

**PELIGROSIDAD POR
MOVIMIENTOS DE LADERA.
MUNICIPIO DE PANTICOSA**

PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS DE LADERA. MUNICIPIO DE PANTICOSA

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- METODOLOGÍA.....	2
3.- CONDICIONANTES CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.....	3
3.1- CONDICIONANTES GEOLÓGICOS, LITOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.....	3
3.2.- CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS	5
3.3.- CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS, RELIEVE, ALTIMETRÍA Y PENDIENTES	7
3.4.- IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA. VOLUMEN Y VELOCIDAD DE LAS MASAS INESTABILIZADAS	8
4.- MAPA DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS DE LADERA	12
5.- BIBLIOGRAFÍA	16

PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS DE LADERA. MUNICIPIO DE PANTICOSA

AUTORES:

- **Luís Lain Huerta.** Instituto Geológico y Minero de España
- **Miguel Llorente Isidro.** Instituto Geológico y Minero de España
- **Elena Reoyo Límia.** Instituto Geológico y Minero de España
- **J. Joaquín Arribas Pérez de Obanos.** Geocontrol, S.A.
- **José Miguel Galera Fernández.** Geocontrol, S.A.

RESUMEN

Se analiza en la presente comunicación la metodología aplicada para la elaboración de los Mapas de Peligros Geológicos en Términos Municipales, desarrollada por el Instituto Tecnológico y Minero de España en colaboración con Geocontrol ,S.A., y en concreto su aplicación al Municipio de Panticosa (Huesca). El tratamiento informático ha sido realizado mediante el paquete de software ArcGIS (V. 8.3), que aplica las matrices de susceptibilidad, desarrolladas en los siguientes apartados, mediante operaciones de cálculo, superposición y reclasificación.

1.- INTRODUCCIÓN

Los procesos geológicos, y los factores climáticos, son los responsables del modelado de laderas, las cuales tienden a adoptar condiciones cercanas al equilibrio. Es obvio considerar los daños económicos y sociales que este tipo de procesos provoca; evitarlos es el objetivo final de los mapas de peligrosidad por movimientos de laderas, siendo prioritaria la caracterización de los tipos y mecanismos involucrados en la inestabilidad, de los factores que los controlan, y de sus causas.

En los siguientes apartados se aborda el estudio de las características y propiedades geológicas, geomecánicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, con influencia en la amplificación de los factores desencadenantes de los movimientos.

2.- METODOLOGÍA

La elaboración del Mapa de Peligrosidad por Movimientos del Terreno comprende la realización, al menos, de los siguientes trabajos:

- Estudio de fenómenos históricos, inventario de procesos localizados, magnitud, causas de los fenómenos y representación cartográfica.
- Análisis de los factores condicionantes para la generación de inestabilidades, tales como litología, pendientes del terreno, factores asociados como encharcamientos del terreno, socavación, etc.
- Análisis de los factores condicionantes en la zona de estudio y elaboración de mapas de susceptibilidad; superposición de los fenómenos históricos.
- Representación en mapa a escala 1:25.000 de las zonas con posibilidad de sufrir procesos de inestabilidad, clasificados según la peligrosidad de cada una.

Como punto de partida se ha procedido al ajuste de la cartografía disponible, geológica y geomorfológica, a la escala actual de trabajo 1:25.000.

El ajuste de la cartografía geológica disponible, hoja 145 “Sallent”, del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, ha permitido un afine fundamentalmente de los recubrimientos de materiales sueltos, y en general una adecuación de los contactos litológicos a la nueva base cartográfica, mucho más precisa con la incorporación además de numerosos elementos geomorfológicos (escarpes, cabeceras de deslizamiento, manifestación geomorfológica de génesis glaciár etc.), y de las áreas inventariadas con patologías en relación con deslizamientos planares, solifluxión y áreas fuente de material.

En base a criterios geomorfológicos se establecen las áreas más propensas a la inestabilidad bajo un punto de vista global, como son las zonas montañosas y escarpadas, zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valle fluviales, zonas con materiales blandos y sueltos, con macizos rocosos esquistosos y alterables, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada, etc.

En los siguientes apartados se analizan las distintas capas temáticas consideradas para la elaboración del mapa de peligrosidad.

3.- CONDICIONANTES CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

3.1- CONDICIONANTES GEOLÓGICOS, LITOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

La estructura geológica, estratigrafía y litología determinan la susceptibilidad de movimientos en los diferentes tipos de materiales rocosos y suelos, siendo favorecido en algunos casos por la existencia de planos de discontinuidad que pueden actuar como superficies de rotura. Aspectos como la composición, resistencia, deformabilidad, grado de alteración y fracturación, porosidad y permeabilidad determinan la posibilidad del terreno de sufrir roturas y desplazamientos bajo la actuación de determinados factores desencadenantes. En los macizos rocosos fracturados, con zonas de alteración, etc., estas condiciones son predominantes sobre la litología.

La dirección de buzamiento de la estratificación o esquistosidad respecto a la pendiente de las laderas puede tener un efecto potenciador de las inestabilidades. El factor estructural ha sido cuantificado además por consideraciones acerca de la calidad de la roca (índice RMR) dando una idea del grado de tectonización del material.

Se ha efectuado de partida una agrupación litológica de las distintas formaciones de acuerdo con las indicaciones del **Cuadro 3.1.I**, según dos grandes grupos; formaciones superficiales y sustrato rocoso.

En el primer grupo, **formaciones superficiales**, se incluyen la totalidad de litotipos granulares sueltos, diferenciándose tres subgrupos (S1, S2 y S3) en función de su composición granulométrica y cohesividad de la matriz, aspectos de especial importancia para definir la potencial inestabilidad de los depósitos.

Para los materiales constituidos del **sustrato rocoso** se establecen dos grandes grupos (A y B) en función de la génesis de los litotipos, rocas sedimentarias o metamórficas y rocas ígneas, con subdivisiones de acuerdo con la resistencia y alterabilidad de los niveles que incorporan.

