

Zonificación regional del peligro de deslizamiento de tierras

Por:

M.T.J. Terlien and C.J. van Westen

International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC),

P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.

Tel: +31 53 4874263, Fax: +31 53 4874336, e-mail: westen@itc.nl

Resumen

Este ejercicio intenta mostrar el potencial del SIG en la zonificación regional del peligro de deslizamiento de tierras provocado por terremotos. Este ejercicio se basa en datos de Manizales (Colombia) recolectados por el proyecto del ITC-UNESCO en el uso de SIG para la cartografía del peligro en zonas de montaña.

Iniciando



- Situado en Windows explorer cree un directorio de trabajo en el disco duro
- Extraiga los datos del archivo *Datos analisis deslizamientos y sismos.ZIP* desde el directorio `:\Casos de estudios SIG\03 Amenazas por deslizamientos\Analisis de deslizamientos y sismos\Datos SIG ILWIS` a el nuevo directorio
- Haga doble-click en el icono del programa ILWIS y vaya al directorio de trabajo que creo.

1 Datos disponibles

En este ejercicio se preparará un mapa de peligro de deslizamiento de tierras para un terremoto de magnitud 6.3 en la escala de Richter que puede ocurrir cerca de Manizales. Los estudios geológicos han demostrado que existe una zona sismo-tectónica, aproximadamente a 15 km al norte de Manizales, capaz de engendrar terremotos con profundidades de 10 a 13 km. y magnitudes por encima de 6 en la escala de Richter (Valencia, 1988).

En base a un mapa regional de geomorfología que combina información de tipos de roca, tipos de suelo y pendientes, se creará un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierras inducidos sísmicamente. Se proporciona un mapa de polígonos Geomani de la geomorfología regional de Manizales. En este ejercicio sólo se intenta mostrar el potencial de uso del SIG en la zonificación del peligro de deslizamiento sísmico de tierras; y no, preparar un mapa exacto de peligro para ser usado con propósitos de planificación.

2 Metodología

El deslizamiento de tierras provocado por terremotos puede ser clasificado en tres grupos (Keefer, 1984) :

- I. Caída de piedra y deslizamiento de tierras.
- II. Disminuciones bruscas, profundas y coherentes.
- III. Extensiones laterales

Por las características geomorfológicas de Manizales, los deslizamientos de tierras corresponderían a los tipos I y II, los cuales es muy probable que sean provocados por terremotos.

Las caídas de piedras ocurren principalmente en o cerca de uniones. Las pendientes escarpadas de material suelto, residual o coluvial con cohesión baja son susceptibles a deslizamientos.

La Intensidad Arias se define como la suma de todos los valores de aceleración al cuadrado de los registros de movimientos sísmicos fuertes. La Intensidad Arias es un parámetro bastante seguro para describir terremotos capaces de provocar deslizamiento de tierras. Los investigadores en California (Arpa y Wilson, 1995) encontraron una Intensidad Arias mínima de 0.11 m/s para la iniciación de un deslizamiento de tierras de tipo I. Los mismos autores encontraron una Intensidad Arias mínima de 0.32 m/s requerida para la iniciación de deslizamientos de tierras de tipo II. Intensidades más grandes indican que un movimiento más fuerte y de duración más larga provoca deslizamientos de tierra del tipo III.

Para preparar un mapa regional sencillo de zonificación de peligro que indique donde un terremoto con una cierta magnitud podría provocar deslizamientos de tierras del tipo I o II alrededor de Manizales, los dos mapas siguientes deben ser creados:

- 1) Un mapa que muestre la Intensidad Arias que se puede esperar en un sitio específico, con una magnitud, profundidad y distancia al epicentro del terremoto.
- 2) Un mapa que muestre la Intensidad Arias mínima requerida para iniciar un deslizamiento de tierras (que es función de las condiciones geomorfológicas del terreno, dependiendo de si el terreno es susceptible a deslizamiento de tierra del tipo I o II).

En aquellos sitios donde la intensidad esperada excede la intensidad mínima requerida, pueden tener lugar los deslizamientos de tierras.

