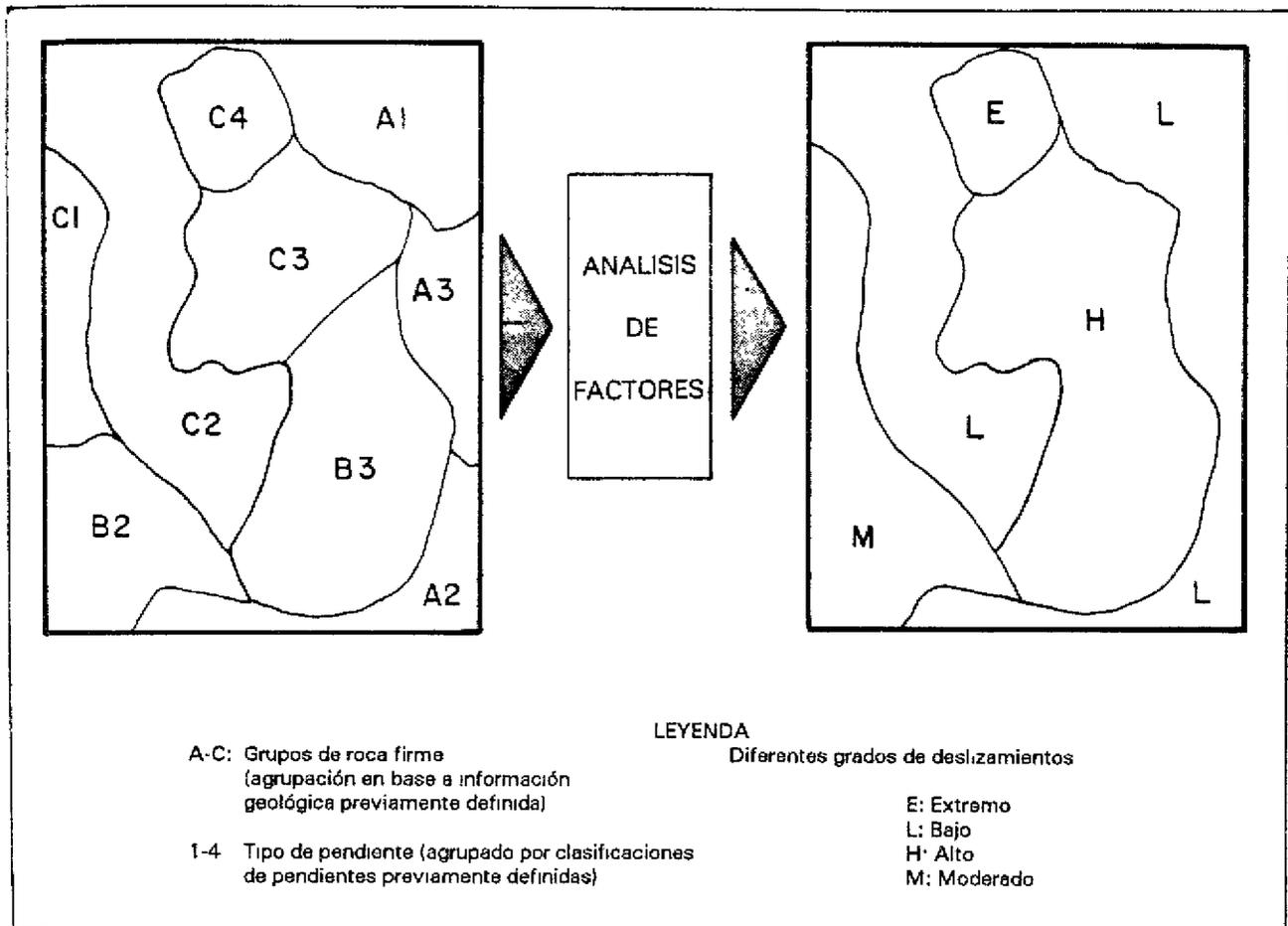


Figura 10-12

ZONAS DE PELIGRO DE DESLIZAMIENTO



sería 784 dividido entre 2.327. Esto da una proporción para cada combinación que está sujeta a la ocurrencia de anteriores deslizamientos, p.e. 0,34. Esta cifra representa la proporción de la combinación perturbada por anteriores deslizamientos en esa área (ver Figura 10-11).

