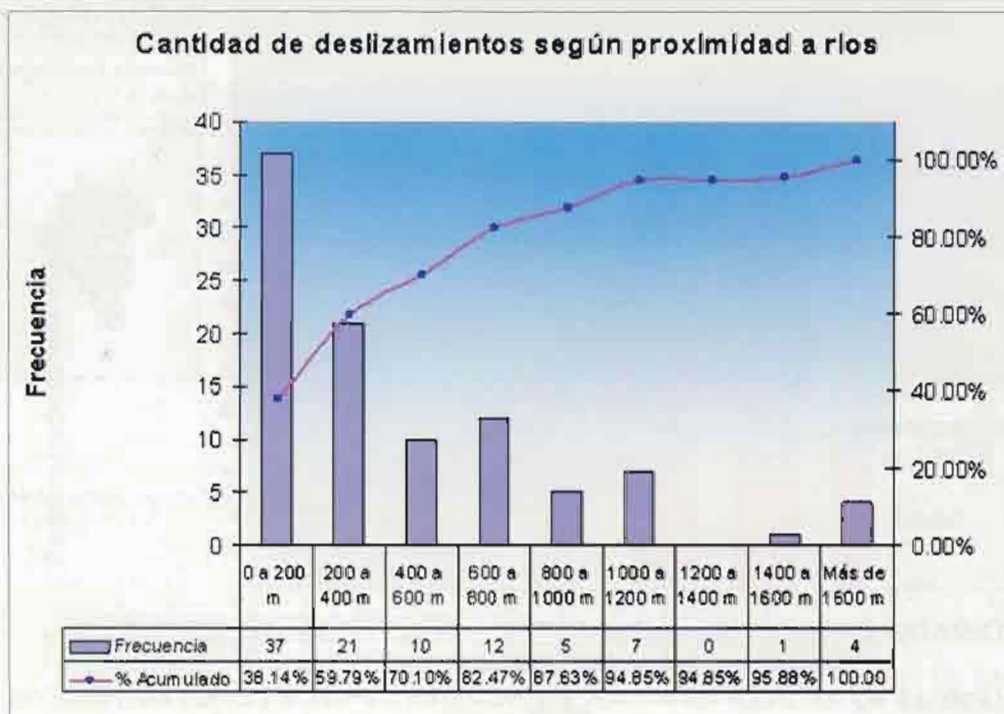
El Mapa 1 muestra la distribución general de deslizamientos en el área de estudio, sobre una ortofotografía sobre la cual también se ha coloreado el relieve del terreno. La agrupación de valores de pendientes se hizo según el método de las *divisiones naturales de Jenks*. (3)

• Proximidad a Ríos Perennes

El histograma de la Gráfica 1 muestra la distribución eventos según su distancia al río perenne más cercano. La relación inversa entre proximidad a un río y número de eventos ocurridos es evidente.

GRÁFICA 1

Cantidad de deslizamientos según proximidad a ríos (histograma)

