

Análisis Estadístico de Riesgo de Deslizamiento

Por:

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 mostrará un método para hacer un mapa de riesgo basado en una ponderación definidas cuantitativamente. Existen muchos métodos para calcular los valores de ponderación. El método usado en esta práctica se llama *método del índice de deslizamiento*. Un valor de ponderación para una clase de parámetro, tal como una cierta unidad litológica o una cierta clase de pendiente, es definido como el logaritmo natural del grado de deslizamiento de la clase dividida por el grado de deslizamiento de todo el mapa.

Iniciando



- Situado en Windows explorer cree un directorio de trabajo en el disco duro
- Extraiga los datos del archivo *Datos analisis estadistico.ZIP* desde el directorio: \Casos de estudios SIG\03 Amenazas por deslizamientos\Análisis estadístico\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 Introducción

Este método está basado en la siguiente fórmula:

$$\ln W_i = \ln \left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{\sum \text{Npix}(S_i)}{\sum \text{Npix}(N_i)}}{\frac{\sum \text{Npix}(S_i)}{\sum \text{Npix}(N_i)}} \right) \quad [1]$$

donde,

W_i = La ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o una clase de pendiente).

Densclas = el grado de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.

Densmap = el grado de pendiente de todo el mapa.

$N_{pix}(S_i)$ = número de píxeles, los cuales contienen los deslizamientos, dentro de una cierta clase de parámetro.

$N_{pix}(N_i)$ = número total de píxeles dentro de una cierta clase de parámetro.

El método está basado en un cruce de un mapa de deslizamiento con un cierto mapa de parámetro. El cruzamiento del mapa resulta de una tabla de cruce, que puede ser usada para calcular el grado de deslizamiento por clase de parámetro. Una estandarización del grado de deslizamiento puede obtenerse relacionando la totalidad de grados presentes en el área. La relación puede estar hecha por división o sustracción. En este ejercicio el grado de deslizamiento por clase esta dividido por el grado de deslizamiento del área total. El logaritmo natural es usado para dar un peso negativo cuando el grado de deslizamiento es más bajo de lo normal, y positivo cuando sea más alto de lo normal. Combinando dos o más mapas ponderados puede ser creado un mapa de riesgo. Los valores del mapa de riesgo se obtienen por una simple adición separada de los valores de ponderación. Una visualización del método se muestra en la figura 1.

2 Visualización de la entrada de datos

En este ejercicio el mapa de riesgo de deslizamiento esta hecho usando solamente dos mapas de parámetro: Geol (geología) y Slope (clases de pendiente clasificado cada 10 grados). Los deslizamientos están almacenados en el mapa Slide y están ligados a una tabla, que contiene la información detallada de cada uno de los deslizamientos. Los mapas son del área de Chinchina, departamento de Caldas en el centro de Colombia.



- Haga doble click al mapa Slide. Click OK en el cuadro de dialogo Display Option del. El mapa es desplegado.
- Muévase a través del mapa y presione el botón izquierdo del mouse para obtener información de las diferentes unidades. Como puede ver cuando usted presiona el botón izquierdo del mouse, las áreas fuera de los deslizamientos están denominadas *no-definidas*, significa que las áreas que no presentan deslizamiento, no tienen información almacenada. Los deslizamientos tienen por sí mismo un código único.
- Mueva el puntero a un punto de deslizamiento y haga doble click en este. Ahora la información desde la tabla conectada al mapa Slide es desplegada.