La combinación de roca firme, calidad de pendiente y los factores hidrológicos asociados con el área más grande, afectada por deslizamientos, puede no ser la más peligrosa: puede simplemente ser la combinación que es más común en el área de estudio. Ya que tal área es la combinación predominante, tiene la mayor probabilidad de estar asociada con anteriores deslizamientos y no necesariamente la de ser la más peligrosa. El proceso aquí descrito asegura que la comparación del peligro de deslizamiento entre las diferentes combinaciones, se realice sobre bases iguales.

Habrà un valor proporcional para cada combinación de roca firme, calidad de pendiente y otros factores asociados con los deslizamientos existentes que va desde ,01 hasta 1,0. Las proporciones son ordenadas de la más pequeña a la más grande. Este rango de valores se divide en tres grupos para representar el peligro relativo de deslizamientos en el área de estudio. Para asegurar que los puntos usados para definir los tres grupos han sido determinados objetivamente, se hace uso del análisis de grupo no-jerárquico. (Ver el Apéndice de este capítulo para un ejemplo de cálculo).

Se logra una división inicial en tres grupos separando en partes iguales el rango presente de valores proporcionales. Los límites superior e inferior de cada grupo se retienen o se ajustan para asegurar que la división final represente la suma mínima de las desviaciones al cuadrado, alrededor de los tres

**LA FUNCION W PARA DEFINIR LOS CUATRO NIVELES
DE PELIGROS DE DESLIZAMIENTOS**

$$W = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - X_i)^2 = W_1 + W_2 + W_3$$

promedios de grupo. Esto está basado en la función W (Anderberg, 1973).

d. Paso cuatro: Producción de zonas de peligro de deslizamientos de tierra

El cuarto y último paso hace uso de combinaciones agrupadas para producir zonas de peligro de deslizamiento extremo, alto, moderado y bajo. Una vez que se dividen las proporciones en tres grupos, se identifican las combinaciones de roca firme, calidad de pendiente y factores hidrológicos que representan diferentes niveles de peligro relativo a deslizamientos. El grupo de proporciones con los valores más altos, es decir, hacia el extremo 1,0 del rango, representa combinaciones que definen peligros extremos de deslizamiento. El grupo de proporciones con los valores menores, representa combinaciones que definen un alto peligro de deslizamiento. El grupo de proporciones con los menores valores, es decir, hacia el extremo 0,1 del rango, representa combinaciones que definen un peligro moderado de deslizamiento. Todos los factores de roca firme, pendientes e hidrológicos que no estén asociados con deslizamientos existentes, definen un bajo peligro de deslizamiento.

Las transparencias de los mapas usados para determinar áreas de roca firme, calidad de pendientes y factores hidrológicos presentes en todo el área de estudio, pueden ser ahora revisadas para hacer el mapa de zonificación de peligros. La Figura 10-12 muestra los mapas originales vueltos a dibujar como zonas de peligro. Las combinaciones con peligros extremos son redibujadas y retituladas como zonas de peligros extremos. Redibujar y retitular las combinaciones que representan zonas de otros peligros produce un mapa completo de zonificación de peligros, que muestra los cuatro niveles de peligro relativo. La relación empírica de los factores físicos, como los define el análisis de factores, es válido sólo para el área evaluada, y no se puede extrapolar para cubrir otras áreas adicionales.

Una vez que se ha identificado estas áreas de peligro, se puede tomar una decisión respecto a las actividades apropiadas de desarrollo, el tipo de medidas de mitigación a ser incluidas en el proceso, o las áreas que deben de ser descartadas. Es importante tomar nota que los mapas esenciales de roca firme y de calidad de pendiente no siempre están disponibles. Sin estos

mapas, se puede producir un mapa isopleta que es un sustituto aceptable.