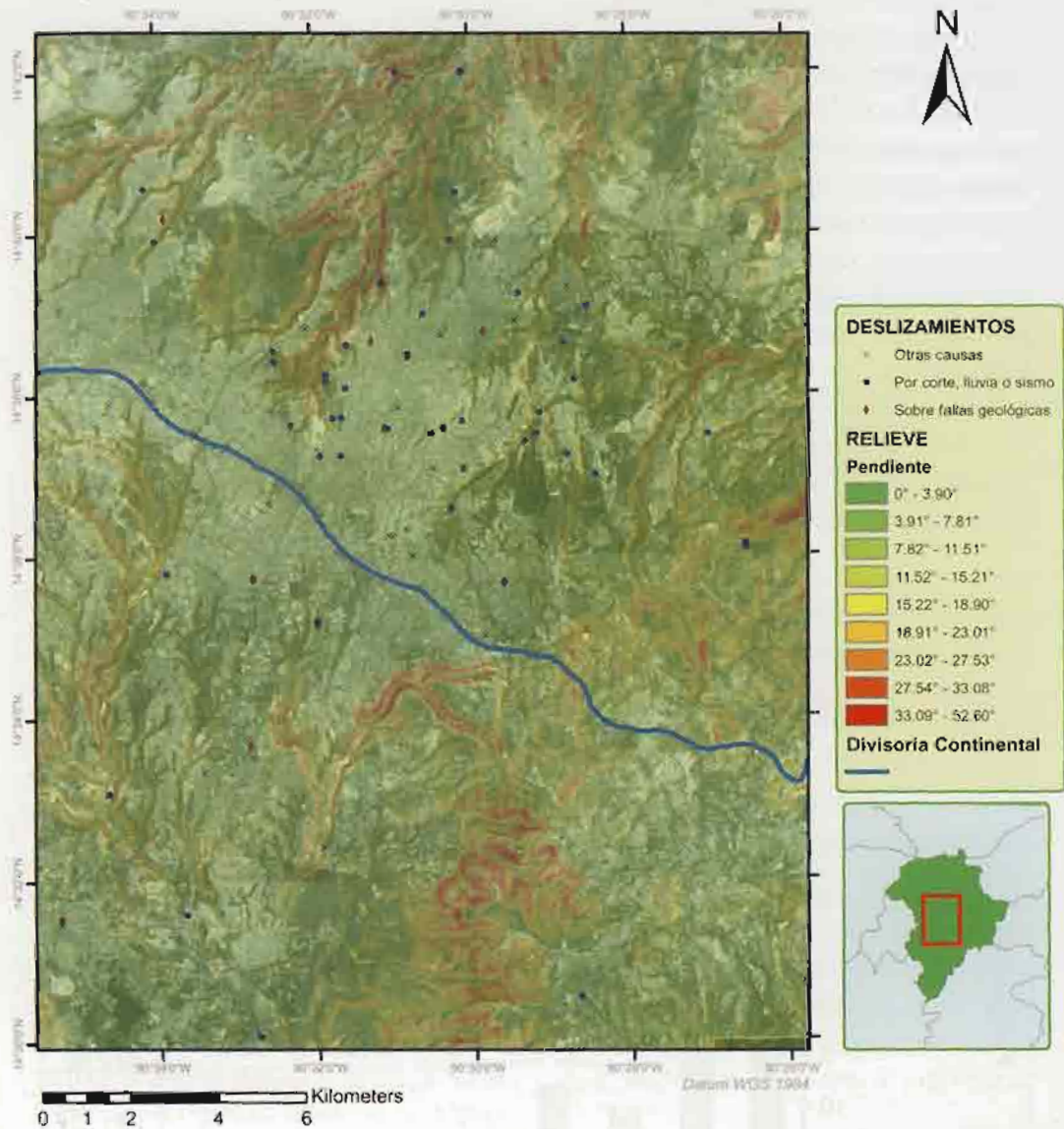


^fEn esta sección se incluyen únicamente los resultados más relevantes de la tesis, sin embargo, la totalidad de estos fue utilizada para generar el Mapa de Amenaza por Deslizamiento. Los detalles pueden consultarse en la tesis de Conledo, 2006 (4).