Bivariate statistical analysis

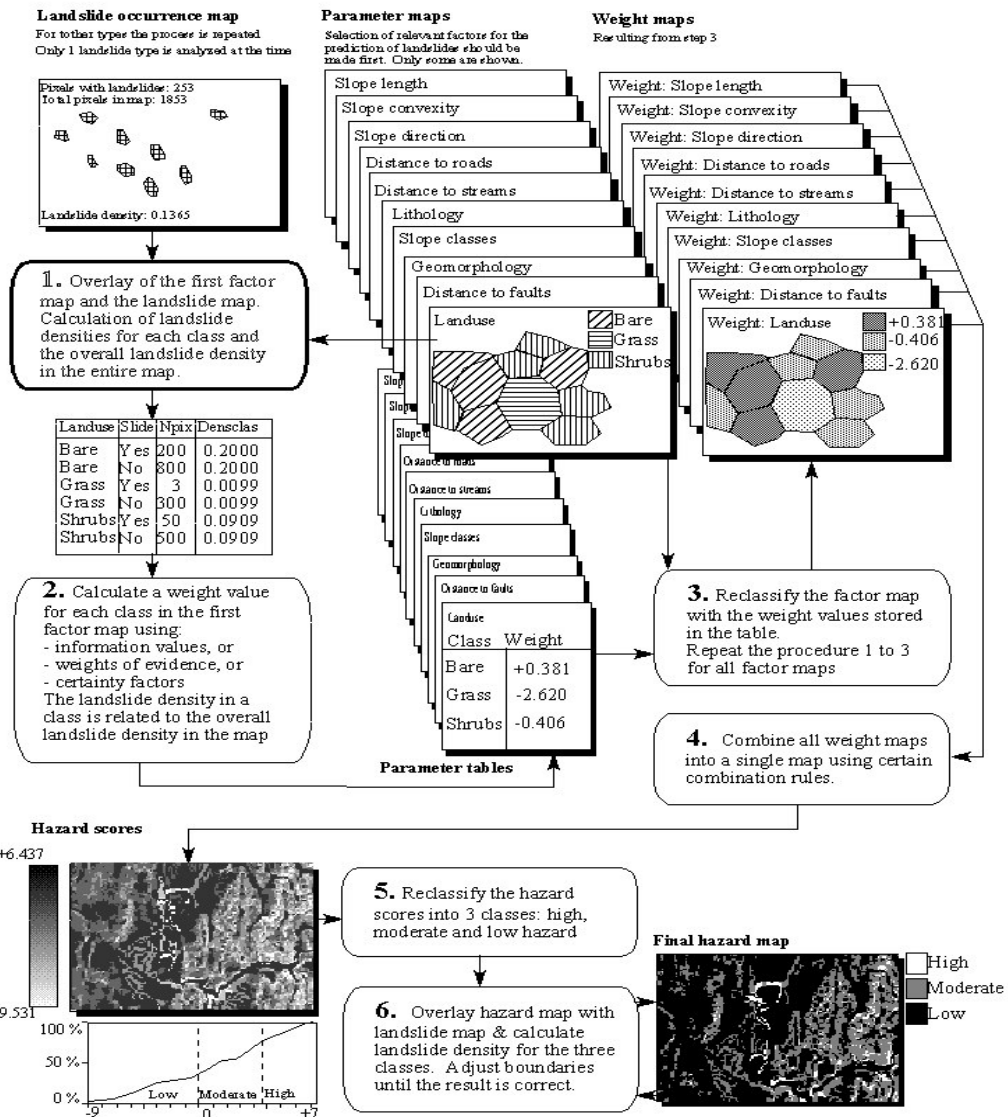


Figura 1: Diagrama de flujo simplificado para el análisis estadístico bivariante. En este ejercicio solamente se usan 2 mapas de entrada.

El mapa Slide tiene denominado un dominio identificador. Esto significa que cada unidad (terreno deslizado) de este mapa tiene un código único.

Cuando usted mueve el puntero a un punto de deslizamiento, verá que los códigos de atributo están compuestos de dos partes: primero el número ID del deslizamiento, seguido por un (-) y después un código de seis dígitos para Tipo, Subtipo, Actividad, Profundidad, Vegetación y Escarpe.

- Haga click en una parte del mapa, la información desde la tabla, de esa unidad, será desplegada. Haga lo mismo en diferentes tipos de unidades. Cierre la ventana de Edit Attribute.
- Abra la ventana de pixel information, arrastre y libere el botón del mouse dentro del mapa Slide. Ahora la información se muestra sin la necesidad del doble click.
- Para ver la tabla que desea, vaya al menú principal de ILWIS y haga en

la tabla *Slide* doble click. Las diferentes columnas son desplegadas. Si usted hace doble click en el nombre de una columna, consigue la información del tipo de columna.

- Cierre la ventana de la tabla.

Las columnas *Tipo*, *Subtipo*, *Actividad*, *Profundidad*, *Vegetación*, *Escarpe* están denominadas en el dominio *clase*, en donde cada unidad tiene un nombre definido en el dominio del archivo. Los diferentes ítems del dominio de las columnas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Lista de los ítems del dominio para las características del movimiento de masa

	Tipo	Subtipo	Actividad	Profundidad	Vegetacion	Escarpe
0	Desconocida	Desconocida	Desconocida	Desconocida	Desconocida	Desconocida
1	Deslizamiento	Rotacional	Estable	Superficial	Suelo desnudo	Escarpe
2	Flujo de deslizamiento	Translacional	Latente	Profunda	Pastizales y arbustos	Cuerpo
3	Flujo	Complejo	Activa		Arboles	
4	Derrumbe					
5	Reptación					



- Abra el dominio *Activity* haciendo doble click sobre él. Como usted puede ver cada clase tiene un código, que corresponde a los valores de la columna izquierda de la tabla 1. Cada dominio clase también contiene una representación, donde los colores para cada clase están definidos.
- Abra la representación *Activity* y haga un chequeo al contenido. Después cierre la representación y el dominio.