4. COMPENSACION POR LA INSUFICIENCIA DE DATOS: EL MAPA ISOPLETA

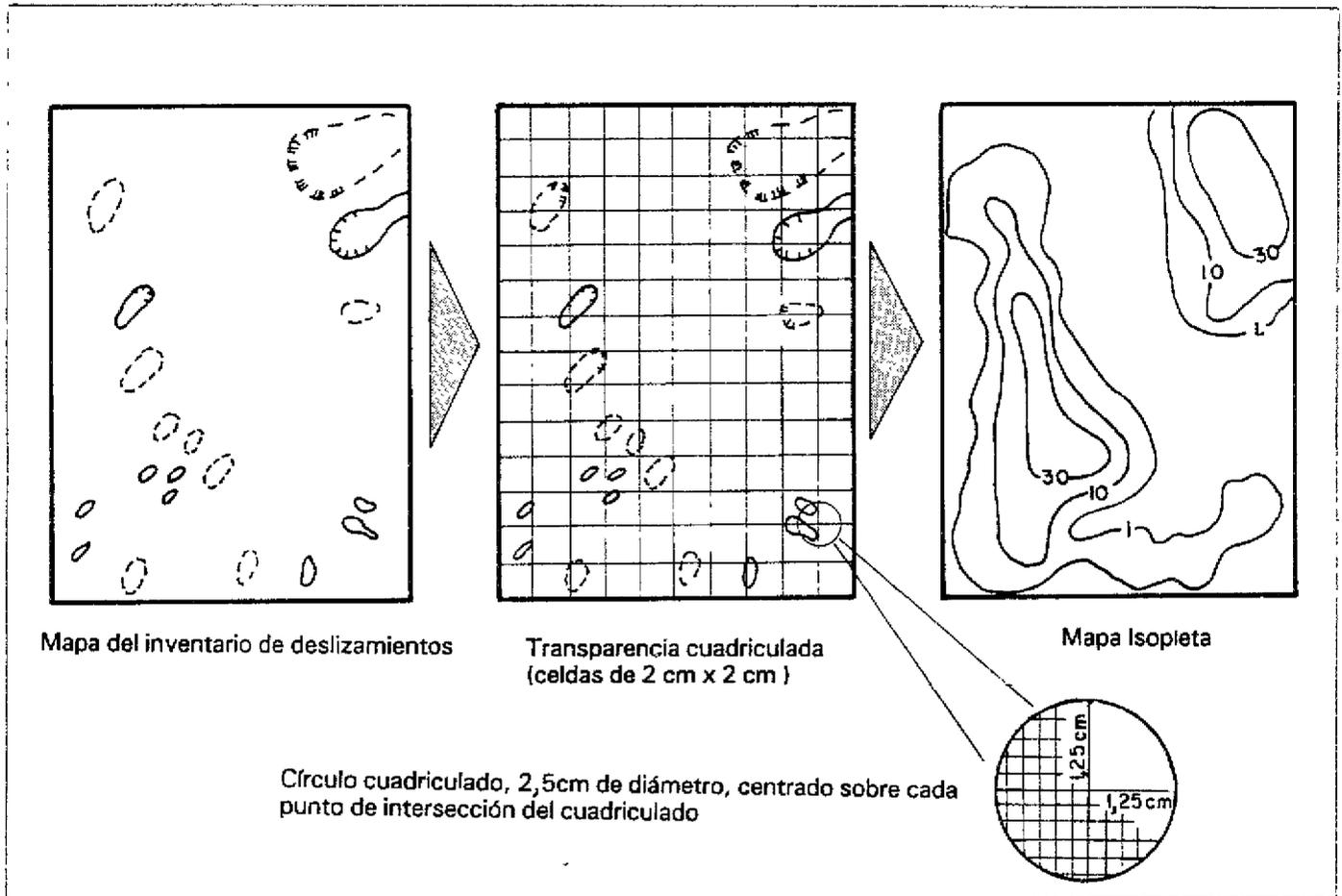
En la ausencia de mapas de roca firme y de calidad de pendientes, se puede usar el mapa de inventario de deslizamientos para producir un mapa analítico adecuado para representar la actividad de deslizamientos en una área. Se recomienda para este propósito un mapa de isopletas de la frecuencia de deslizamientos. Un mapa isopleta o cualquier otro mapa analítico puede servir sólo como una evaluación inicial de la actividad de deslizamiento y no como un sustituto de mapas de peligro de deslizamiento. Las condiciones subyacentes que dan lugar a los deslizamientos seguirán siendo desconocidas, lo que impedirá que se haga una distinción entre los grados relativos del peligro de deslizamiento.