FORMACIONES SUPERFICIALES

S. SUELOS DE GRANO GRUESO GRAVA Y SUELOS CON GRAVA (>50% RETENIDO UNE 0,080 mm; >50% FRACC. GRUESA RETENIDA UNE 5 mm)	S1. GRAVA LIMPIA (GRAVA BIEN O MAL GRADUADAS, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA, CON POCOS FINOS O SIN FINOS)	19, 20, 21 MORRENAS	Mezcla de grandes bloques, bolos, gravas (pocos finos limo-arcillosos). Incluye también los depósitos de glaciar rocoso
	S2. GRAVAS CON FINOS (Gravas limosas y/o arcillosas)	22 DERRUBIOS	Cantos angulosos, bloques, mezclados con arena
	S3. GRAVAS CON INTERCALACIONES ARENOSAS, LIMOSAS Y ARCILLOSAS	24 ALUVIAL	Gravas y bolos con arenas y ocasionalmente limos
		25 CONOS DE DEYECCIÓN	Cantos angulosos mezclados con arenas y limos
		21 TERRAZAS	Gravas con matriz areno arcillosa y limosa, a veces con recubrimiento o intercalaciones de niveles de arcillas.
		23 COLUVIAL	Bloques, bolos y gravas con matriz arenarcillosa o limosa, a veces con niveles de arcillas y limos
		26 MASAS DESLIZADAS	Bloques, bolos y gravas con matriz arenarcillosa o limosa, a veces con niveles de arcillas y limos

SUSTRATO ROCOSO

B. ROCAS SEDIMENTARIAS O METAMÓRFICAS	B1. FORMACIONES COMPLEJAS POR ROCAS DE RESISTENCIA ALTA (R.C.S. > 35-40 MPa).	B1.1	18	Calizas masivas (1)
		B1.1	15	Calizas (1)
		B1.1	13	Calizas de pátina gris clara (1)
		B1.1	7	Calizas negra (1)
	FORMACIONES QUE INCLUYEN ROCAS DE RESISTENCIA ALTA EN ESTADO INALTERADO Y DE ALTERABILIDAD ALTA (DESARROLLAN SUELOS Y TRAMOS ALTERADOS DE ESPESOR CONSIDERABLE) B2	B2	8	Pizarras
		B2	5	Pizarras ampelíticas
		B3.1	16	Calizas arenosas y areniscas margosas
	FORMACIONES CON COEXISTENCIA O ALTERNANCIA DE ROCAS DE RESISTENCIA ALTA Y ROCAS BLANDAS, ALTERABLE CON FACILIDAD B3	B3.1	14	Calizas arenosas ferruginosas
		B3.2	6	Pizarras y calizas
	ROCAS IGNEAS (ROCAS DE RESISTENCIA ALTA; R.C.S. > 35-40 MPa) A	B3.3	9	Calizas versicolores (2)
B3.3		10	Caliza de Gabiedou (2)	
A		4	Tonalitas	
A		3	Granodiorita de grano medio	
	A	2	Granodiorita clara de grano fino	
	A	1	Granito monzonítico	

(1) Niveles masivos o escasamente tableados (e > m)

(2) Niveles tableados o escasamente masivos (e < 0,5 m)

Cuadro 3.1.I.- Grupos litológicos diferenciados.

Los anteriores grupos litológicos se caracterizan geotécnicamente, de forma sintética, en base a condicionantes hidrogeológicos, de capacidad portante, excavabilidad y aprovechamiento, de acuerdo con lo indicado en el **Cuadro 3.1.II** (se incluye a título de ejemplo solo algunos de los grupos de suelo y roca analizados), según las áreas y zonas definidas. Los suelos, por su carácter homogéneo e isótropo, presentan menor complejidad en su caracterización, mientras que en los macizos rocosos que pueden tener muy distinto grado de fracturación, serán las propiedades de la matriz, de las discontinuidades o del macizo rocoso en su conjunto, las que determinen la resistencia y el comportamiento.

3.2.- CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS

El comportamiento hidrogeológico está asociado a sus características litológicas y estructurales y al grado de alteración y meteorización, aspectos en íntima relación con las condiciones climáticas de una zona determinada. En regiones de fuerte pluviometría como constituye el municipio de Panticosa es frecuente la presencia de importantes espesores de materiales alterados y meteorizados sobre los sustratos rocosos, principalmente desarrolladas sobre litotipos pizarrosos, y de niveles freáticos elevados que influyen decisivamente en las condiciones de estabilidad (el agua reduce la resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales, y aumentan los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y por la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades). También puede provocar cambios mineralógicos que pueden provocar la modificación de las propiedades y resistencia del material.

El desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático. En consecuencia, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas durante horas o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas) o plurianual (ciclos húmedos y de sequía).

Las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar movimientos superficiales, como deslizamientos y flujos de barro o derrubios, que afectan a materiales de alteración y a suelos, y desprendimientos de bloques rocosos previamente independizados del macizo, siendo frecuentes también las reactivaciones de antiguos deslizamientos.