Usted también puede desplegar el mapa *Slide* con un atributo de su tabla.



- Active el mapa de deslizamiento *Slide*, haciendo click en la parte visible del mapa, o seleccionando el ícono en la parte superior izquierda de la ventana, y luego *switch to...*
- Presione el botón derecho del mouse mientras esta dentro del mapa, y seleccione: 1.map *Slide*. En el cuadro de dialogo *Display Options* presione *Attribute* y seleccione la columna *Activity*. Presione *OK*. Ahora el mapa es red desplegado, con los colores de la representación *Activity*. Si usted hace click en un deslizamiento la información de la actividad es desplegada.
- Trate de hacer lo mismo con alguna otra columna (*Tipo*, *Subtipo*, *Actividad*, *Profundidad*, *Vegetación* y *Escarpe*).
- Cierre el mapa

Además del mapa de deslizamientos usted también tiene dos mapas parámetro: *Geol* (unidades geológicas) y *Slope* (clases de pendiente). Ambos mapas tienen dominio *clase*.



- Abra el mapa : Geol y consulte la información desde el mapa y la tabla acompañante.
- Adicione el mapa : Geol y Slope en la ventana de pixel information. Cuando usted se mueve a través del mapa puede leer simultáneamente la información de los tres mapas y sus tablas.
- También abra el mapa Slope y mire su contenido.
- Cierre la ventana del mapa y del pixel information.

Tan solo usted ha observado el contenido del mapa. Ahora puede iniciar el análisis real.

3 Creando un mapa de distribución del deslizamiento

Previamente despliegue las actividades del mapa de deslizamiento del área de estudio. Sin embargo, usted realmente no ha elaborado un nuevo mapa mostrando dichas actividades. Para ello, renombre el mapa Slide con el atributo Activity.



- Seleccione los siguientes ítems desde el menú principal del ILWIS: Operations, Raster operations, Attribute.
- Seleccione el mapa raster: Slide
- Seleccione el atributo: Activity.
- Escriba el nombre del mapa de salida: Activit.
- Presione Show y OK. Después del cálculo usted verá el cuadro de dialogo Display Options. Presione OK.
- Desplace el mouse a través del mapa, y consulte los valores. Las áreas fuera de las de deslizamiento están todavía no-definidas, porque el mapa Slide también tienen valores no-definidos en estas áreas. En el análisis usted no quiere tener valores no-definidos, para así, calcular el grado de actividad de deslizamiento en cada una de las unidades geológicas y de clase de pendiente.
- Para remover los valores no-definidos del mapa Activit escriba la siguiente fórmula en la línea de comando:

```
Activity=iff(isundef(Activit),"desconocido",  
Activit)↓
```

Esto significa: si hay un valor no-definido en el mapa Activit, reemplace esto por el nombre "desconocido", de lo contrario mantenga el nombre del mapa Activit.



- Despliegue el mapa Activity y lea sus valores. Ahora usted tiene las clases Activa, Latente, Estable, y Desconocido

4 Cruzamiento de los mapas parámetro con el mapa de deslizamiento

El mapa de ocurrencia de deslizamiento, mostrando solamente la actividad del deslizamiento (*Activity*) puede ser cruzado con los mapas de parámetro. En este caso los dos mapas *Slope* y *Geol* están seleccionados como ejemplo. Por supuesto en aplicaciones reales muchos más mapas de parámetro deberían ser evaluados. El primer mapa de cruzamiento entre el mapa de ocurrencia y los dos mapas parámetro tiene que ser llevada a cabo.



- Seleccione desde el menú principal de ILWIS las opciones: *Operations*, *Raster operations*, *Cross*.
- Seleccione el mapa *Slope* como el primer mapa, el mapa *Activity* como el segundo, y llame la tabla de salida *Actslope*. Haga Click en *Show* y *OK*. Ahora el cruzamiento de los dos mapas se efectúa.
- Revise el resultado de la tabla de cruce. Usted puede ver el contenido de la tabla, las combinaciones de las clases del mapa *Slope* y los tipos del mapa *Activity*.
- Repita el procedimiento para el cruzamiento de los mapas *Geol* y *Activity*. Denomine la tabla de salida: *Actgeol*.