Es razonable suponer que las áreas con alta frecuencia de deslizamiento tienen mayor probabilidad de sufrir futuros deslizamientos que aquellas áreas de baja frecuencia. Un mapa isopleta se puede hacer en base a esta suposición. Para preparar un mapa isopleta se comienza con un mapa de inventario de deslizamientos (Wright *et al.*, 1974). Se coloca una transparencia con una grilla de 2 cm x 2 cm sobre el mapa de inventario de deslizamientos. (Ver Figura 10-13 para una descripción gráfica de cada paso). Sobre cada intersección en la grilla se dibujan círculos cuadrículados transparentes de 2,5 cm de diámetro. Se cuenta el número de cuadrados de la grilla, dentro del círculo, a través del cual se pueden observar depósitos de deslizamientos. Se divide ese número por el número total de unidades de cuadrados de la grilla dentro del círculo dibujado. Esto da la proporción de la unidad de área dentro del círculo que está cubierta por depósitos de deslizamientos. Esta proporción se multiplica por 100 y se hace la aproximación al número entero más cercano, para obtener el porcentaje de terreno afectado por deslizamientos. El valor de este porcentaje se escribe en la transparencia al lado de la respectiva intersección de la grilla.

Una vez que todas las intersecciones queden identificadas con valores porcentuales, se pueden dibujar las líneas isopletas. Las líneas isopletas conectan puntos de igual valor. Estas líneas muestran la frecuencia generalizada de la actividad de deslizamiento

Figura 10-13

PASOS PARA LA PREPARACION DE UN MAPA ISOPLETA



representada por el porcentaje del área perturbada por ellos. Así dibujadas, el intervalo entre isopletas para producir el mapa dependerá del uso propuesto. Una sola línea que representa el lindero entre áreas de deslizamiento frecuente y de deslizamiento poco frecuente, muestra las áreas en las que este fenómeno es un factor principal en la modulación del paisaje y aquéllas otras en las que no lo es. Esto sirve como una primera evaluación de áreas expuestas a problemas de deslizamientos cuando no se dispone de información sobre factores adicionales para el área bajo estudio. Es importante recordar que esta es una técnica analítica que produce una evaluación limitada del área, más que una técnica desarrollada por un proceso interpretativo.

Durante la Fase II del proceso de planificación, además del inventario intermedio de deslizamientos, se recomienda la preparación de un mapa isopleta que proporcionará a los planificadores la información disponible, mejor elaborada. Usando las técnicas ya descritas, la preparación del mapa es modificada de dos maneras: (1) para compilar este mapa isopleta sólo se

utilizaría los tipos específicos de deslizamiento identificados en el inventario intermedio, que son los que probablemente se iniciarán por el uso de tierras propuesto; la selección de tipos de deslizamiento deberá ser gobernada por la información sobre la actividad de deslizamientos, desarrollada por el geólogo que completó el inventario intermedio de los deslizamientos existentes, y por el actual uso de tierras y el uso propuesto; y (2) las isopletas están dibujadas a intervalos regulares de manera similar a como se presenta la elevación con curvas de nivel, en vez del valor único que usa un mapa isopleta. Por ejemplo, en algunos mapas isopletas aplicados a la planificación del uso de la tierra, ha sido utilizado un intervalo de 10 por ciento en algunos mapas (Campbell, 1980, y Pomeroy, 1978). Esto produce un mapa que representa la intensidad de la ocurrencia de anteriores deslizamientos en una forma que se parece a un mapa topográfico. Las líneas isopletas aparecerían como las curvas de nivel que indican elevaciones. El mapa isopleta final es usado como una transparencia sobre el mapa del peligro de deslizamiento.

5. CARTOGRAFIA GENERADA POR COMPUTADORA

El método descrito en este capítulo se puede adaptar fácilmente a la cartografía generada por computadora (Brabb, 1984). Los mapas de factores usados para generar el mapa del peligro de deslizamiento pueden ser codificados a un sistema de información geográfica (SIG) y manipulados con una computadora. (Ver Capítulo 5 para una discusión de las aplicaciones de cartografía con computadora y el SIG). Esto permite la rápida preparación de tablas que muestren el área para diferentes combinaciones de factores. En algunos casos, los mapas de datos usados en la evaluación del peligro de deslizamiento pueden ser parte del SIG creado para planificación generada del uso de tierras, por ejemplo un mapa de vegetación. Una segunda ventaja de este método es que las escalas de los mapas a ser sobrepuestos en transparencias, en una evaluación del peligro de deslizamiento, pueden ser apareados sea cual fuere su escala original. Por ejemplo, la escala de un mapa publicado de roca firme puede diferir de los mapas de otros factores. Usando técnicas manuales, sería necesario redibujar el mapa de roca firme a la escala de los demás mapas, mientras que el sistema basado en computadora permite el apareamiento de las escalas de mapas sea cual fuere la escala original, de tal modo que los mapas pueden ser sobrepuestos y analizados en conjunto.

