

## 2

## GUIA METODOLOGICA PARA EL USO DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA -ILWIS-, EN LA GENERACION DE MAPAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS DE MASA E INUNDACIONES A TRAVES DE UN MODELO CUALITATIVO

### 2.1. Información general

La creciente demanda por la eficiente captura y despliegue de información espacial voluminosa ha conducido en los años recientes, al uso de computadores para el manejo de ésta y a la creación de sofisticados sistemas de información.

El uso efectivo de grandes paquetes de información espacial depende de la existencia de un sistema eficiente que pueda transformar estos datos en información utilizable.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) renuevan el procedimiento para la captura de información espacial y los procesos analíticos. Ellos son usados para asistir la toma de decisiones, indicando varias alternativas en planes de desarrollo y conservación, modelamiento espacial del mundo real, que permita determinar las potencialidades de éste.

El conocimiento básico de la localización, cantidad y disponibilidad de los recursos naturales es por lo tanto indispensable para una planeación más racional.

#### 2.1.1 Antecedentes del uso de los SIG para análisis de amenaza

Una gran cantidad de investigaciones se han llevado a cabo sobre análisis de ame-

naza, durante los últimos 30 años, considerando la demanda urgente de mapas de amenaza de estabilidad de taludes. Inicialmente las investigaciones fueron principalmente orientadas a la solución de problemas puntuales y al desarrollo de modelos determinísticos.

La gran variabilidad de la información geotécnica, tal como la cohesión, el ángulo de fricción interna, el espesor de capas o la profundidad del nivel freático en una escala regional en comparación a la homogeneidad requerida en los modelos determinísticos, y lo costoso y demorado de la investigación hacen el método ingenieril inapropiado para ser aplicado con una aceptable relación de costo/beneficio sobre grandes áreas en las fases de planeamiento y toma de decisiones de proyectos ingenieriles.

Para resolver este problema los científicos de las ciencias de la Tierra se involucraron en el modelamiento de la variabilidad espacial de los factores causantes de inestabilidad de taludes y así un método geomorfológico para la evaluación de los deslizamientos fue desarrollado. El primer intento fue basado en el análisis de la relación de la falla de taludes y las geoformas, obtenido a través de un levantamiento geológico-geomorfológico de deslizamientos, seguido de una extrapolación para un área más amplia con unas condiciones de terreno similares (Brunsdén et al 1975; Carrara and Merenda, 1974; Malgot and Mahir, 1979; Rupke et al, 1987).

Apuntando a un más alto grado de objetividad y a una mejor zonificación de la amenaza, que es muy importante por razones legales, algunos autores asignaron factores de peso a los parámetros controladores, y otros definieron los niveles de amenaza a través de un análisis multivariado de grandes paquetes de datos obtenidos durante el levantamiento de la información geomorfológica. La aplicabilidad de las técnicas para la evaluación de la amenaza ha sacado bastante provecho del desarrollo de los SIG.

Los primeros Sistemas Raster fueron usados al final de la década de los 70. Newman et al (1978) presentó un método para la creación de un mapa de susceptibilidad de amenaza, combinando un mapa de ocurrencia de deslizamientos con un mapa litológico y un mapa de pendientes.

Un método mucho más elaborado usando chequeo de campo y análisis multivariado fue presentado por Carrara et al (1978, 1982). Una gran cantidad de parámetros morfométricos para el análisis de amenaza pueden ser levantados automáticamente desde un modelo de Elevación Digital (DEM) (Carrara, 1988, 1990).

La importancia de la información geomorfológica como insumo es recalada en los métodos usados por Kienholz et al (1989) quien usa un SIG comercial en un análisis cualitativo de amenaza en zona montañosa. La fotointerpretación detallada es usada como base.

Los autores establecen que debido a la carencia de modelos adecuados e información geotécnica preliminar, el uso de un modelo relativamente simple basado en geomorfología parece ser el método más adecuado. Otras aplicaciones para amenaza por deslizamientos fueron presentados por Stakenborg (1986), Wadge (1988) y Wagner et al (1988).

