

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mecanismos principales de roturas de deslizamientos.

Figura 1.2: Estados de actividad de los deslizamientos (WP/WLI, 1993). Consultar el texto para la leyenda de los 8 casos.

Figura 1.3: Estratos temáticos de un Sistema de Información Geográfica (Bosque, 1992).

Figura 1.4: Análisis automático de deslizamientos de una región cerca de Adelboden (canton de Bern) considerando unos valores límites concretos para la zona de escarpe, la zona deprimida y la de acumulación (Freitag y Noverraz, 2000).

Figura 1.5: Vista esquemática de satélite de objetivos de deslizamientos: a) evidencia directa: ha ocurrido un deslizamiento y se ha modificado la superficie topográfica; b) evidencia indirecta: la topografía no está modificada, los contenidos de óxido de hierro, minerales arcillosos y humedad en el suelo dan una indicación de las condiciones que conllevan inestabilidad de ladera por debajo de ellas (Mason et al, 2000).

Figura 1.6: Procedimiento del modelo de reconstrucción de deslizamientos. Etapa1: MED del deslizamiento; etapa2: selección de valores de elevación alrededor del deslizamiento; etapa3: creación y reconstrucción del terreno utilizando un TIN (red de triángulos irregulares); etapa 4: MDE reconstruido del deslizamiento (Thurston y Degg, 2000).

Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología general utilizada.

Figura 3.1: Esquema en perfil y en planta de la morfología de un deslizamiento superficial afectando a la formación superficial.

Figura 3.2: Esquema en perfil y en planta de un deslizamiento con los parámetros morfométricos (variables) utilizadas para el análisis (L: longitud de la cuenca; LF: longitud de la cuenca ocupada por la formación superficial; G: espesor de la formación superficial; β : pendiente media de la cuenca aguas arriba; α : pendiente de la zona de rotura; AF: área de la cuenca ocupada por la formación superficial; AC: área de la cuenca).

Figura 3.3: Esquema y expresiones para el cálculo de la curvatura (GRID, ARC/INFO, 1997).

Figura 3.4: Situación del área de estudio de la Poble de Lillet. A) Situación general; B) Mapa detallada de la zona (de Mapa comarcal de Catalunya, 1:50.000, Berguedà-14 del ICC).

Figura 3.5: Unidades estructurales de la zona de la Poble de Lillet (ICC, 1994) (leyenda: mantell: manto; unitat: unidad; sòcol: zócalo).

Figura 3.6: Situación de la zona de Vallcebre: A) general y B) localización detallada (de Mapa comarcal de Catalunya, 1:50.000, Berguedà-14 del ICC).

Figura 3.7: Esquema geológico de la cuenca de Vallcebre (Balasch, 1986).

Figura 3.10: Diagrama de flujo del procedimiento completo.

Figura 3.11: Mapa con el inventario de deslizamientos superficiales de la Población de Lillet.

Figura 3.12: Mapa del área de la Población de Lillet con la muestra aleatoria seleccionada utilizada en el análisis.

Figura 3.13: Histogramas de frecuencia con la curva normal de algunas de las variables derivadas del MDE de la Población de Lillet.

Figura 3.14: Histogramas de frecuencia con curva normal de las variables relacionadas con la cuenca de la Población de Lillet y sus transformadas (logaritmo decimal).

Figura 3.15: Histogramas de frecuencia con curva normal de las variables derivadas INSOL y PENDM y de las variables categóricas de la Población de Lillet.

Figura 3.16: Resumen de los distintos tipos de distribuciones que siempre se encuentran de las variables derivadas del MDE y de sus transformadas utilizadas en el procedimiento expuesto en la presente memoria. Estas distribuciones y las variables que las presentan son:

- Sesgo positivo muy marcado: ACUENCA, LONG, AFS y LFS
- Distribución cercana a la normal centrada en valores centrales: CURVAR, PERFIL y PLA
- Sesgo negativo muy acentuado: RUGOS
- Pico en valores bajos y el resto variable (normal o con sesgo positivo): PENDM y las variables transformadas a logaritmo de ACUENCA, LONG, AFS y LFS
- Sesgo negativo: INSOL y PENDS

Figura 3.17: Proyección de las variables en un espacio tridimensional formado por los tres primeros factores del Análisis Factorial de Componentes Principales de la zona de la Población de Lillet. En la parte superior del gráfico (cerca del eje o componente 2) los dos marcadores pertenecen a las variables PEND y PENDS.

Figura 3.18: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en la Población de Lillet, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.19: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la Población de Lillet.

Figura 3.20: Imagen en 3D del mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la zona SW de la Población de Lillet con los deslizamientos superpuestos al mapa, efecto que sirve como método visual para validar los resultados.

Figura 3.21: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la Población de Lillet con la variable PENDS (pendiente senoidal).