El apareamiento computarizado de diferentes escalas de mapas requiere identificar ciertos puntos referenciales en cada mapa para asegurar el control adecuado entre mapas. Una vez que los mapas están computarizados, pueden ser actualizados o usados para mejorar las evaluaciones del peligro de deslizamiento. Un mapa más detallado del inventario de deslizamientos, también puede ser codificado y usado para producir un mejor mapa de zonificación de peligros con los mapas ya codificados.

Las únicas limitaciones importantes para usar un sistema en base a computadora, son la cantidad de tiempo y el gasto que se requiere para codificar los mapas y establecer una base de datos, para una evaluación del peligro de deslizamiento a una escala suficientemente grande que permita el cálculo del porcentaje del área cubierta por deslizamientos existentes. La creación de tal base de datos usualmente requiere que se planifique un proyecto importante o una serie de proyectos para justificar la asignación de recursos, o que ya exista una base de datos de mapas computarizados. Una última consideración es la posibilidad de tener acceso a equipos de cómputo, ya que las computadoras pueden ser escasas o pueden soportar gran demanda para muchos otros usos. Sin embargo, las computadoras personales son fácilmente accesibles y de poco costo relativo; los programas de cómputo adecuados y disponibles para la evaluación del peligro de deslizamiento hace posible que algunos estudios de planificación tengan su propio sistema.

Conclusión

Las áreas susceptibles a deslizamientos se pueden proyectar en base a los factores físicos asociados con la actividad de deslizamiento: la historia de deslizamientos pasados, la roca firme, la calidad de pendiente y la hidrología. No es posible la predicción de dónde y cuándo han de ocurrir los deslizamientos, aún con la mejor información disponible. Sin embargo, es posible identificar áreas susceptibles a deslizamiento. Este capítulo ha discutido algunos de los conceptos relacionados con la susceptibilidad a los deslizamientos: los diferentes tipos de deslizamientos, la naturaleza relativa de la zonificación del peligro de deslizamiento; su relación con las actividades de desarrollo; y cómo mitigar los efectos de los deslizamientos. El punto esencial ha sido demostrar la importancia de considerar los deslizamientos al inicio del estudio de planificación y de proporcionar una técnica que se pueda usar en todas las etapas del proceso de planificación. Se han destacado las diferentes preguntas que deben ser formuladas en las diferentes etapas de la planificación. Se pueden generar muchas respuestas del uso de la zonificación del peligro de deslizamiento en cada etapa del estudio de planificación. También se presentó el análisis de factores combinados paso-por-paso para preparar mapas de peligros. Todo esto permitirá al planificador a tener un conocimiento práctico de los términos, conceptos y de las importantes consideraciones relacionadas con deslizamientos y con la cartografía del peligro de deslizamiento.

Referencias

- Anderberg, M.R. *Cluster Analysis for Applications* (New York: Academic Press, 1973).
- Brabb, E.E. "Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping" *in* IV International Symposium on Landslides, vol. 1 (Toronto, 1984), pp. 307-323.
- Campbell, R.H. *Landslide Maps Showing Field Classifications, Point Dume Quadrangle, California, U.S. Geological Survey Field Studies Map MF-1167* (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1980).
- Carrara, A., and Merenda, L. "Landslide Inventory in Northern Calabria, Southern Italy" *in* Geological Society of America Bulletin, vol. 87 (1976), pp. 1153-1162.
- Cotecchia, V. "Systematic Reconnaissance Mapping and Registration of Slope Movements" *in* Bulletin of the International Association of Engineering Geology, no. 17 (1978), pp. 5-37.
- DeGraff, J.V. "Regional Landslide Evaluation: Two Utah Examples" *in* Environmental Geology, vol. 2 (1978), pp. 203-214.