ÁREA	ZONA	DESCRIPCIÓN				Condiciones hidrogeológicas	Capacidad Portante	Excavabilidad o ripabilidad	Aprovechamiento de los materiales	
S. Suelos cuaternarios	S1	24	GRAVA LIMPIA (GRAVAS BIEN O MAL GRADUADAS, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA, CON POCOS FINOS O SIN FINOS)	ALUVIALES	Gravas y bolos con arenas y ocasionalmente limos	ZONA LLANA	Permeabilidad alta-media por porosidad. Drenaje excelente	Capacidad portante buena (CBR 20-50)	Materiales excavables mediante carga directa con pala cargadora. Velocidad sísmica inferior a Vp=1500 m/s	Suelos adecuados para la formación de rellenos
		22		DERRUBIOS DE LADERA Y CANCHALES	Cantos angulosos, bloques, mezclados con arena	DEP. DE LADERA CON PREDOMINIO DE INCLINACIONES ENTRE 20° Y 35°	Permeabilidad alta-media por porosidad. Drenaje excelente	Capacidad portante buena (CBR 20-50)	Materiales excavables mediante carga directa con pala cargadora. Velocidad sísmica inferior a Vp=1500 m/s	Suelos adecuados para la formación de rellenos
		21		MORRENAS (BLOQUES ERRÁTICOS)	Mezcla de grandes bloques, bolos, gravas (pocos finos limo-arcillosos)	DEP. GLACIARES CON PENDIENTES MUY VARIABLES, DESDE LLANAS HASTA 40-45°	Permeabilidad alta-media por porosidad. Drenaje excelente	Capacidad portante buena (CBR 20-50)	Materiales excavables mediante carga directa con pala cargadora. Velocidad sísmica inferior a Vp=1500 m/s	Materiales aptos para su empleo en rellenos tipo todo-uno
	S2	25	GRAVAS CON FINOS	CONOS DE DEYECCIÓN	Cantos angulosos mezclados con arenas y limos	DEP. FLUVIALES INCLINACIONES MENORES DE 10° AUNQUE PUNTUALMENTE ALCANZAN 20°	Permeabilidad alta-media por porosidad. Drenaje excelente	Capacidad portante regular (CBR 10-20)	Materiales excavables mediante carga directa con pala cargadora. Velocidad sísmica inferior a Vp=1500 m/s	Suelos tolerables para la formación de rellenos
	S3	21	GRAVAS CON INTERCALACIONES ARENOSAS, LIMOSAS O ARCILLOSAS	TERRAZAS CONECTADAS	Gravas con matriz areno arcillosa y limosa, a veces con recubrimiento o intercalaciones de niveles de arcillas.	ZONA LLANA CON ESCARPES ACUSADOS DE PEQUEÑA ALTURA	Permeabilidad alta-media por porosidad. Drenaje excelente	Capacidad portante muy buena (CBR 50-80)	Materiales excavables mediante carga directa con pala cargadora. Velocidad sísmica inferior a Vp=1500 m/s	Suelos adecuados para la formación de rellenos
		26		MASAS DESLIZADAS (*)	Bloques, bolos y gravas con matriz arenoarcillosa o limosa	--	Permeabilidad media-baja por porosidad. Drenaje profundo lento, buena escorrentia	Capacidad portante mala (CBR <10)	Materiales rocosos ripables o escarificables. Velocidad sísmica Vp=1500 a 2200 m/s	Materiales aptos para su empleo en rellenos tipo todo-uno
A. ROCAS DURAS IGNEAS	A	4	ROCAS DURAS IGNEAS. FORMACIONES COMPUESTAS POR ROCAS DE RESISTENCIA ALTA (R.C.S. DE 30-40 MPa) Y ALTERABILIDAD BAJA	TONALITA	Tonalita anfibolítica con ausencia de feldespatos potásico, con minerales principales cuarzo, andesina, biotita, clinofanfol, y clinopiroxeno; sauriritización intensa de las plagioclasas. Abundantes diques de microtonalitas, de diabasas y de porfiritas andesínicas	CONSTITUYEN LADERAS CON INCLINACIONES VARIABLES HASTA VERTICALES, CON PREDOMINIO DE INCLINACIONES > 26°	Permeables por fisuración y/o carstificación. Drenaje profundo lento a favor de la red de diaclasado	Roca buena (R.M.R. 61-80)	Materiales no ripables (con requerimiento de voladuras) con intercalaciones ripables o marginales. Velocidad sísmica superior a Vp=2500 m/s. Rozabilidad regular a buena	Materiales aptos para su empleo en pedraplenes, así como para áridos
B. ROCAS SEDIMENTARIAS O METAMÓRFICAS	B1.1	18	ROCAS DURAS SEDIMENTARIAS O METAMÓRFICAS. NIVELES MASIVOS. FORMACIONES COMPUESTAS POR ROCAS DE RESISTENCIA ALTA (R.C.S. DE 30-40 MPa) EN NIVELES MASIVOS O ESCASAMENTE TABLEADOS (e > 1 m)	CALIZAS MASIVAS	Caliza masiva de aspecto blanquecino de grano fino en la base, intraclástica y gris hacia el centro de la serie, y de grano fino y blanca a techo. A techo caliza arenosa	CONSTITUYEN LADERAS CON INCLINACIONES VARIABLES HASTA VERTICALES CON PREDOMINIO DE INCLINACIONES > 26	Permeables por fisuración y/o carstificación. Drenaje profundo lento a favor de la red de diaclasado	Roca media (R.M.R. 41-60)	Materiales con requerimiento de voladuras. Velocidad sísmica superior a Vp=2500 m/s. Rozabilidad regular	Materiales aptos para su empleo en pedraplenes, así como para áridos
B. ROCAS SEDIMENTARIAS O METAMÓRFICAS	B2	8	ROCAS DURAS SEDIMENTARIAS O METAMÓRFICAS. FORMACIONES QUE INCLUYEN ROCAS DE RESISTENCIA ALTA EN ESTADO INALTERADO Y DE ALTERABILIDAD ALTA (LAS PIZARRAS DESARROLLAN SUELOS Y TRAMOS ALTERADOS DE ESPESOR CONSIDERABLE)	PIZARRAS	Pizarras negras a veces algo arenosas (hiladas claras). Se presentan intensamente deformadas	CONSTITUYEN LADERAS CON PENDIENTES MUY VARIABLES	Impermeable. Frenaje profundo practicamente nulo	Roca mala (R.M.R. 21-40)	Materiales de ripabilidad marginal a no ripables (con requerimiento de voladuras). Velocidad sísmica Vp=1200 a 2500 m/s. Rozabilidad regular a buena	Materiales aptos para su empleo en rellenos tipo todo-uno
	B3.1	16	ROCAS SEDIMENTARIAS COMPUESTAS POR ALTERNANCIAS DE LITOTIPOS DUROS/BLANDOS FORMACIONES CON COEXISTENCIA. ALTERNANCIA DE ROCAS DE RESISTENCIA ALTA Y ROCAS BLANDAS, ALTERABLES CON FACILIDAD	CALIZAS ARENOSAS Y ARENISCAS MARGOSAS	"Areniscas de Márboré". Calizas finamente arenosas y/o arcillosas, y areniscas de grano algo más grueso de cemento calcáreo en estratos de hasta 1 m. La parte inferior (100-200 m) es de morfología blanda; el superior lo componen areniscas de cemento dolomítico. dan importantes escarpes.	CONSTITUYEN LADERAS CON PENDIENTES VARIABLES CON PREDOMINIO DE INCLINACIONES MAYORES DE 20°	Permeables por fisuración y/o carstificación. Drenaje profundo lento a favor de la red de diaclasado	Roca buena (R.M.R. 61-80)	Materiales no ripables (con requerimiento de voladuras) con intercalaciones ripables o marginales. Velocidad sísmica superior a Vp=2500 m/s. Rozabilidad regular a buena	Materiales aptos para su empleo en rellenos tipo todo-uno