3 Mapa del Epicentro

Para el cálculo de la distribución espacial la ley de atenuación de la Intensidad Arias es dada como una función de la magnitud, profundidad y distancia al epicentro del terremoto. En este caso la ley de atenuación de Wilson y Keefer (1985) esta basada en datos del terremoto en California:

$$\text{Log}_{10}I_a = -4.1 + M_w - 2\text{Log}_{10}(d^2 + h^2)^{0.5} - 0.5P \quad [1]$$

Donde:

- I_a = Intensidad Arias(m/s).
 M_w = Magnitud en un momento dado.
 d = Distancia más cercana a la proyección de ruptura (km.).
 h = Profundidad focal del terremoto (km.).
 P = Probabilidad de excedencia.

Para la preparación del mapa de la Intensidad Arias, se requiere un mapa de puntos con la ubicación del epicentro. El sistema de coordenadas local del mapa geomorfológico se usará como georeferencia. En este ejercicio se prepara un mapa

de peligros para un terremoto con magnitud de 6.3, localizado al norte de la zona sísmica de Manizales con epicentro en las siguientes coordenadas: $x = 1172000$, $y = 1064000$



- Seleccione File, Create, Create point map. De Epicentr como nombre del mapa.
Seleccione el sistema de coordenadas Unknown. De un valor mínimo a las coordenadas X,Y menor que las coordenadas del epicentro y un valor máximo un poco mayor que las coordenadas del epicentro.
- Cree un nuevo dominio llamado Epicentr. Del tipo identificador (Identifier). Cierre el dominio.
- Cuando salga del cuadro de diálogo del mapa de puntos (Create point map), se inicia el editor del mapa de puntos.
- Desde el menú options seleccione Edit, Add point adicione las coordenadas del epicentro y dele el nombre de Epicentr.
- Salga del editor de puntos.

4 Rasterización y reclasificación del mapa geomorfológico

El mapa de geomorfología Geomani es un mapa de polígonos que debe ser rasterizado.



- Despliegue el mapa Geomani, observe las unidades. Salga del mapa.
- Rasterize el mapa Geomani.
- Cree una nueva georeferencia con el nombre Geomani. Seleccione Unknown como sistema de coordenadas. Use un tamaño de pixel 20 m.
Ingrese las siguientes coordenadas:
 $x_{\min} = 1170800$ $y_{\min} = 1049100$
 $x_{\max} = 1177750$ $y_{\max} = 1054000$
- Click OK.

Es necesario reclasificar el mapa geomorfológico en dos clases, las cuales indican la susceptibilidad del terreno a deslizamientos de tipo I o II. La descripción de cada unidad se encuentra en la tabla 1. Las unidades caracterizadas por pendientes escarpadas y suelos superficiales son principalmente susceptibles al deslizamiento de tierras del tipo I. Mientras que las pendientes ligeras con suelos profundos son susceptibles a deslizamiento de tierras de tipo II.

Tabla 1: Unidades Geomorfológicas en el área

| U. Geológica | Descripción | Tipo de deslizamiento |
|--------------|---|-----------------------|
| Qp | Lig. inclinado (<15°) espesor >10 m depósitos piroclásticos | 2 |
| Qa | Depósitos aluviales recientes | Sin deslizamientos |
| Qt | Aluvial y fluvial reciente-terrazas volcánicas | 2 |
| Qc | Depósitos coluviales relacionado a una actividad de fallas | 2 |
| Qb | Pendiente escarpada en intrusivas basáltica | 1 |
| Tcb | Pendiente escarpada aluvial y depósitos fluvio-volcánicos | 1 |
| Tmz | Pendiente escarpada en conglomerados y depósitos piroclásticos | 1 |
| Kq | Pendiente escarpada en rocas sedimentarias con espesor <5 m cubiertas con depósitos piroclásticos | 1 |
| Ki | Pendiente escarpada en gabros intrusivos | 1 |

Esta tabla tiene que ser creada en el SIG y posteriormente unida al mapa geológico.