Ahora la cantidad de pixeles con diferentes actividades de deslizamiento en cada clase de pendiente y en cada unidad geológica ha sido calculada, entonces el grado de deslizamiento puede ser calculado.

5 Calculando el grado de deslizamiento

Después del cruzamiento de los mapas, el próximo paso es calcular el grado de deslizamiento solamente para la actividad de deslizamiento.

La tabla de cruce está dada abajo (tabla 2). Esta incluye las columnas que serán calculadas en este ejercicio. Cada uno de los pasos del cálculo están indicados abajo.

Tabla 2: Latabla de cruce, resultado de la combinación de los mapas Slope y Activity. El resultado de las columnas de los diferentes pasos de este ejercicio también se muestran.

Pendiente	Actividad	npix	Paso 1 npixact	Paso 2 npslopot	Paso 3 npslopact	Paso 4 npmaptot	Paso 5 npmapact	Paso 6 densclas	Paso 7 densmap
0 - 10 grados	Desconocida	160964	0	168691	1659	437019	6887	0.009728	0.0158
0 - 10 grados	Estable	4006	0	168691	1659	437019	6887	0.009728	0.0158
0 - 10 grados	Latente	2062	0	168691	1659	437019	6887	0.009728	0.0158
0 - 10 grados	Activa	1659	1659	168691	1659	437019	6887	0.009728	0.0158
10 - 20 grados	Desconocida	104195	0	110363	1283	437019	6887	0.011489	0.0158
10 - 20 grados	Estable	2524	0	110363	1283	437019	6887	0.011489	0.0158
10 - 20 grados	Latente	2361	0	110363	1283	437019	6887	0.011489	0.0158
10 - 20 grados	Activa	1283	1283	110363	1283	437019	6887	0.011489	0.0158
20 - 30 grados	Desconocida	84406	0	90429	2028	437019	6887	0.021730	0.0158
20 - 30 grados	Estable	1242	0	90429	2028	437019	6887	0.021730	0.0158
20 - 30 grados	Latente	2753	0	90429	2028	437019	6887	0.021730	0.0158
20 - 30 grados	Activa	2028	2028	90429	2028	437019	6887	0.021730	0.0158
30 - 40 grados	Desconocida	41490	0	44987	1320	437019	6887	0.029875	0.0158
30 - 40 grados	Estable	1030	0	44987	1320	437019	6887	0.029875	0.0158
30 - 40 grados	Latente	1147	0	44987	1320	437019	6887	0.029875	0.0158
30 - 40 grados	Activa	1320	1320	44987	1320	437019	6887	0.029875	0.0158
40 - 50 grados	Desconocida	15085	0	16122	407	437019	6887	0.025245	0.0158
40 - 50 grados	Estable	252	0	16122	407	437019	6887	0.025245	0.0158
40 - 50 grados	Latente	378	0	16122	407	437019	6887	0.025245	0.0158
40 - 50 grados	Activa	407	407	16122	407	437019	6887	0.025245	0.0158
50 - 60 grados	Desconocida	3791	0	4424	172	437019	6887	0.038879	0.0158
50 - 60 grados	Estable	336	0	4424	172	437019	6887	0.038879	0.0158
50 - 60 grados	Latente	125	0	4424	172	437019	6887	0.038879	0.0158
50 - 60 grados	Activa	172	172	4424	172	437019	6887	0.038879	0.0158
60 - 70 grados	Desconocida	832	0	857	18	437019	6887	0.021004	0.0158
60 - 70 grados	Latente	7	0	857	18	437019	6887	0.021004	0.0158
60 - 70 grados	Activa	18	18	857	18	437019	6887	0.021004	0.0158
70 - 80 grados	Desconocida	593	0	594	0	437019	6887	0.000000	0.0158
70 - 80 grados	Latente	1	0	594	0	437019	6887	0.000000	0.0158
80 - 90 grados	Desconocida	552	0	552	0	437019	6887	0.000000	0.0158



- Este seguro que la tabla de cruce `Actslope` este activa.

Paso 1: Cree una columna en la cual solamente la actividad de deslizamiento esté indicada por la siguiente fórmula, escriba en la línea de comando de la tabla:

```
Npixact=iff(Activity="Activa",npix,0) ↵
```

Haga esto con el fin de calcular para cada una de las clases de pendiente el número de pixeles donde se presenta solamente deslizamiento activo.