*Los glaciares actuales se han asimilado a este grupo por su peculiar comportamiento geotécnico.

Cuadro 3.1.II.- Síntesis geotécnica.

El desencadenamiento de deslizamientos profundos obedece más a condiciones climáticas a largo plazo, con regímenes de precipitación y condiciones de humedad suficientes para modificar de forma sustancial los niveles freáticos y el contenido en agua del terreno. Las inundaciones y avenidas magnifican el efecto desestabilizador de las lluvias en las laderas de los valles fluviales.

Otro tipo de acciones, son los procesos de hielo-deshielo estacionales que provocan inestabilidades superficiales (solifluxiones) en laderas de suelos de zonas frías y desprendimientos en macizos rocosos competentes (el hielo provoca la meteorización y fracturación del material).

Por último y dada su afeción al término municipal de Panticosa, es de considerar las modificaciones producidas en el régimen hidrogeológico por el embalse de Búbal, el cual supuso la elevación del nivel de agua de las laderas que lo limitan, provocando un aumento de presiones intersticiales que en ocasiones ha desencadenado, o acelerado, los deslizamientos en sus márgenes, siendo aún más desfavorable el descenso brusco del nivel del agua, por permanecer los materiales de las laderas con elevadas presiones intersticiales que no se disipan con la misma velocidad con la que desciende el agua.

3.3.- CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS, RELIEVE, ALTIMETRÍA Y PENDIENTES

El relieve juega un papel definitivo, ya que es necesaria cierta pendiente para que se produzcan los movimientos gravitacionales. Las regiones montañosas son las zonas más propensas a los movimientos de ladera. No obstante, en ocasiones, y dependiendo de otros factores, es suficiente una pendiente muy baja, de algunos grados, para que tengan lugar determinados tipos de inestabilidades, como los flujos de barro o tierra.

Para la elaboración de la presente cartografía han sido considerados los movimientos de ladera (actuales y antiguos) en relación con masa rocosas y de suelo deslizadas, grietas y escarpes, zonas aquejadas por fenómenos de solifluxión, roturas planas, así como de áreas fuente de material.

En el Cuadro 3.1.II se han apuntado algunas consideraciones sobre aspectos morfológicos, y de las pendientes asociadas, en relación con los diversos litotipos analizados.

La altimetría, en relación con la cota de base del manto de nieve en periodo de nevadas (aunque este no es función exclusiva de la cota) permite una diferenciación en función del estado de saturación del terreno, asignándose a tal fin la cota 1500 m.

En cuanto a las pendientes, y como elemento de primer orden a ponderar para el análisis de los movimientos de ladera, se han considerado los siguientes rangos, de mayor a menor susceptibilidad a los movimientos de ladera:

- Relieve montañoso. Pendiente natural mayor de 60°
- Relieve abrupto. Pendiente natural entre 40° a 60°
- Relieve ondulado. Pendiente natural entre 20° a 40°
- Relieve suave. Pendiente natural entre 10° < 20°
- Relieve plano. Pendiente natural menor de 10°

3.4.- IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA. VOLUMEN Y VELOCIDAD DE LAS MASAS INESTABILIZADAS

En la clasificación de los movimientos de ladera más extendidas (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; EPOCH, 1993, Dikau et al., 1996) se establecen referencias a los tipos de materiales involucrados, distinguiéndose generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, el mecanismo y tipo de rotura, así como otros aspectos como la velocidad y magnitud del movimiento e incluso contenido en agua del suelo.

En términos generales puede hablarse de deslizamientos, desprendimientos y flujos y coladas. Estos movimientos afectan tanto a los suelos como a las rocas, si bien el tipo de material condiciona la morfología del movimiento.

El siguiente paso en la investigación de los procesos de inestabilidad de laderas incluye la identificación de los mecanismos, modelos y tipo de rotura, el estudio de los factores que controlan los procesos y la evaluación de la extensión, frecuencia y recurrencia de los fenómenos. La descripción general de los movimientos de ladera debe incluir:

- Tipo de movimiento (desprendimientos, deslizamientos rotacionales deslizamientos translacionales en rocas o suelos, desplazamientos laterales, flujos de barro, flujos de tierras y derrubios)
- Material
- Dimensiones
- Actividad (activo < 100 años; inactivo 100-5.000 años; fósil o antiguo 5.000-10.000 años; relicto > 10.000 años)
- Distribución del movimiento dentro de la masa
- Velocidad (extremadamente rápido 5 m/s; muy rápido 3 m/min; rápido 1,8 m/h; moderado 13 m/mes; lento 1,6 m/año; muy lento 16 mm/año; extremadamente lento)
- Contenido en agua (seco, húmedo, muy húmedo, saturado)

En el caso de la velocidad de los procesos se ha optado para el presente estudio por una clasificación más simplificada y con mayores rangos. Análoga consideración se puede establecer para la cuantificación del volumen de las masas deslizadas.