Figura 3.22: Mapa con el inventario de deslizamientos superficiales de Vallcebre.

Figura 3.23: Mapa del área de Vallcebre con la muestra aleatoria seleccionada utilizada en el análisis.

Figura 3.24: Histogramas de frecuencias con la curva normal de algunas de las variables derivadas del MDE y de las variables categóricas de la zona de Vallcebre.

Figura 3.25: Histogramas de frecuencia con curva normal de las variables relativas a la cuenca y sus transformadas a logaritmo del área de Vallcebre.

Figura 3.26: Proyección de las variables en un espacio tridimensional formado por los tres primeros factores del Análisis Factorial de Componentes Principales de la zona de Vallcebre.

Figura 3.27: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en Vallcebre, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.28: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de Vallcebre.

Figura 3.29: Mapa con el inventario de deslizamientos superficiales (centroides de la zona de rotura) del Bajo Deba.

Figura 3.30: Mapa del área del Bajo Deba con la muestra aleatoria seleccionada utilizada en el análisis.

Figura 3.31: Histogramas de frecuencia con curva normal de algunas de las variables derivadas del MDE y de las variables categóricas de la zona del Bajo Deba.

Figura 3.32: Histogramas de frecuencia con curva normal de las variables relativas a la cuenca y sus transformadas a logaritmo del área del Bajo Deba.

Figura 3.33: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en el Bajo Deba, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.34: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales del Bajo Deba.

Figura 3.35: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en la Población de Lillet (sin utilizar la variable GROSOR), para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.36: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la Población de Lillet sin la variable GROSOR.

Figura 3.37: Mapa del área Sur de la Población de Lillet con la muestra aleatoria seleccionada utilizada en el análisis para este área.

Figura 3.38: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en la zona sur de la Población de Lillet, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.39: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la zona Sur de la Población de Lillet.

Figura 4.40: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la Población de Lillet con ponderaciones distintas para VEGET y GROSOR.

Figura 3.41 : Histogramas de las variables de la Población de Lillet (malla de 45 *45m). No se muestran los histogramas de las variables transformadas (ACUENCA, LONG, AFS y LFS).

Figura 3.42: Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en la Población de Lillet con la malla regular de 45 m, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.43: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de la Población de Lillet con la malla regular de 45.

Figura 3.44 : Histogramas de las variables de Vallcebre (malla de 45 *45m). No se muestran los histogramas de las variables transformadas (ACUENCA, LONG, AFS y LFS).

Figura 3.45 Histogramas de frecuencias con los valores de la función discriminante seleccionada en Vallcebre con la malla regular de 45 m, para la muestra utilizada, con las dos poblaciones por separado (laderas con y sin roturas). Obsérvese el valor $F = 0$ que separa las dos poblaciones según la función, indicando los valores positivos laderas inestables y los negativos laderas estables.

Figura 3.46: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales de Vallcebre con la malla de 45.

Figura 4.1: Diagrama para el análisis de la estabilidad de un talud infinito en deslizamiento plano, (el esquema b muestra las tensiones normal y tangencial sobre la superficie de rotura). Para leyenda ver texto.

Figura 4.2: Diagrama de flujo del procedimiento utilizado para el cálculo del factor de seguridad celda a celda.

Figura 4.3 : Esquema geomorfológico del deslizamiento de Vallcebre.

Figura 4.4: Perfiles transversales deducidos a partir de los sondeos mecánicos de la unidad media e inferior del deslizamiento de Vallcebre (de Ledesma et al., 1997).

Figura 4.5: Perfil esquemático, y sin escala, del pie del deslizamiento donde se puede observar el escarpe, la zona encharcada, el surco y el Torrente de Vallcebre. Se ilustra el tamaño de una celda, cuyos límites pueden variar de situación, para mostrar la problemática

que comporta el escarpe al interpolar la superficie de rotura. Las letras A, B y C muestran tres situaciones distintas, cuyas elevaciones pueden ser adjudicadas a una celda del pie según donde se sitúe ésta.

Figura 4.6: Esquema en planta, y sin escala, de la problemática de la interpolación de la superficie de rotura en el límite norte del deslizamiento, constituido éste por una cizalla vertical lateral. Las líneas horizontales representan la cicatriz lateral y límite del deslizamiento. Las líneas inclinadas o verticales representan curvas de nivel de la superficie de rotura. Los puntos gruesos representan puntos de interpolación. Se ilustran tres situaciones: A, forma de la curva de elevación de la interpolación de la superficie de rotura utilizando puntos localizados en la cicatriz con la cota del relieve; B, forma de la curva de nivel utilizando sondeo virtual y sin llegar a interpolar hasta la cicatriz (solución utilizada); C, forma de las curvas de nivel que debe tener la superficie de rotura en esta zona del deslizamiento.