- **Paso 2:** Calcule el número total de pixeles de cada clase de pendiente. Seleccione desde el menú `table: Columnas, Aggregation`. Seleccione la columna `Npix`. Seleccione la función `Sum`. Seleccione `group by` columna `Slope`. Desmarque `Output Table`, y entre la columna de salida `Npsloptot`. Presione `OK`. Seleccione la precisión de `1.0`.
- **Paso 3:** Calcule el número de pixeles con deslizamiento activo en cada clase de pendiente. De nuevo seleccione desde el menú `table Columna, Aggregation`. Seleccione la columna: `Npixact`, Seleccione la función `Sum`, Seleccione `Group by` columna `Slope`. Desmarque el cuadro `Output Table`, y entre la columna de salida: `Npslopeact`. Presione `OK`. Seleccione una precisión de `1.0`.
- **Paso 4:** Calcule el número total de pixeles del mapa. Seleccione de nuevo del menú `table: Columnas, Aggregation`. Seleccione la columna: `Npix`. Seleccione la función `Sum`. Desmarque `group by`. Desmarque `Output table`, y entre la columna de salida: `Npmaptot`. Presione `OK`. Seleccione una precisión de `1.0`.
- **Paso 5:** El próximo paso es para calcular el número total de pixeles con deslizamiento dentro del mapa. De nuevo seleccione del menú `table:`

Columnas, Aggregation. Seleccione la columna: Np_pixact. Seleccione la función Sum. Desmarque group by. Desmarque Output Table, y entre la columna de salida: Np_mapact. Presione OK. Seleccione un tamaño de 1.0.

- **Paso 6:** Calcule el grado de deslizamiento por clase de pendiente, escriba:

$$\text{Densclas} = \text{Npslopeact} / \text{Npsloptot}$$

Seleccione una precisión de 0.0001.

- **Paso 7:** Calcule el grado de deslizamiento para todo el mapa, escriba:

$$\text{Densmap} = \text{Npmapact} / \text{Npmaptot}$$

Seleccione una precisión de 0.0001.

Ahora usted tiene calculado todos los grados requeridos para el mapa slope.



- Repita el procedimiento para la tabla de cruce Act_{geol}. Usted no tiene que calcular de nuevo los grados del mapa, ya que es lo mismo para ambos mapas.

6 Calculando los valores de ponderación

Los valores de ponderación están calculados tomando el logaritmo natural del grado de deslizamiento en la clase, dividido por el grado del mapa. Con este cálculo encontramos que el grado en todo el mapa es = $6887/437019 = 0.01576$.

El cálculo fue hecho previamente en una tabla de cruce de los mapas Slope y Active. De esta forma usted podrá ver en la tabla 2 los resultados en muchos valores redundantes, solo desde que usted quiera calcular los grados y los valores de ponderación para cada clase de pendiente. Los resultados deberían parecerse a la tabla 2, donde cada clase de pendiente ocupa solamente un campo. Por eso usted trabajará ahora con el atributo tabla conectada al mapa Slope y use la tabla combinando con agregación para obtener los datos de la tabla de cruce.

Tabla 3: Cálculo de los grados directamente de la tabla Slope. Los datos se obtienen de la tabla de cruce por medio de la unión y combinación.

			Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7
pendiente	actividad	npix	npixact	npslopetot	npslopact	npmaptot	npmapact	densclas	densmap
0 - 10 grados	Desconocida	160964	1659	168691	1659	437019	6887	0.009728	0.0158
10 - 20 grados	Desconocida	104195	1283	110363	1283	437019	6887	0.011489	0.0158
20 - 30 grados	Desconocida	84406	2028	90429	2028	437019	6887	0.021730	0.0158
30 - 40 grados	Desconocida	41490	1320	44987	1320	437019	6887	0.029875	0.0158
40 - 50 grados	Desconocida	15085	407	16122	407	437019	6887	0.025245	0.0158
50 - 60 grados	Desconocida	3791	172	4424	172	437019	6887	0.038879	0.0158
60 - 70 grados	Desconocida	832	18	857	18	437019	6887	0.021004	0.0158
70 - 80 grados	Desconocida	593	0	594	0	437019	6887	0.000000	0.0158
80 - 90 grados	Desconocida	552	0	552	0	437019	6887	0.000000	0.0158



- Abra la tabla Slope. Esta tabla no contiene columnas adicionales, excepto la columna con el dominio. Repita el procedimiento anterior, pero ahora con la tabla unida.
- **Paso 2:** Calcule el número de píxeles en cada clase de pendiente. Seleccione Column, Join. Seleccione la tabla Act_{slope}. Seleccione la columna: Np_pix. Desmarque key column. Seleccione la función Sum.