En base a los aspectos considerados en el presente apartado han sido efectuadas las clasificaciones de los tipos de movimientos de terreno, volumen de masa inestabilizada y velocidad de los procesos, para los diversos grupos litológicos y geotécnicos diferenciados.

El **Cuadro 3.4.I** es el correspondiente a las tipologías de los movimientos observados, tanto para suelos como para rocas, ponderadas del 1 al 4 en función de la peligrosidad de los fenómenos asociados. De este modo el mayor riesgo de inestabilidad (ponderado como 4) corresponde a las propias masas deslizadas (no estabilizadas), a los glaciares actuales (con fusión y desprendimientos de bloques) y a los niveles de rocas ampelíticas, con las que se asocian frecuentemente deslizamientos planares afectando a grandes volúmenes de material, y rotacionales en los importantes horizontes de alteración que desarrollan.

Por contra, las formaciones litoestratigráficas más estables serían aquellas constituidas por niveles de suelo en áreas de pendiente reducida o de niveles rocosos masivos de adecuada disposición estructural y con bajo grado de tectonización.

Zona	UNIDAD	VALOR	Tipología del movimiento	
S1	ALUVIALES	1	ROCAS: DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES AISLADOS O CONJUNTO DE BLOQUES EN TALUDES VERTICALES O MUY ESCARPADOS	
S2	CONOS DE DEYECCIÓN			
S3	TERRAZAS CONECTADAS			
A	TONALITA			
	GRANODIORITA DE GRANO MEDIO			
	GRANODIORITA CLARA DE GRANO FINO			
	GRANITO MONZÓNICO			
B1.1	CALIZAS			
B1.1	CALIZAS DE PÁTINA GRIS CLARA			
B1.1	CALIZA TABLEADA NEGRA			
B1.3	MARMOL			
B1.1	CALIZAS MASIVAS			
B1.2	DOLOMIA TABLEADA			
S1	DERRUBIOS DE LADERA Y CANCHALES	3	SUELOS: ALUDES DE PIEDRAS, SOLAS O ACOMPAÑANDO A ALUDES DE NIEVE	
S1	MORRENAS (BLOQUES ERRÁTICOS)		SUELOS: DESLIZAMIENTOS Y COLADAS DE DERRUBIOS, DESPRENDIMIENTOS. SOLIFLUXIÓN EN ÁREAS ALTAS	
S1	GLACIAR ROCOSO			
S1	MORRENAS, CORDONES MORRÉNICOS			
S3	COLUVIAL			
B1.4	CUARCITAS Y PIZARRAS			ROCAS: DESPRENDIMIENTO FRECUENTE DE BLOQUES, O CONJUNTO DE BLOQUES, EN TALUDES VERTICALES O MUY ESCARPADOS. FORMACIÓN DE ACORNISAMIENTOS Y POSIBLE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES POR DESCALCE (ROTURA POR EFECTO DE MÉNSULA).
B3.3	CALIZAS DE GABIEDOU			
B3.3	CALIZAS VERSICOLORS			ROCAS: COLADAS DE DERRUBIOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (INCLUSO ARRASTRE MAT. INFRA YACENTE.). SOLIFLUXIÓN DE SUELOS DE RECUBRIMIENTO EN ÁREAS ALTAS (> 1,500 m)
B2	PIZARRAS			
B3.1	CALIZAS ARENOSAS Y ARENISCAS MARGOSAS			ROCAS: FLUJOS SUPERFICIALES EN INTERCALACIONES BLANDAS CON POSIBLE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES POR DESCALCE
B3.1	CALIZAS ARENOSAS FERRUGINOSAS			
B3.2	PIZARRAS Y CALIZAS			
B3.2	PIZARRAS Y CALIZAS			
	GLACIAR ACTUAL	4		DESPRENDIMIENTOS Y FUSIÓN DE BLOQUES DE HIELO
S3	MASAS DESLIZADAS		SUELO: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES ACTIVOS	
B2	PIZARRAS AMPELÍTICAS		ROCAS: COLADAS DE DERRUBIOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES Y PLANOS (INCLUSO ARRASTRE MAT. INFRA YACENTE.). SOLIFLUXIÓN DE SUELOS DE RECUBRIMIENTO EN ÁREAS ALTAS (> 1,500 m)	
B2	PIZARRAS AMPELÍTICAS			

Cuadro 3.4.I.- Clasificación en función de la tipología de movimientos encontrados.

En cuanto al volumen de las posibles masas inestabilizadas, y ante la gran variabilidad de estos, se ha optado por establecer una división en dos grandes grupos. Como volúmenes muy pequeños a pequeños se han considerado los materiales cuaternarios escasamente afectados por inestabilidades, que además aparecen dispuestos en áreas de escasa pendiente, y los niveles rocosos sanos y escasamente diaclasados, que aún cuando podrían generar grandes bloques su probabilidad de caída es más reducida. El resto de materiales, que podrían generar masas inestables de volumen pequeño a grande, corresponden a depósitos cuaternarios de ladera y masas rocosas tableadas, con intercalaciones de materiales erosionables, y fundamentalmente masas pizarrosas. El **Cuadro 3.4.II** corresponde a la clasificación realizada.

En cuanto a la velocidad con que suelen acontecer las inestabilidades según los litotipos considerados, ha sido realizada la clasificación incluida en el **Cuadro 3.4.III**, Se establecen así para los materiales diferenciados en el municipio de Panticosa cuatro grandes grupos (ponderados de 1 a 4) en función de la velocidad del proceso, siendo los más rápidos los relacionados con la caída de bloque en las formaciones que desarrollan cantiles rocosos.