☞

- Cree la tabla `Suscept` con dominio `Geomani`. Adicione la columna `Destipo` y cree un dominio tipo `Class` con lo siguientes valores:

| Cod. | Nombre |
|------|-------------------|
| 0 | Sin deslizamiento |
| 1 | Tipo I |
| 2 | Tipo II |
- Ingrese los valores de la columna “Tipo de deslizamiento” de la tabla 1 en la columna `Destipo`. Luego cierre la tabla.
- Una la tabla `Suscept` al mapa geológico `Geomani`.
- Haga un mapa de atributos (`Suscept`) a partir del mapa `Geomani`. Use el atributo `Destipo` de la tabla `Suscept`.
- Despliegue el mapa `Suscept` y reviselo utilizando `PixellInfo` para ver si la reclasificación se ha ejecutado correctamente.

5 Preparar y clasificar el mapa de Intensidad Arias

El primer paso para preparar el mapa de Intensidad Arias es la rasterización del mapa con el epicentro al Norte de Manizales.

☞

- Presione el botón derecho del ratón sobre el mapa `Epicentr` y seleccione `Rasterize, Point to Raster`.
Use un tamaño de pixel de 20 m.
- De al mapa raster el mismo nombre del mapa de puntos. Use un tamaño de punto de 1 y cree una georeferencia llamada `Epicentr`. Use las siguientes coordenadas:

| | |
|----------------------|----------------------|
| $x_{\min} = 1170800$ | $y_{\min} = 1049100$ |
| $x_{\max} = 1177750$ | $y_{\max} = 1065200$ |

Como segundo paso la distancia al epicentro debe ser calculada para cada pixel.



- Presione el botón derecho del ratón sobre el mapa raster `Epicentr` y seleccione desde el menú `Raster operations, Distance`.
- Cree un mapa de distancias con el nombre `Dist`, use el dominio `Distance`. No use un mapa de ponderación y no haga un mapa Thiessen.

El mapa `Dist` es mucho más grande que el mapa `Geomani`. Por lo tanto, un sub mapa tiene que ser creado a partir del anterior.



- Presione el botón derecho sobre el mapa `Dist` y seleccione la función `Sub map`, cree el mapa `Epidist` con las siguientes dimensiones:
Primera línea: 561, Primera columna: 1
Número de líneas: 246, Número de columnas: 349
- Rompa la dependencia del mapa `Epidist` y cambie la georeferencia a `Geomani`.

Finalmente la ley de atenuación tiene que ser aplicada para obtener la distribución espacial de la Intensidad Arias para un terremoto con magnitud 6.3. Para la elaboración del mapa de Intensidad Arias utilice los siguientes datos.

Magnitud del momento = 6.3
Profundidad Focal del terremoto (km.) = 10 km.
Distancia al epicentro (km.) = mapa `Epidistk`
Probabilidad de excedencia = 0.5

Antes de aplicar la ley de atenuación al mapa, se tienen que convertir los datos de metros a kilómetros.



- Escriba en la línea de comando lo siguiente:
`Epidistk=Epidist/1000`↵
La precisión es 0.01 y el rango 9 - 17.
- Cree un mapa `Logia` escribiendo la formula:
`Logia=-4.1+6.3-2*log(hyp(Epidistk,10))-0.25`↵
La precisión es 0.001 y el rango -0.7 - -0.2
- Escriba lo siguiente en la línea de comando para calcular el mapa de Intensidad Arias:
`Ia=pow(10,Logia)`↵
La precisión es 0.001 y el rango 0 - 1.
- Despliegue el mapa `Ia` y revise si los valores varían aproximadamente de 0.4 en la parte Norte del área (cerca del epicentro) a 0.25 en la parte Sur.

Es necesario clasificar el mapa de Intensidad Arias en las siguientes tres clases según el tipo de deslizamiento de tierras que puede provocar:

Tabla 2: Tipos de deslizamientos de acuerdo a la Intensidad Arias

| Clase | Intensidad Arias | Tipo de deslizamiento |
|-------|------------------|-----------------------|
| 1 | <0.11 m/s | No deslizamiento |
| 2 | 0.11 - 0.32 m/s | Tipo I |
| 3 | > 0.32 m/s | Tipo I y II |

☞

- Cree el dominio `Iaclase`; seleccione **Class** y **Group**. Adicione los siguientes ítems:

| Límite superior | Clase |
|-----------------|-------|
| 0.11 | 1 |
| 0.32 | 2 |
| 1 | 3 |

☞

- Haga el mapa de reclasificación , utilizando el dominio recientemente creado, llame al mapa de salida: `Iaclase=clfy (Ia, Iaclase)` ↵
- Despliegue el mapa `Iaclase` y revise los resultados para ver si la clasificación fue ejecutada correctamente.