Antes de comenzar cualquier clase de colección de información en un proyecto de cartografía de amenazas naturales, es necesario tener claro el objeto del proyecto, el grado de precisión requerido, cuáles son las fuentes de información disponible y cual es la escala de trabajo.

El uso de un SIG requiere una metodología diferente de captura de información. Para el uso de un SIG, los mapas deben ser de tipo espacial, con diferente información guardada en diferentes capas. Una gran cantidad de detalles que se acostumbra presentar en los mapas convencionales con toda clase de símbolos, deberían ahora ser tratados como atributos cuantitativos y almacenados en una base de datos.

Las unidades cartografiadas de mapas elaborados en un SIG, pueden ser puntos, líneas, polígonos o matrices (con un valor individual por pixel). La cantidad de mapas temáticos que puedan ser colectados, determina el tipo de análisis de amenaza que pueda ser usado, desde un análisis cualitativo con poca información, hasta métodos estadísticos complejos, los cuales pueden involucrar hasta 100 variables.

### **2.1.2. Tipos de análisis para la elaboración de mapas de amenaza utilizando un SIG**

#### **A. Modelos Determinísticos:**

Es un método indirecto en el cual el SIG es usado para generar mapas temáticos y seleccionar información de ellos, la cual es usada en programas de estabilidad de taludes. Los resultados son unidos de nuevo con los mapas temáticos en el SIG.

**B. Técnicas Estadísticas:**

Es un método indirecto en el cual el SIG es usado para capturar un gran número de parámetros en los sitios donde se han presentado deslizamientos y donde los resultados son proyectados sobre el resto del terreno.

**C. Método geomorfológico:***I. Frecuencia de deslizamientos*

Método indirecto en el cual la información sobre sismos y/o lluvias o modelos hidrológicos son usados para correlacionarlos con los deslizamientos ocurridos para obtener la frecuencia de los valores críticos límites.

*II. Distribución de deslizamientos*

~~Cartografía directa~~ de deslizamientos con sus atributos, resultando en un mapa que sólo da información en esos sitios donde han ocurrido deslizamientos en el pasado.

**D. Método Cualitativo**

Es un método directo o semidirecto en el cual el mapa geomorfológico es renumerado a un mapa de amenaza o en el cual varios mapas temáticos son combinados en uno, usando reglas de decisión subjetivas, basadas en la experiencia de los geomorfólogos.

**2.2. Características del SIG ILWIS**

El Integrated Land and Water Information System (ILWIS) es un SIG que integra capacidades de procesamiento de

imágenes, base de datos tabular y características convencionales. La adquisición de información desde imágenes espaciales, es una parte integral del sistema que permite un monitoreo efectivo. Esto es importante en regiones donde la información sea escasa o difícil de conseguir.

Teniendo en cuenta que no todos los usuarios de SIG tienen un conocimiento profundo de computadores, todas las operaciones en el software ILWIS son ejecutadas a través de un menú accesible, lo cual permite al usuario concentrarse en las aplicaciones más que en el manejo del sistema.

Un programa de conversión permite la importación de información teledetectada, información tabular, mapas Raster y archivos de vectores en otros formatos. La información análoga puede ser transformada en formato vector por medio de un programa de digitalización amigable para el usuario, del cual la digitalización en pantalla es una de sus propiedades más importantes.

Procedimientos de modelamiento complejos son fácilmente ejecutables por medio del programa Map Calculator. Este programa incluye un lenguaje de modelamiento fácil y la posibilidad de usar funciones matemáticas y macros. Además integra base de datos tabulares y espaciales.

Cálculos, preguntas condicionales y análisis estadísticos simples pueden ser ejecutados por medio del programa Table Calculator. El rápido procedimiento de superposición constituye una de las principales características del sistema.

Las propiedades de procesamiento de imágenes integradas con el modelamiento espacial y la base de datos tabular constituyen una poderosa herramienta.

## 2.3. Familiarización con ILWIS

### 2.3.1. Los menús

La mayoría de los programas están entera o parcialmente manejados a través de un menú. Cada menú es mostrado con su título y un paquete de opciones disponibles en la pantalla monocromática. Las opciones pueden ser seleccionadas resaltándolas con las teclas para mover el cursor o escribiendo la primera letra del nombre de la opción. Los menús que tengan "RETURN" como última opción pueden ser abandonados presionando la tecla "ESC".