- "Initiation of Shallow Mass Movement by Vegetative-type Conversion" *in* *Geology*, vol. 7 (1979), pp 426-429
- "Quantitative Approach to Assessing Landslide Hazard to Transportation Corridors on a National Forest" *in* *Transportation Research Record* 892 (1982), pp. 64-68.
- DeGraff, J.V., and Romesburg, H.C. "Regional Landslide-Susceptibility Assessment for Wildland Management: A Matrix Approach" *in* D.R. Coates, and J. Vitek (eds.). *Thresholds in Geomorphology* (Boston: George Allen & Unwin, 1980), pp. 401-414.
- Hutchinson, J.N., and Kogan, E. "The Mayunmarca Landslide of 25 April 1974" *in* UNESCO Serial No. 3124/RMO RD/SCE (Paris: UNESCO, February, 1975).
- Hopkins, L.D. "Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation" *in* *American Institute of Planning Journal*, vol. 43 (1977), pp. 386-400.
- Kockelman, W.J. "Some Techniques for Reducing Landslide Hazards" *in* *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* (vol. 22, 1985).
- Morgenstern, N.R., and Sangrey, D.A. "Methods of Stability Analysis" *in* R.L. Schuster, and R.J. Krizek (eds.), *Landslides, Analysis, and Control, Special Report 176* (Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1978), pp. 155-171.
- Organization of American States. *Integrated Regional Development Planning: Guidelines and Case Studies From OAS Experience* (Washington, D.C.: Organization of American States, 1984).
- Pomeroy, J.S. *Isopleth Map of Landslide Deposits, Washington County, Pennsylvania, U.S. Geological Survey Field Studies Map MF-1010* (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1978).
- *Map Showing Landslides and Areas Most Susceptible to Sliding in Beaver County, Pennsylvania, U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map I-1160* (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1979).
- Rib, H.T., and Liang, T. "Recognition and Identification" *in* R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.), *Landslides, Analysis, and Control, Special Report 176* (Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1978), pp. 34-80.
- Sharpe, C.F.S. *Landslides and Related Phenomena* (New York: Columbia University Press, 1938).
- Sidele, R.C., Pearce, A.J., and O'Loughlin, C.L. *Hillslope Stability and Land Use, Water Resources Monograph Series No. 11* (Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1985).
- Swanson, F.J., and Dymess, C.T. "Impact of Clearcutting and Road Construction on Soil Erosion by Landslides in the Western Cascade Range, Oregon" *in* *Geology*, vol. 3 (1975), pp. 393-396.
- U.S. Geological Survey. *Goals and Tasks of the Landslide Part of a Ground-Failure Hazards Reduction Program, U.S. Geological Survey Circular 880* (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1982).
- Varnes, D.J. "Slope Movement Types and Processes" *in* R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.), *Landslides, Analysis, and Control, Special Report 176* (Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1978), pp. 12-33.
- *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, UNESCO Natural Hazards Series No. 3* (Paris: UNESCO, 1985)
- Wieczorek, G.F. "Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction" *in* *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, vol. 21 (1984).
- Wright, R.H., Campbell, R.H., and Nilson, T.H. "Preparation and Use of Isopleth Maps of Landslide Deposits" *in* *Geology*, vol. 2 (1974), pp. 483-385.

Apéndice

EJEMPLO DE UN CALCULO DE LA FUNCION W

Como se indica en la Sección C-3, Análisis Factorial, la función W es calculada de la fórmula:

$$i = 3 \quad j = n_i$$
$$W = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - X_i)^2 = W_1 + W_2 + W_3$$
$$i = 1 \quad j = 1$$

Donde: X_{ij} = j^{ava} observación i^{avo} grupo
 n_i = número de observaciones en el i^{avo} grupo

Para el ejemplo, se supone que el análisis factorial combinado produjo las siguientes dieciséis proporciones:

0,53, 0,01, 0,19, 0,03, 0,39, 0,04, 0,05, 0,88, 0,11, 0,01, 0,21, 0,03, 0,61, 0,01, 0,04, 0,11

Paso 1: Las proporciones son entonces arregladas en orden ascendente:

0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04, 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21, 0,39, 0,53, 0,61, 0,88

Los datos van de 0,01 a 0,88. Este rango es dividido en partes iguales para formar tres grupos basados en una partición de intervalos iguales: $0,01 \leq X < 0,29$, $0,29 \leq X < 0,58$, y $0,58 \leq X < 0,88$