Figura 4.7: Superficies de rotura interpoladas: la inicial utilizando únicamente la información de los inclinómetros de los 5 sondeos y la final utilizada para el análisis de estabilidad. Los puntos utilizados para interpolar la superficie final se muestran en el mapa 2 del Anejo 4. La figura demuestra la necesidad de información adicional. La superficie inicial mostrada es la resultante de uno de los interpoladores del SIG utilizado y no está corregida con el MDE.

Figura 4.8: Mapas resultantes del factor de seguridad de la unidad inferior del deslizamiento de Vallcebre con el ángulo de fricción 8° para los dos niveles piezométricos contemplados.

Figura 4.9: Mapas resultantes del factor de seguridad de la unidad inferior del deslizamiento de Vallcebre con el ángulo de fricción 10° para los dos niveles piezométricos contemplados.

Figura 4.10: Mapas de las fuerzas resultantes en cada celda de la unidad inferior del deslizamiento de Vallcebre con el ángulo de fricción 8° para los dos niveles piezométricos contemplados. Las fuerzas están expresadas en Kn/m^2 siendo las negativas las resistentes y las positivas las que conducen a inestabilidad. En el mapa superior se localizan los 4 perfiles longitudinales.

Figura 4.11: Mapas de las fuerzas resultantes en cada celda de la unidad inferior del deslizamiento de Vallcebre con el ángulo de fricción 10° para los dos niveles piezométricos contemplados. Las fuerzas están expresadas en Kn/m^2 siendo las negativas las resistentes y las positivas las que conducen a inestabilidad. En el mapa superior se localizan los 4 perfiles longitudinales.

Figura 4.12: Perfil longitudinal I realizado con las funciones del subprogrma TIN (ARC/INFO, 1997) donde se observan los dos niveles piezométricos (máximo y mínimo). Perfil orientado ESE (izquierda)-WNW (derecha).

Figura 4.13: Perfil longitudinal II realizado con las funciones del subprogrma TIN (ARC/INFO, 1997) donde se observan los dos niveles piezométricos (máximo y mínimo). Perfil orientado WNW (izquierda)-ESE (derecha).

Figura 4.14: Perfil longitudinal III realizado con las funciones del subprogrma TIN (ARC/INFO, 1997) donde se observan los dos niveles piezométricos (máximo y mínimo). Perfil orientado ESE (izquierda)-WNW (derecha).

Figura 4.15: Perfil longitudinal IV realizado con las funciones del subprograma TIN (ARC/INFO, 1997) donde se observan los dos niveles piezométricos (máximo y mínimo). Perfil orientado WNW (izquierda)-ESE (derecha).

Figura 5.1: Imágenes de 4 modelos digitales del terreno (variables) del área de Vallcebre. Las variables se visualizan en una escala de grises donde se observa en la zona central la existencia de una retícula. Los modelos son PEND y CURVAR en la zona inferior y PERFIL y INSOL8 en la superior.

Figura 5.2: Mapa topográfico 1:5.000 del límite suroeste de la barra calcárea de Vallcebre (véase Cingles del Boixader en la figura). Compárese las curvas de nivel de esta zona o al norte de la casa citada como Cal Gat y el relieve de la Foto 5.1.

Figura 5.3: Localización de las zonas de la barra caliza de Vallcebre y por debajo de ésta donde se han encontrado errores del mapa topográfico respecto al relieve de la zona.

Figura 5.4 a: Inventario de deslizamientos superficiales de la misma subzona del área de Vallcebre (Baeza, 1994).

Figura 5.4 b: Inventario de deslizamientos superficiales utilizado en la presente memoria para la misma zona de estudio (zona SW de Vallcebre).

LISTA DE MAPAS

ANEJO 2

Mapas de las variables para las tres áreas de estudio

- elevación
- pendiente
- orientación
- área de cuenca acumulada
- longitud no ponderada de cuenca acumulada
- área de cuenca acumulada ocupada por la formación superficial
- longitud de cuenca ocupada por la formación superficial
- concavidad/convexidad del terreno (CURVAR)
- concavidad/convexidad en la dirección de la pendiente
- concavidad/convexidad en la dirección transversal a la pendiente
- rugosidad del terreno
- pendiente media de la cuenca
- insolación (media de 15 modelos)
- densidad de vegetación / usos del suelo
- presencia de formación superficial (excepto área del Bajo Deba)
- espesor de la formación superficial (excepto área de Vallcebre)

ANEJO 4

Mapa 1: MDE y superficie de rotura interpolada de la unidad inferior del deslizamiento.

Mapa 2: Mapas con los puntos utilizados para calcular las superficies.

Mapa 3: Mapas de las superficies interpoladas de los niveles piezométricos.

Mapa 4: Mapas de los parámetros derivados (pendiente y profundidad de la superficie de rotura).

Mapa 5: Mapas de curvas de nivel de los espesores de la zona saturada sobre la rotura.