DESLIZAMIENTOS

Distribución Geográfica y Pendiente del Terreno

Mapa 1

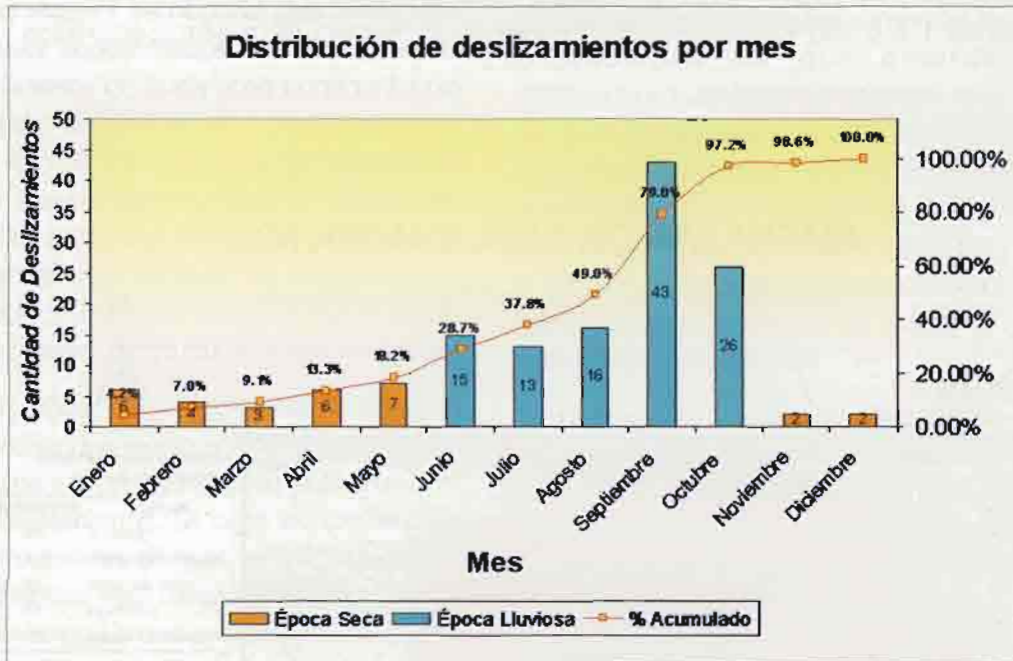


- Distribución en el Tiempo

La Gráfica 2 agrupa todos los eventos registrados en el inventario según los meses del año. Es evidente que en los meses de la temporada lluviosa se concentran los deslizamientos especialmente hacia el final de la temporada en los meses de Septiembre y Agosto.