6 Preparando un mapa de peligro de deslizamiento sísmico

Los mapas de: susceptibilidad de deslizamiento sísmico de tierras y el mapa clasificado de Intensidad Arias, deben ser combinados para crear un mapa que muestre las zonas que pueden ser afectadas por deslizamiento de tierras de tipo I y II, durante un terremoto con magnitud de 6.3 al Norte de Manizales. El mapa final tendrá las siguientes tres clases:

- Clase 1: Sin peligro de deslizamiento
 Clase 2: Peligro de deslizamiento del tipo I
 Clase 3: Peligro de deslizamiento del tipo II

Las clases son obtenidas por las combinaciones de clases del mapa de susceptibilidad de deslizamiento de tierras sísmicas `Suscept` y el mapa clasificado de Intensidad Arias `Iaclase`.

Tabla 3: Posibles combinaciones de susceptibilidad de deslizamientos sísmicos y la clasificación de Intensidades Arias

| | | Mapa de Intensidad Arias | | |
|--|---------|--------------------------|---------|---------|
| | | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 |
| Deslizamiento Sísmico Mapa de susceptibilidad | Class 0 | 1 | 1 | 1 |
| | Class 1 | 1 | 2 | 2 |
| | Class 2 | 1 | 1 | 3 |

En ILWIS los dos mapas pueden ser combinados de diferentes formas. En este ejemplo se usa una tabla de cruce.

☞

- Cruce los mapas `Suscept` (primer mapa) y `Iaclase` (segundo mapa).
- Crear una tabla de cruce con el nombre `Crucetab` y un mapa de salida con el nombre de `Crucemap`.

- Abra la tabla de cruce `Crucetab` y adicione una columna con el nombre `Final`; cree un dominio clase `Final`, que lleve la siguiente información:

| <u>Código</u> | <u>Clase</u> |
|---------------|---------------------------------------|
| 1 | Sin peligro |
| 2 | Peligro por deslizamiento del tipo I |
| 3 | Peligro por deslizamiento del tipo II |

Llene la columna `Final` de acuerdo a la tabla de reclasificación dada anteriormente y luego salga de la tabla.

- Cree el mapa de atributos `Final`.
- Despliegue el mapa `Final` y verifique los resultados (`Pixel Info`).

El mapa final debe mostrar las siguientes zonas:

1. Zonas donde no hay peligro de deslizamiento de tierras, porque los terrenos no son susceptibles a deslizamientos ó porque la Intensidad Arias no es suficientemente grande como para provocar deslizamiento de tierras.
2. Zonas con peligro de deslizamiento del tipo I.
3. Zonas con peligro de deslizamiento del tipo II.

Este sencillo mapa de peligro para deslizamientos de tierras provocados por terremotos, puede servir como un mapa base, para un estudio más detallado, en el cuál mapas adicionales, tales como, un mapa de pendientes, un mapa hidrogeológico y un mapa de depósitos superficiales pueden ser usados. Para crear un mapa de riesgos también se deben incluir datos acerca de la infraestructura, construcciones y la actividad económica de la región.

Referencias

- Harp, E.L. and R.C. Wilson. (1995). Shaking intensity thresholds for rock falls and slides: Evidence from the 1987 Whittier Narrows and Superstition Hills earthquake strong motion records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85 (6): 1739-1757.
- Keefer, D.K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95: 406-421.
- Valencia, C.E. (1988). *Geotectónica regional del antiguo Caldas con énfasis en la aplicación a la ingeniería sísmica*. Unpublished Msc. Thesis, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 54 pp.
- Wilson, R.C. and Keefer, D.K. (1985). Predicting aerial limits of earthquake-induced landsliding. In, J.I. Ziony (ed.), *Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region - An Earth-Science perspective*, USGS Professional paper 1360, pp. 316-345.