Zona	UNIDAD	VALOR	VOLUMEN		
S1	ALUVIALES	1	MUY PEQUEÑO A PEQUEÑO		
S1	DERRUBIOS DE LADERA Y CANCHALES				
S2	CONOS DE DEYECCION				
S3	TERRAZAS CONECTADAS				
A	TONALITA				
	GRANODIORITA DE GRANO MEDIO				
	GRANODIORITA CLARA DE GRANO FINO				
	GRANITO MONZÓNICO				
B1.1	CALIZAS MASIVAS				
B1.1	CALIZAS				
B1.1	CALIZAS DE PÁTINA GRIS CLARA				
B1.1	CALIZA TABLEADA NEGRA				
B1.2	DOLOMIA TABLEADA				
B1.4	CUARCITAS Y PIZARRAS				
B3.3	CALIZAS VERSICOLORS				
	GLACIAR ACTUAL			2	PEQUEÑO A GRANDE
S1	MORRENAS (BLOQUES ERRÁTICOS)				
S1	GLACIAR ROCOSO				
S1	MORRENAS, CORDONES MORRÉNICOS				
S3	COLUVIAL				
S3	MASAS DESLIZADAS				
B1.3	MARMOL				
B2	PIZARRAS				
B2	PIZARRAS AMPELÍTICAS				
B3.1	CALIZAS ARENOSAS Y ARENISCAS MARGOSAS				
B3.1	CALIZAS ARENOSAS FERRUGINOSAS				
B3.2	PIZARRAS Y CALIZAS				
B3.3	CALIZAS DE GABIEDOU				

Cuadro 3.4.II.- Clasificación en función del volumen de las masas susceptibles de inestabilización.

Zona	UNIDAD	VALOR	VELOCIDAD
	GLACIAR ACTUAL	1	LENTO A MODERADO
S2	CONOS DE DEYECCION		
S3	MASAS DESLIZADAS		
S1	ALUVIALES	2	MODERADOS A MUY RÁPIDOS
S1	MORRENAS (BLOQUES ERRÁTICOS)		
S1	GLACIAR ROCOSO		
S1	MORRENAS, CORDONES MORRÉNICOS		
S3	TERRAZAS CONECTADAS		
S3	COLUVIAL		
B1.3	MARMOL		
B2	PIZARRAS	3	LENTO A MUY RÁPIDO
B2	PIZARRAS AMPELÍTICAS		
B3.1	CALIZAS ARENOSAS Y ARENISCAS MARGOSAS		
B3.1	CALIZAS ARENOSAS FERRUGINOSAS		
B3.2	PIZARRAS Y CALIZAS		
B3.3	CALIZAS DE GABIEDOU		
S1	DERRUBIOS DE LADERA Y CANCHALES	4	MUY RÁPIDO A EXTR. RÁPIDO
	TONALITA		
A	GRANODIORITA DE GRANO MEDIO		
	GRANODIORITA CLARA DE GRANO FINO		
	GRANITO MONZÓNICO		
B1.1	CALIZAS MASIVAS		
B1.1	CALIZAS		
B1.1	CALIZAS DE PÁTINA GRIS CLARA		
B1.1	CALIZA TABLEADA NEGRA		
B1.2	DOLOMIA TABLEADA		
B1.4	CUARCITAS Y PIZARRAS		
B3.3	CALIZAS VERSICOLORS		

Cuadro 3.4.III.- Clasificación en función de la velocidad de los procesos.

4.- MAPA DE PELIGROSIDAD POR MOVIMIENTOS DE LADERA

La integración de los aspectos desarrollados en los anteriores apartados permiten realizar mapas de movimientos del terreno para asegurar el correcto uso del territorio y servir de base para el diseño y construcción de obras de ingeniería.

La representación cartográfica del “Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera” elaborado, cuyo extracto es el incluido en la **Figura 4.a**, incluye:

- Localización de los procesos y zonas afectadas (densidad, distribución y grado de actividad de los procesos)
- Representación de los factores que los condicionan
- Representación de las zonas susceptibles y zonificación de la peligrosidad

Se ha considerado conveniente la separación, para la determinación de las matrices de peligrosidad, de dos grandes grupos: suelo y roca. Las matrices generadas son las incluidas como **Cuadros 4.I y 4.II**.

Para los diversos grupos de materiales sueltos se establecen 3 subgrupos en función de la influencia de las condiciones y características del terreno:

- S-I. No son posibles movimientos en bordes escarpados. Se han separado los suelos de conos de deyección, más inestables que los aluviales y depósitos de terraza.
- S-II. Aludes de piedras, solas o acompañando a aludes de nieve. Deslizamientos y coladas de derrubios, desprendimientos. Soliflucción en áreas altas. Se han separado los niveles coluviales, derrubios de ladera y canchales por su mayor susceptibilidad para generar movimientos de ladera.
- S-III. Deslizamiento rotacionales activos y desprendimiento y fusión de bloques de hielo.

Los anteriores grupos establecidos por las condiciones de los terrenos, según las pendientes o condiciones orográficas en que son afectados, generan la matriz de peligrosidad sísmica incluida como Cuadro 4.I.