Seleccione **group by** columna *Slope*. Seleccione la columna de salida *Npsloptot*. Presione OK.


- **Paso 3:** Calcule el número de píxeles con deslizamiento activo en cada clase de pendiente. Seleccione **Column, Join**. Seleccione la tabla: *Actslope*. Seleccione la columna *Npixact*. Desmarque **key column**. Seleccione la función **Sum**. Seleccione **group by** columna *Slope*. Seleccione la columna de salida *Npslopact*. Presione OK.
- **Paso 6:** Con ambas columnas, usted puede calcular los grados de deslizamiento en cada clase de pendiente con la fórmula:

$$\text{Densclas} := \text{Npslopact} / \text{Npsloptot} \downarrow$$
 Seleccione una precisión de 0.0001.
- Si usted observa el resultado, alguna clase tiene grado 0. Esto debería ser ajustado, desde los cálculos de los valores de ponderación esto no es posible. Para ajustar escriba la siguiente fórmula:

$$\text{Dclas} := \text{iff}(\text{Densclas} = 0, 0.00001, \text{Densclas}) \downarrow$$
- Los valores de ponderación finales pueden ser calculados con la siguiente fórmula:

$$\text{Weight} := \ln(\text{Dclas} / 0.01576) \downarrow$$
- Cierre la tabla.


Ahora tiene calculados los valores de ponderación del mapa *Slope*.



- Repita el procedimiento para la tabla del mapa *Geol*.

7 Creando los mapas de ponderación

Los valores de ponderación de la tabla pueden ser usados ahora para renombrar los mapas.



- Seleccione del menú principal del ILWIS: **Operations, Raster operations, Attribute map**. Seleccione el mapa raster *Slope*. Seleccione atributo *Weight*. Seleccione como mapa raster de salida *Wslope*. Presione OK.
- Despliegue el mapa resultante *Wslope*. Stretch entre -0.5 y +6.5.
- Use el mismo procedimiento para el otro mapa de parámetro *Geol*. El mapa resultante debe ser llamado: *Wgeol*.
- Los valores de ponderación para ambos mapas deben ser adicionados con la fórmula:

$$\text{Weight} = \text{Wslope} + \text{Wgeol} \downarrow$$
- Despliegue el mapa *Weight* y use la ventana de pixel information para leer la información de los mapas *Slope*, *Wslope*, *Geol*, *Wgeol* y *Weight*.

8 Clasificando los mapas de ponderación dentro del mapa final de riesgo

El mapa `Weight` tiene muchos valores, y no pueden ser presentados como un mapa de riesgo. Para esto, necesitamos primero clasificar este mapa en un número pequeño de unidades.



- Calcule el histograma del mapa `Weight` y seleccione los valores límite para tres clases: `Low hazard`, `Moderate hazard`, and `High hazard`.
- Cree un nuevo dominio `Hazard`, seleccionando: **File, Create, Create domain**. El dominio debe ser de tipo `Class` y marque `Group`. Ahora entre los nombres y los valores límites de las diferentes clases en el dominio. Cuando termine, cierre el dominio.
- El último paso es usando el programa **slicing**. Seleccione: **Operations, Image processing, slicing**. Seleccione mapa raster: `Weight`. Seleccione mapa raster de salida: `final`. Seleccione dominio: `hazard`. Presione **show** y **OK**.
- Evalúe el mapa de salida con **Pixel information**. Si es necesario ajustar los valores límite del dominio de riesgo, corra el slicing de nuevo, hasta que usted esté satisfecho con el resultado.

9 Ejercicio adicional



- Cree un script para calcular valores de ponderación (vea en ILWIS la guía del usuario para mayor información en scripts).

Referencias

- Naranjo, J.L., van Westen, C.J. and Soeters, R. (1994). Evaluating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis- a case study in Colombia. *ITC Journal* 1994-3, pp 292-300.
- Van Westen, C.J., Van Duren, I, Kruse, H.M.G. and Terlien, M.T.J. (1993). *GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation*. ITC-Publication Number 15, ITC, Enschede, The Netherlands. Volume 1: Theory, 245 pp. Volume 2: Exercises, 359 pp. 10 diskettes.
- Van Westen, C.J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price, M. and Heywood, I. (eds.), *Mountain Environments and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, Basingstoke, U.K. pp 135-165.