Paso 2: El factor W es calculado usando los valores en cada grupo formado bajo la partición inicial de intervalos iguales:

$[0,01 \leq X < 0,29]$	$[0,29 \leq X < 0,58]$	$[0,58 \leq X < 0,88]$
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04, 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21	0,39, 0,53	0,61, 0,88
$X_1 = 0,07$	$X_2 = 0,46$	$X_3 = 0,745$
$W_1 = 0,0534$	$W_2 = 0,0098$	$W_3 = 0,0365$
$W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,0534 + 0,0098 + 0,0365 = 0,0996$		

El objetivo es minimizar el valor de W. En otras palabras, encontrar los valores más pequeños de W que puedan ser calculados para tres grupos de los valores proporcionales. Esto aplica el principio de mínimos cuadrados, un método estadístico común, a este problema unidimensional minimizando la suma de las desviaciones al cuadrado en relación con los promedios de grupos.

Paso 3: El borde es desplazado hacia la derecha para buscar la disminución deseada en la función W:

$[0,01 \leq X < 0,39]$	$[0,39 \leq X < 0,58]$	$[0,58 \leq X < 0,88]$
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04, 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21, 0,39	0,53	0,61, 0,88
$X_1 = 0,0946$	$X_2 = 0,53$	$X_3 = 0,745$
$W_1 = 0,1479$	$W_2 = 0$	$W_3 = 0,0365$
$W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,1479 + 0 + 0,0365 = 0,18435$		

Debido a que el valor recalculado es mayor que el valor de W inicialmente calculado, éste fue un movimiento en la dirección contraria. Se trasladará el borde hacia la izquierda del borde inicial en búsqueda de una disminución del valor W.

Paso 4: El borde al extremo de la izquierda se mueve hacia la izquierda por un valor. Se recalcula la función W y se compara con el valor W inicial para constatar si ocurrió la deseada disminución.

$[0,01 \leq X < 0,19]$	$[0,19 \leq X < 0,58]$	$[0,58 \leq X < 0,88]$
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04 0,04, 0,05, 0,11 0,11, 0,19	0,21, 0,39, 0,53	0,61, 0,88
$X_1 = 0,0573$	$X_2 = 0,3767$	$X_3 = 0,745$
$W_1 = 0,0320$	$W_2 = 0,0515$	$W_3 = 0,0365$
$W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,0320 + 0,0515 + 0,0365 = 0,12$		

Esta no es una disminución. Por lo tanto, la partición del borde, al extremo de la izquierda se mantiene en su valor inicial.

Paso 5: Ahora el segundo borde o sea el borde al extremo de la derecha se desplaza a la derecha:

$[0,01 \leq X < 0,29]$	$[0,29 \leq X < 0,61]$	$[0,61 \leq X < 0,88]$
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04 0,04, 0,05, 0,11 0,11, 0,19, 0,21	0,39, 0,53, 0,61	0,88
$X_1 = 0,07$	$X_2 = 0,51$	$X_3 = 0,88$
$W_1 = 0,0534$	$W_2 = 0,0248$	$W_3 = 0$
$W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,0534 + 0,0248 + 0 = 0,0782$		

Esto si es una disminución del valor de W. Si quedaran otros valores en el tercer grupo, el borde se trasladaría paso-a-paso hacia la derecha hasta que no se obtuviera mayor disminución de los valores W. Sin ningún otro valor presente, esto minimiza la suma de las desviaciones al cuadrado en relación con los promedios de grupos, lo más posible y retiene tres grupos. Si el traslado a la derecha hubiera conducido a un valor más alto de W, se hubiera intentado un traslado a la izquierda del borde de la derecha. Habiendo determinado la ubicación de los bordes para obtener el menor valor de W, se ha logrado el mejor agrupamiento de los valores proporcionales presentes.

Como resultado de este proceso iterativo, la partición inicial en grupos con los siguientes rangos:

$$0,10 \leq W < 0,29$$

$$0,29 \leq W < 0,58$$

$$0,58 \leq W < 0,88$$

se cambia a una agrupación más consistente con los valores proporcionales involucrados, en base al rango de los valores siguientes:

$$0,01 \leq X < 0,29$$

$$0,29 \leq X < 0,61$$

$$0,61 \leq X < 0,88$$