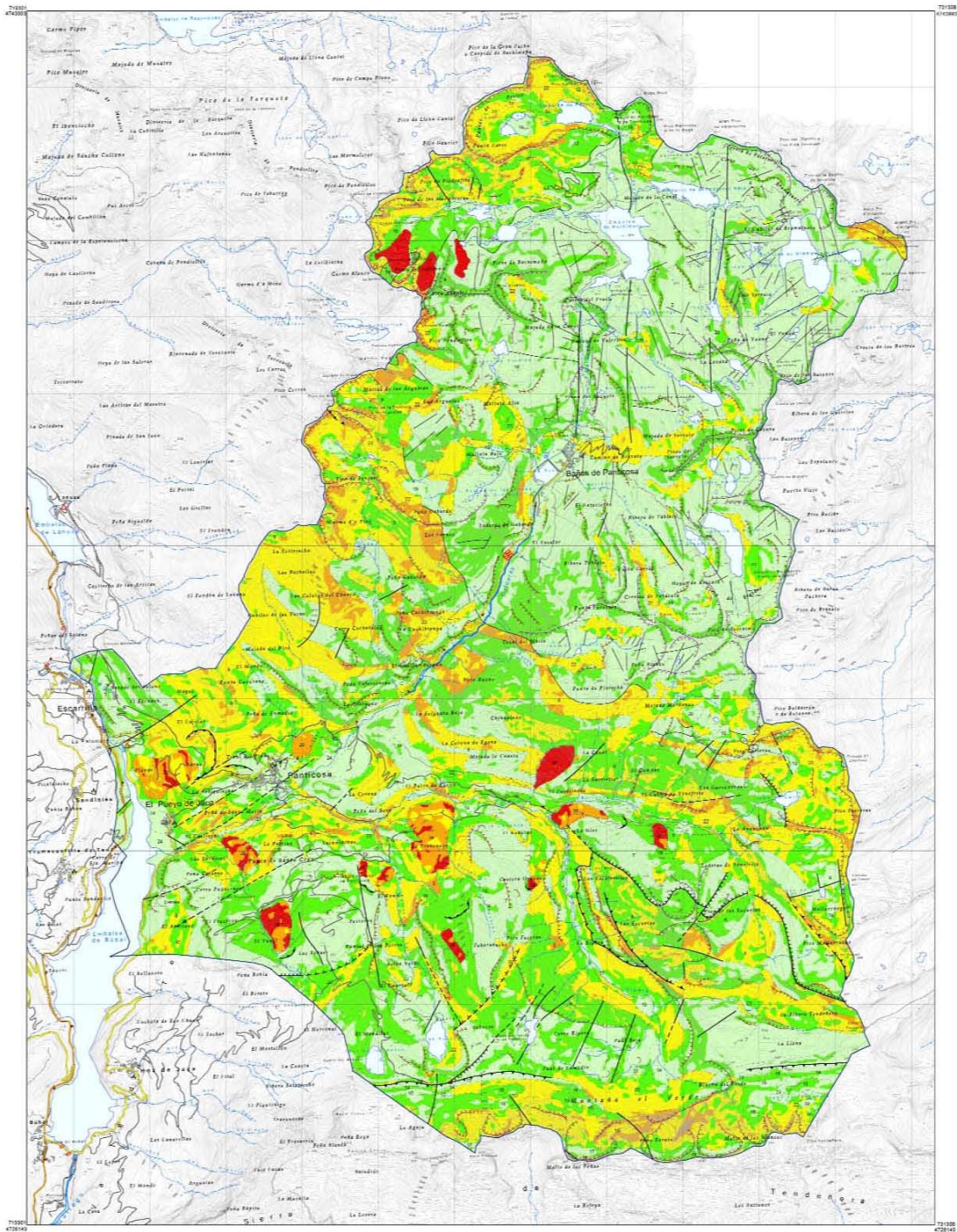


Figura 4.a.- Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera en el municipio de Panticosa.

Suelo						
		Baja	Media	Alta	Muy alta	
SUSCEPTIBILIDAD A LAS INESTABILIDADES DE LOS DISTINTOS LITOTIPOS EN FUNCIÓN DE LAS PENDIENTES NATURALES	Relieve montañoso. Pendientes naturales mayores de 60°	4-S1a	4-S1b	4-S1a	4-S1b	4-S11a
	Relieve abrupto. Pendientes naturales de 40° a 60°	3-S1a	3-S1b	3-S1a	3-S1b	3-S11a
	Relieve ondulado. Pendientes naturales de 20° a 40°	2-S1a	2-S1b	2-S1a	2-S1b	2-S11a
	Relieve suave. Pendientes naturales de 10° a 20°	1-S1a	3-S1b	1-S1a	1-S1b	1-S11a
	Relieve plano. Pendientes naturales menores de 10°	0-S1a	0-S1b	0-S1a	0-S1b	0-S11a
		Baja		Media		
INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO (APTITUD)						
S-I. NO SON POSIBLES MOVIMIENTOS DE MASAS. PEQUEÑOS DESLIZAMIENTOS O DESPLOMES EN BORDES ESCARPADOS			S-II. ALUDES DE PIEDRAS, SOLAS O ACOMPAÑANDO A ALUDES DE NIEVE. DESLIZAMIENTOS Y COLADAS DE DERRUBIOS. DESPRENDIMIENTOS. SOLIFLUXIÓN EN ÁREAS ALTAS		S-III. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES ACTIVOS	
24. ALUVIALES	25. CONOS DE DEYECCIÓN	19. MORRENAS, CORDONES MORRENICOS	23. COLUVIAL	26. MASAS DESLIZADAS		
21. TERRAZAS CONECTADAS		20. GLACIAR ROCOSO	22. DERRUBIOS DE LADERA Y CANCHALES	27. GLACIAR ACTUAL		

Cuadro 4.I.- Matriz de peligrosidad por movimientos de terreno. Suelos.