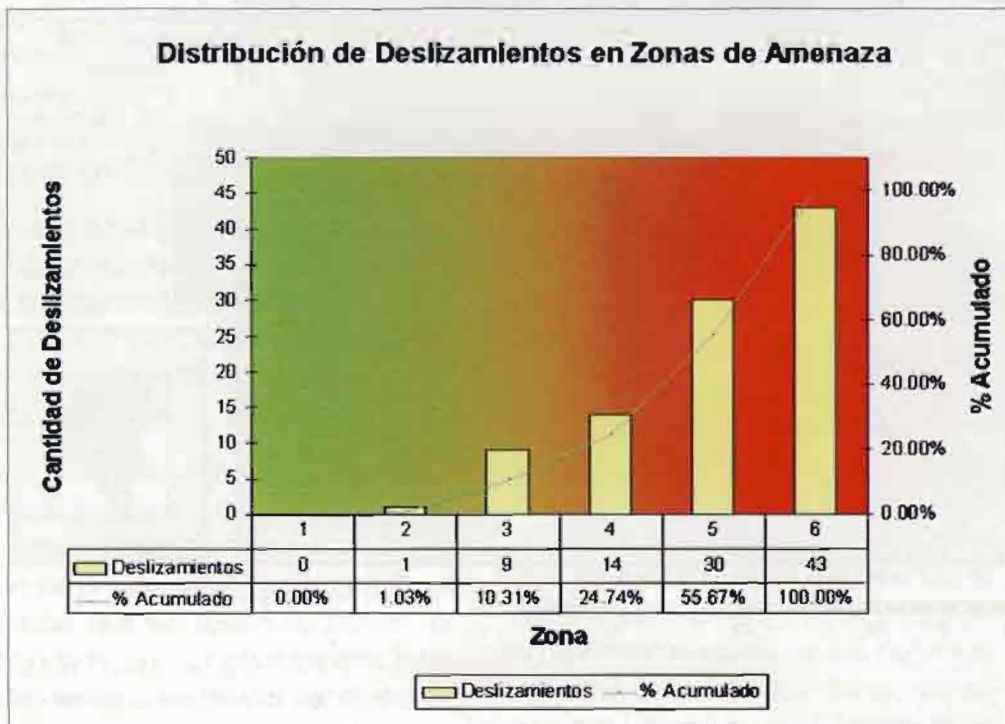
GRÁFICA 2

Distribución de deslizamientos por mes



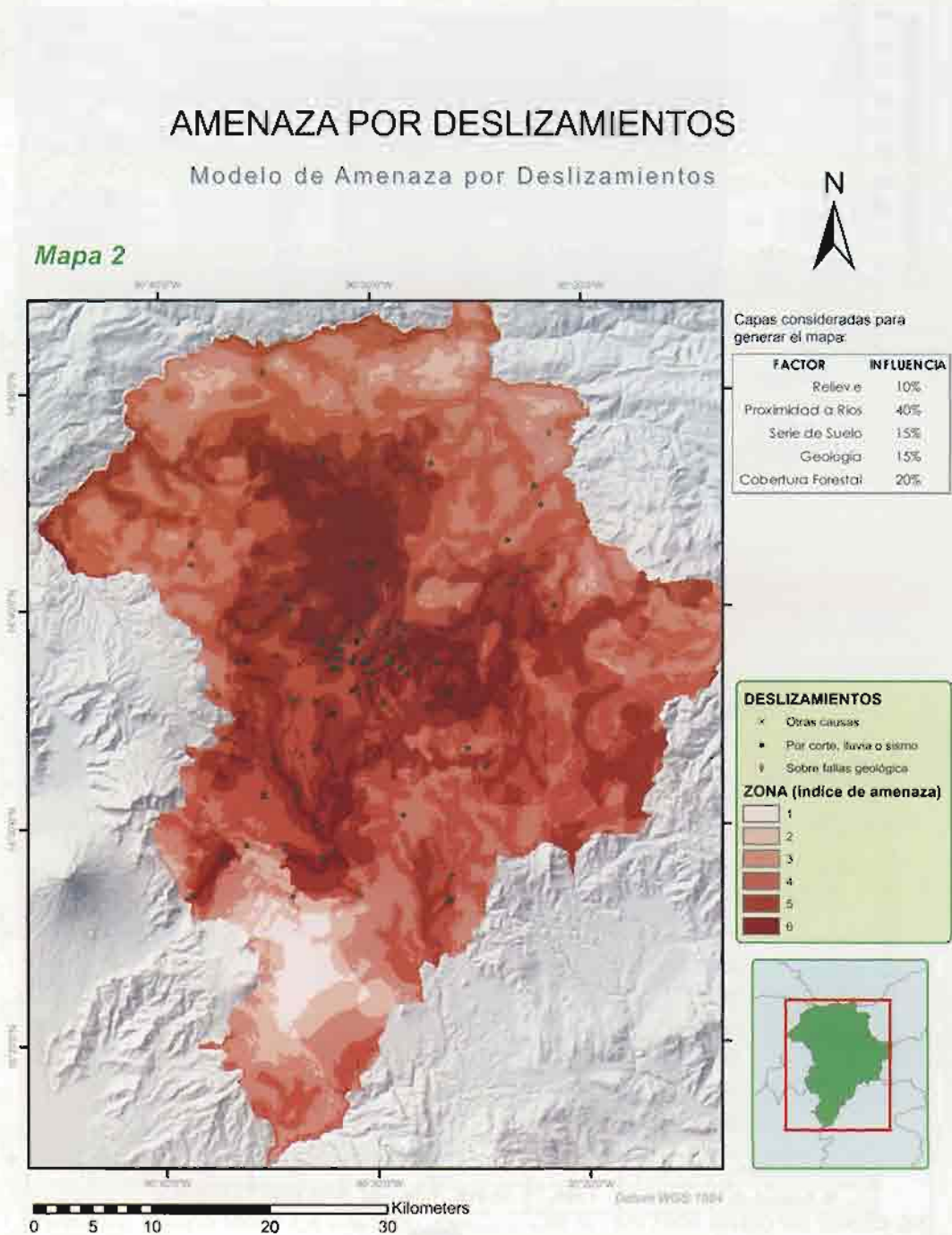
GRÁFICA 3

Distribución de deslizamientos según la zona del mapa de amenaza (histograma)



• Mapa de Amenaza por Deslizamientos

En el Mapa 2 se observa la distribución de zonas que resulta al utilizar la ponderación indicada en el mismo Mapa. El histograma de la Gráfica 3 confirma que entre las zonas 1 a 6 hay un incremento notable en el número de eventos ocurridos.



Discusión

En el Mapa 1 se observa que existe una mayor concentración de deslizamientos al noreste de la divisoria continental de aguas. Este resultado no puede atribuirse al tipo de suelo o formación geológica, ya que no existen mayores diferencias entre estas dos zonas. No obstante, al sobreponer un layer de ríos perennes sobre este mapa, se observa que existe una mayor densidad de estos al noreste.