### 2.3.2. Las teclas para mover el cursor

En muchos programas de ILWIS, las teclas para mover el cursor son usadas para lo siguiente:

- Mover el cursor en la pantalla monocromática.
- Incrementar o decrecer valores numéricos.
- Las teclas < > < > < > < > tienen las siguientes funciones: Mover en la dirección indicada de a una unidad.
- Las teclas < PgUp >, < PgDn >, Ctrl < > y Ctrl < >, tienen las mismas funciones pero en proporción mayor (normal / 25 unidades). Ctrl < PgUp >, Ctrl < PgDn >, Ctrl < Home > y Ctrl < End >, tienen un tamaño mucho más grande (normalmente 100 unidades).
- En algunos casos la tecla Home coloca el cursor en el centro.

- La tecla < Enter > confirma.
- La tecla < Esc > puede a menudo ser usada para interrumpir un programa.
- La presión simultánea de la tecla Ctrl y la tecla C (Ctrl-C) puede ser usada también para interrumpir un programa. Pero hay que tener en cuenta que al parar un programa de esta manera se puede tener pérdida de datos.

### 2.3.3. Valores por defecto (Default)

El usuario a menudo debe ingresar nombres y valores. Los siguientes son ejemplos de textos que pueden aparecer en la pantalla monocromática.

Enter input file name: [band1]

Significado:

(Entre el nombre del archivo fuente)

Enter number of bandas: [3]

Significado:

(Entre el número de bandas)

El nombre o valor entre corchetes, [band1], es el valor por defecto. El valor por defecto puede ser aceptado presionando < Enter >. Este valor puede ser cambiado escribiendo otro y luego presionando < Enter >.

### 2.3.4. Nombres de archivos

Si un archivo de entrada (Input) o de salida (Output) tiene que ser especificado, se debe considerar lo siguiente:

- El nombre del archivo debe estar conformado de acuerdo a las especificaciones del D.O.S.

- La extensión del archivo sólo es necesario en algunos tipos de tablas.
- Una lista de nombres de archivos puede ser obtenida escribiendo un signo de interrogación (?) y presionando <Enter>. Los archivos en el directorio en uso del ILWIS.

Para listar archivos en otro directorio, el nombre de directorio debe preceder el signo de interrogación.

Por ejemplo: D:\Project\? - <Enter>  
Listará los archivos en el directorio Project en el Disco D.

### 2.3.5. Mapas vectores

Hay dos tipos de mapas vectores: mapas de segmentos y mapas de polígonos. Los mapas de segmentos consisten de tres archivos (Extensión .SEG, .CRD y .SLG). Ellos deben estar presentes si un archivo de segmentos va a ser manipulado. Los mapas de polígonos consisten de seis archivos: los tres correspondientes al mapa de segmentos y los tres archivos con extensión .Top, .Pol y .PLG. Todos estos seis archivos deben estar presentes si un mapa de polígonos es requerido como fuente.

Los segmentos en un mapa vector tienen un código de identificación. Una lista de estos códigos, separados por punto y coma (,) es llamada mascarilla. Una mascarilla puede ser usada para seleccionar un subpaquete de segmentos desde un mapa vector.

El Asterisco (\*) significa todos los segmentos.

### 2.3.6. Mapas Raster

Un Mapa Raster consiste de dos archivos: uno con la extensión .MPD (que contiene la información pixel por pixel) y uno con la extensión .MP1 (conteniendo la información básica del mapa). Estos dos archivos deben estar presentes cuando se requiera un Mapa Raster como fuente.

### 2.3.7. Ventanas en pantalla

Un tipo especial de mapa es el mapa en pantalla que se refiere a una ventana. La ventana es indicada mediante el símbolo \$ y su respectivo nombre; por ejemplo: \$1, \$map1. Por definición "\$" representa la pantalla en color entera.