Rocas						
Baja	Media	Alta			Muy alta	
4-R1	4-R11	4-R111	4-R11V	4-R1V	4-R1VI	
3-R1	3-R11	3-R111	3-R11V	3-R1V	3-R1VI	
2-R1	2-R11	2-R111	2-R11V	2-R1V	2-R1VI	
1-R1	1-R11	1-R111	1-R11V	1-R1V	1-R1VI	
0-R1	0-R11	0-R111	0-R11V	0-R1V	0-R1VI	
Muy baja					Baja	
INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO (APTITUD)						
R-I. DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES AISLADOS O CONJUNTO DE BLOQUES EN TALUDES VERTICALES O MUY ESCARPADOS	R-II. DESPRENDIMIENTO OCASIONAL DE BLOQUES, O CONJUNTO DE BLOQUES, EN TALUDES VERTICALES O MUY ESCARPADOS	R-III. FLUJOS DESPRENDIMIENTO FRECUENTE DE BLOQUES, O CONJUNTO DE BLOQUES, EN TALUDES VERTICALES O MUY ESCARPADOS. FORMACIÓN DE ACORNISMIENTOS Y POSIBLE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES POR DESCALCE (ROTURA POR EFECTO DE MENSURA).	R-IV. FLUJOS SUPERFICIALES EN INTERCALACIONES BLANDAS CON POSIBLE DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES POR DESCALCE	R-V. COLADAS DE DERRUBIOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (INCLUIDO ARRASTRE MAT. INFRAYACENTE). SOLIFLUXIÓN DE SUELOS DE RECUBRIMIENTO EN ÁREAS ALTAS (> 1.500 m)	R-VI. COLADAS DE DERRUBIOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES Y PLANOS (INCLUIDO ARRASTRE MAT. INFRAYACENTE). SOLIFLUXIÓN DE SUELOS DE RECUBRIMIENTO EN ÁREAS ALTAS (> 1.500 m)	
15. CALIZAS	18. CALIZAS MASIVAS	12. CUARCITAS Y PIZARRAS	16. CALIZAS ARENOSAS Y ARENISCAS MARGOSAS	8. PIZARRAS	5. PIZARRAS AMPELÍTICAS	
13. CALIZAS DE PÁTINA GRIS CLARA	17. DOLOMÍA TABLEADA	10. CALIZAS DE GABIEDOU	14. CALIZAS ARENOSAS FERRUGINOSAS			
11. MÁRMOL		13. CALIZAS VERSICOLORS	6. PIZARRAS Y CALIZAS			
7. CALIZA TABLEADA NEGRA						
4. TONALITA						
3. GRANODIORITA DE GRANO MEDIO						
2. GRANODIORITA CLARA DE GRANO FINO						
1. GRANITO MONZÓNICO						

Cuadro 4.II.- Matriz de peligrosidad por movimientos de terreno. Sustrato rocoso.

El mayor riesgo de inestabilidad correspondería, obviamente, a las masas ya inestabilizadas, amplificado por una mayor pendiente del depósito, seguido por los niveles sueltos o escasamente trabados por matriz, coluviales, derrubios de ladera y canchales. En el otro extremo, en cuanto a estabilidad, se situarían los niveles de terraza.

Para los niveles rocosos (incluidas en el Cuadro 4.II) se establecen seis grandes grupos de materiales en función de la influencia y características del terreno:

- R-I. Desprendimiento de bloques aislados o conjunto de bloques en taludes verticales o muy escarpados.
- R-II. Desprendimiento ocasional de bloques, o conjunto de bloques, en taludes verticales o muy escarpados.
- R-III. Flujos, desprendimiento frecuente de bloques, o conjunto de bloques, en taludes verticales o muy escarpados. Formación de acornisamientos y posible desprendimiento de bloques por descalce (rotura por efecto de ménsula).
- R-IV. Flujos superficiales en intercalaciones blandas con posible desprendimiento de bloques por descalce.
- R-V. Coladas de derrubios, deslizamientos rotacionales (incluso arrastre del material infrayacente). Soliflucción de suelos de recubrimientos en áreas altas (> 1.500 m).
- R-VI. Coladas de derrubios, deslizamientos rotacionales y planos (incluso arrastre del material infrayacente). Soliflucción de suelos de recubrimientos en áreas altas (> 1.500 m).

Al igual que en el caso de los niveles de suelo se ha establecido una matriz de peligrosidad por la relación de los anteriores grupos con las pendientes naturales.

Los niveles rocosos de mayor peligrosidad se identifican completamente en relación con los litotipos pizarrosos, acrecentándose en aquellos de naturaleza ampelítica. Los grupos R-III y R-IV tiene un comportamiento global similar, aunque derivan en tipos de movimientos diferentes. Los de los grupos R-I y R-II también presentan un comportamiento similar, más susceptibles de generar inestabilidades en el R-II por la configuración más tableada del material.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-Carcedo FJ y Corominas J.; 2003: Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG: fundamentos y aplicaciones en España. Madrid: IGME, 191 pp.
- Dikau, R. & Jäger, S. 1995. Landslide hazard modelling in New Mexico and Germany. McGregor, D.F.M. & D.A.Thompson (eds.) Geomorphology and Land management in a Changing Environment. John Wiley & Sons, pp.51-68.
- Hansen, A, 1984 Landslide Hazard Analysis. In slope Instability, (D. Brunsen and D.B Prior eds.), Johan Wiley & Sons, New York, pp. 523-602.
- Hervás, J. y Barredo, J.I. (2001): Evaluación de peligrosidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. V Simposio Nacional sobre Laderas y Taludes Inestables, Madrid.
- IGME; Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 145 "Sallent". 1987.
- IGME; "Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Alcoy: vulnerabilidad y riesgo sísmico". Serie: Ingeniería Geoambiental. Madrid 1990.
- Irigaray, C. 1995: Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un sistema de información geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada). Tesis Doctoral. Dpto de Ing. Civil. Universidad de Granada. 578pp.
- Irigaray, C.; Fernández, T. y Chacón J. (eds) 1996: Comparative analysis of methods for landslide susceptibility mapping. Landslides. 373-384. Balkema, Rotterdam.
- Laín-Huerta, L.(ed), 1999: Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente. Madrid, ITGE. 227pp.
- Leone, F.; Asté, J.P.; y Leroi, E.1996: Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement. Working toward a better risk perception. En Senneset, K. (ed) 1996: "Landslides (Glissements de Terrain Vol. I)", pp 263-270.
- Rengers, N.; Soeters, R.; and van Westen, C.J. 1992. "Remote Sensing and GIS Applied to Mountain Hazard Mapping." Episodes. 15(1): pp. 36-45.
- Tangestani M. H. 2004: Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma approach in a GIS, Kakan catchment area, southwest Iran. Australian Journal of Earth Sciences Vol. 51 Issue 3 Page 439.
- Van Western, C.J. 1993: Application of Geographic information Systems to Landslide Hazard Zonation. ITC-Publication nu. 15, ITC, Enschede, The Netherlands, 245 pp.
- Van Westen CJ, Rengers N, Terlien MTJ, Soeters R (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geol Rundsch, 86, 404-414.
- Varnes, DJ 1984: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Natural Hazards 3, 63 pp.