La Gráfica 1 hace evidente la relación inversa que existe entre la proximidad a un río y la probabilidad de que ocurra un deslizamiento. Si bien no existe una vinculación directa entre estas dos variables, este resultado sugiere que la proximidad a ríos puede utilizarse como un indicador de amenaza. Este resultado es lógico si se considera que los ríos existen en valles y fondos de barrancos. La importancia de este resultado no radica, por lo tanto, en lo novedoso del mismo, sino en que presenta una herramienta más para identificar rápidamente áreas que podrían ser sujetas de deslizamientos utilizando *Sistemas de Información Geográfica*.

En cuanto a la distribución en el tiempo, es interesante observar que el 79% de los deslizamientos ocurre en la época lluviosa. Aún más, el 48% toma lugar en tan sólo dos meses del año: septiembre y octubre.

Puede observarse también que se produce un salto brusco de agosto a septiembre. El salto coincide aproximadamente con el fin de la canícula, después de la cual se sabe que las lluvias tienden a ser influenciadas por ciclones tropicales. Estas lluvias se caracterizan por ser de menor intensidad que las lluvias convectivas que

generalmente se producen antes de agosto, pero de mucho mayor duración.

El resultado anterior sugiere, por lo tanto, que las lluvias prolongadas aumentan la probabilidad de que ocurran deslizamientos en mayor proporción que las lluvias intensas y cortas. Hechos recientes parecieran confirmar esta observación: el huracán Mitch en 1998 y Stan en 2005, que se caracterizaron por la duración de las lluvias, desencadenaron infinidad de movimientos de ladera en todo el territorio nacional.

Los valores de incidencia (ponderaciones) que se asignó a las variables consideradas en el modelo propuesto para generar el mapa de amenaza, resultan en un histograma como el que se muestra en a Gráfica 3. Se observa que, efectivamente, cada zona agrupa un número creciente de eventos.

Debe notarse que, tal y como se mencionó anteriormente, la proximidad a ríos perennes resulta ser un indicador útil (valor de influencia alto). Otras variables, como la pendiente del terreno tienen una ponderación menor, aún cuando se pensaría que esta variable tiene mayor influencia. Esto se debe, en parte a que existen suelos en Guatemala de origen piroclástico, que tienen la característica de tolerar cortes cuasi-verticales y permanecer estables por muchos años. Esta propiedad se las confiere la estructura in-situ (inalterada) que el suelo adopta al enfriarse las cenizas volcánicas, y no las características alteradas del material propiamente. De hecho, si una muestra alterada de este suelo se analiza en el laboratorio, se encontrará que la pendiente máxima estable es menor a la que se encuentra en su estado natural, inalterado. No debe obviarse, sin embargo, que en este caso en particular la información de

pendientes y suelos no era tan precisa como se hubiera deseado, y esto puede ser una razón por la cual no se aprecia una correlación entre estos factores del terreno y la probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

El análisis SIG también reveló que más del 80% de deslizamientos ocurrió en zonas sin cobertura forestal. 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 otros factores que finalmente resultan en un aumento en la amenaza por deslizamientos.

A pesar de la simplicidad de los análisis realizados, se prueba que es posible utilizar *Sistemas de Información Geográfica* para estudiar sistemáticamente los movimientos de laderas. La validez de los resultados, indudablemente, estará ligada a la calidad de la información utilizada para generarlos. Actualmente ninguna institución en Guatemala recopila con rigurosidad los detalles de estos eventos, lo cual limita el tipo de análisis que se pueda realizar.

Bibliografía

1. *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. 1991. 221 págs.
2. Bonis, Samuel. *¿Son desatendidas las advertencias geológicas del terremoto 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.
3. Jenks, George F. The Data Model Concept in Statistical Mapping *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190, 1967.
4. Conlledo, Pedro Pablo. *Análisis de Deslizamientos en la Ciudad Capital Utilizando Sistemas de Información Geográfica Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala*, 2006, 103 págs.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de varias personas. Los autores desean agradecer al Ing. Manuel Mota (INSIMUMEH), Jorge Aguilar (FUNDAECO), Ing. Gustavo Chajón-Mirón (MERTU/G), Arq. Rodolfo Azpurú (Municipalidad de Guatemala) y Gustavo Barrios (CONRED⁹) a la Universidad del Valle de Guatemala por el apoyo brindado y a la Fundación Fulbright que contribuyó con el financiamiento del estudio base de este trabajo.

⁹ Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.