Todas las otras ventanas en pantalla pueden ser definidas por el usuario. El tamaño de una ventana en pantalla es definido por su número de líneas y columnas. Su posición es definida por la primera línea y primera columna. El tamaño máximo de una ventana (definida por \$) depende de la tarjeta controladora de video y/o el modo escogido en la configuración del sistema. Las líneas son contadas de arriba hacia abajo; la línea 1 es la línea de más arriba de la pantalla. Las columnas son contadas de izquierda a derecha. Varias ventanas pueden ser definidas simultáneamente.

Su definición es adicionado a una lista de ventanas, la cual puede ser vista escribiendo \$? cuando un mapa de entrada o de salida es solicitado.

En un mapa representado en una ventana, los valores de pixel de la pantalla representan los valores del mapa, por lo tanto las ventanas son mapas byte (uno de los tres tipos de mapas Raster).

## **2.4. Generación de la base de datos espacial**

Para la generación de la base de datos espacial es necesario tener en cuenta tres componentes:

- Posición geográfica,
- Atributos o propiedad y
- Tiempo o dinámica

En otras palabras, ¿dónde es?, ¿qué es? y ¿cuándo existió? Para el establecimiento de la base de datos espacial requerida en el Proyecto Col 88/010 se ha implementado el uso del SIG ILWIS de la siguiente manera.

### **2.4.1. Digitalización de la información**

Se ha utilizado información análoga (copias maestras y heliográficas) en escalas diversas, espacialmente 1:10.000 y 1:2.000. La información básica requerida para la obtención de mapas de amenaza por movimientos en masa e inundaciones para una cuenca hidrográfica es:

- Mapa topográfico escala 1:10.000 y escala 1:2.000
- Mapa geomorfológico, escala 1:10.000
- Mapa de formaciones geológicas superficiales escala 1:10.000
- Mapa de isoyetas escala 1:10.000
- Mapa de procesos erosivos escala 1:10.000
- Mapa de pendientes (generado a través del programa, ver explicación más adelante).

- Mapa con la división político-administrativa de cada cuenca hidrográfica.

Esta información digitalizada es guardada en forma digital en uno de los tipos básicos de modelamiento espacial, el modelamiento vector.

El proceso de digitalización es ampliamente descrito con el informe de la consultora Nora Hincapié.

### **2.4.2. Modelamiento Raster**

El SIG ILWIS utiliza el modelamiento Raster para la mayoría de análisis, por lo tanto una vez se cuente con la información básica digitalizada se debe pasar ésta al Modelo Raster.

¿Cómo se logra el paso del modelo vector al Modelo Raster?

Dentro del menú del modelo vector existe un comando denominado "Rasterize", al seleccionar este comando (presionando la tecla Enter) se abre otro menú denominado "Vector to Raster module" en el cual se encuentran tres alternativas:

- a. Segment to Raster: esta opción es utilizada cuando tiene un mapa de segmentos para ser convertido a estructura Raster.
- b. Polygon to Raster: esta se utiliza cuando se tiene un mapa de polígonos para ser convertido a estructura Raster.
- c. Points to Raster: la selección de esta opción requiere de la existencia de un archivo que contenga la localización de puntos con respectiva descripción.

Para la generación de la base de datos en cuestión, todos los mapas digitalizados a excepción de la base topográfica pueden generar polígonos, por tal razón la alternativa (Polygon to Raster) es la más usada. Cuando se selecciona esta opción, el nombre del mapa de polígonos a ser convertido es preguntado:

"Enter polygon map name:"

Después de entrado el nombre del mapa, hay una pregunta que es fundamental en el proceso de convertir a Raster:

¿"Use polygons instead of mapping units? (y,n) [n]", que significa: ¿"Usar polígonos en vez de unidades cartográficas ? (si, no) [no]

Si se contesta "si" [y], los polígonos son tratados como elementos únicos. El valor de los píxeles del mapa Raster que se creará es designado en orden alfabético de acuerdo al nombre de los polígonos.

Si se responde "no" [n], los polígonos son tratados como unidades cartográficas. El valor de los píxeles del mapa Raster que se creará es asignado en orden alfabético de acuerdo al nombre de las unidades cartográficas.

Para reforzar el criterio de la respuesta a la pregunta anterior, es importante aclarar que cuando en un mapa de polígonos se tiene más de un polígono con el mismo nombre, la conversión de éste al Modelo Raster se debe hacer contestando "no" a esta pregunta, lo que significa usar unidades cartográficas.

Luego de definir si se trabaja en polígonos o en unidades cartográficas, se debe resolver la pregunta "create attribute map (y,n) [n], que significa ¿"Crear mapa de atributos?", para utilizar la base de datos en cuestión dentro del modelo cualitativo que se plantea, se debe contestar "no" en

todos los casos excepto cuando se va a convertir al Modelo Raster el mapa de segmentos de las curvas de nivel.

Después de esto se establece el nombre del mapa que se va a generar, esto se hace cuando el computador dice: "Enter output Raster map name" que significa "Entre el nombre del mapa Raster que se va a generar. Una vez definido el nombre del mapa Raster se plantea otra pregunta de importancia ¿"Copy transformation coordinates from existing map? (y,n) [y]" que significa ¿copiar coordenadas de transformación de un mapa existente?

Si se responde si [y] los polígonos son pasados a Raster con la misma georeferencia del mapa existente, el nombre del mapa que servirá de base es preguntado. Si se contesta "no", las coordenadas de las esquinas del mapa y el tamaño del píxel son preguntados. Con esto se finaliza el proceso y se obtiene el mapa deseado en la estructura Raster.

#### 2.4.3. Generación de un mapa de pendientes desde el mapa de segmentos de curvas de nivel a través del ILWIS

Después de tener las curvas de nivel digitalizadas es necesario pasar este mapa de segmentos a la estructura Raster. Para hacer esto se realiza el procedimiento descrito en el numeral 2, pero se selecciona la opción "segment to Raster", se crea el mapa de atributos y se entran los valores manualmente. El resto del procedimiento es el mismo del numeral 2.

Una vez se tenga el mapa en la estructura Raster, el usuario debe ubicarse en el módulo Raster del menú principal, luego en la opción "Spatial modelling", y dentro de éste, seleccionar el módulo de interpolación con la opción "Interpolation", dentro de éste módulo hay tres posibilidades:

From isolines (desde curvas de nivel),  
From points (desde puntos), From Raster  
(desde Raster).

Para el caso que nos compete se debe seleccionar "From isolines". El programa pregunta el nombre del mapa de las isolíneas (Enter input map name) y el nombre del mapa que se va a generar (Enter output map name). El resultado de este proceso es un DTM (Digital Terrain Model) que es la base para la generación del mapa de pendientes.

Continuando con la generación del mapa de pendientes, se deben utilizar los siguientes filtros:

DHx    -1 0 1    Gain = 1 offset = 0  
         -2 0 2  
         -1 0 1

DHy    -1 -2 -1    Gain = 1 offset = 0  
         0 0 0  
         1 2 1

Estos filtros se aplican al mapa generado con la interpolación (DTM) a través del módulo de modelamiento espacial "Spatial modelling" con el comando "filter" (filtro).

Al aplicarse estos filtros, con cada uno de ellos se genera un nuevo mapa que son utilizados en la siguiente fórmula para la obtención del mapa de pendientes en porcentaje:

$$\text{Pendiente} = \frac{100 * \sqrt{((dhx)^2 + (dhy)^2)}}{z}$$

donde:

dhx = Mapa resultado después de aplicar el filtro dhx  
z = 8 \* (tamaño de pixel)  
sqrt = Raíz cuadrada

dhx = Mapa resultado después de aplicar el filtro dhx

Esta fórmula se aplica en el módulo Raster, en el módulo del modelamiento espacial (Spatial Modelling) con el comando "Calculation" (Cálculos). Con esta fórmula se obtiene un mapa de pendientes por pixel denominado Pendient.

Este mapa de pendientes debe ser clasificado con una tabla de clasificación, que para este caso en particular será de seis rangos de porcentajes, como sigue:

1	0 - 3%
2	3 - 10%
3	10 - 25%
4	25 - 40%
5	40 - 60%
6	> 60%

Para generar esta tabla se debe ir al menú principal al módulo "Tables", seleccionar "Special Tables" (Tablas especiales). En este módulo de tablas especiales es posible manipular tablas de dos dimensiones (two-dimensional tables) y tablas de clasificación. Para el caso del mapa de pendientes se necesita crear una tabla de clasificación, con los rangos establecidos anteriormente.

Para lograr el mapa de pendientes clasificado por rangos se debe ir dentro del módulo de análisis Raster al módulo de modelamiento espacial, específicamente al cálculo de mapas "Map Calculation (Map Calc).

Dentro de este programa se aplica la fórmula:

$$\text{Slopecl} = \text{clfy} \text{ (nombre del mapa de pendiente por pixel, nombre de la tabla de clasificación)}$$

Con esta fórmula se obtiene el mapa de pendientes clasificado que se desea.

#### **2.4.4. Creación de las tablas de atributos**

El SIG ILWIS posee un editor de tablas, pero las tablas pueden ser creadas por cualquier editor. Cada uno de los mapas temáticos (factores) debe ir acompañado de una tabla de atributos donde se explica cada una de las variables o rangos que se definieron. Para el caso del modelo cualitativo que se desarrolla la tabla explicativa de cada mapa debe tener una columna que contenga la calificación asignada a cada uno de los rangos o variables.

Para la creación de estas tablas se debe utilizar como base el archivo creado en el proceso de paso de la información al módulo Raster con extensión .INF. Este archivo es una tabla que contiene cuatro columnas que son Name (nombre) de la unidad cartográfica, NrPOL (número de polígonos que conforman la unidad cartográfica) y el Perímetro de la Unidad Cartográfica. Con esta tabla base se comienza todas las tablas de los diferentes mapas temáticos, a las cuales se incorporan todas las demás columnas que el usuario desee.

Para la base de datos que se requiere con el fin de generar mapas de amenaza se han adicionado básicamente dos columnas, una para la descripción del rango o variable y otra para el índice de amenaza otorgada por los expertos. Para la adición de estas columnas se utiliza dentro del módulo de tablas el comando "Column Operations" (operaciones con columnas) con el cual se ejecutan las operaciones en las tablas.

### **2.5. Aplicaciones del modelo cualitativo para la obtención de mapas de amenaza y vulnerabilidad**

Para la identificación de los grados de amenaza por movimientos de masa y el análisis de vulnerabilidad a través de un modelo cualitativo, lo prioritario, es la identificación de los factores a interrelacionar, con sus respectivas calificaciones, que varían de 1 a 5 representando el grado de amenaza del factor; y ponderaciones, que asignan la importancia en porcentaje de cada uno de los factores considerados. Una vez conseguido esto, se debe elaborar la base de datos espacial, que consta de una representación cartográfica (mapas temáticos) y una tabla explicativa que contiene la descripción de las unidades homogéneas representadas en los mapas temáticos con sus respectivas calificaciones. Esta base de datos geográfica o espacial, estará conformada por todos los factores previamente definidos.

Con la base de datos espacial plenamente establecida y a través de la función que posee el S.I.G. de cálculo de mapas, se genera una cartografía numérica con base en las calificaciones previamente establecidas por los especialistas en el tema. Lo anterior significa que toda el área de estudio quedará con una calificación para cada uno de los factores involucrados y será por pixel, que es la unidad básica del modelo espacial escogido (Modelo Raster) para la representación del medio físico.

La determinación del grado de amenaza y vulnerabilidad, considerando que estas son una función lineal de los factores involucrados, para cada uno de los pixeles que conforman el área de estudio, estará dada por:

$$\text{Grado de amenaza o vulnerabilidad por pixel : } \sum_{i=1}^n P_i [Q_{fi}]$$

$Q_{fi}$  = Calificación en escala de 1 a 5 del factor  $i$

Esta sumatoria da como resultado una amenaza o vulnerabilidad puntual (por pixel). Teniendo en cuenta que la Administración necesita una información más agregada, para su gestión, se definen unos rangos que permite reclasificar el mapa resultado y así obtener grados de amenaza y vulnerabilidad en términos de muy baja, baja, media, media alta, alta y muy alta.

Donde:

- $n$  = Número de factores
- $P_i$  = Ponderación en porcentaje del factor  $i$ , involucrado en el análisis de amenaza o vulnerabilidad.