

PRIMEROS RESULTADOS SOBRE LA ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD GEOMORFOLÓGICA EN LA SIERRA DE LA DEMANDA (HMTN 240, EZCARAY, LA RIOJA)

Luis Ortigosa (1), José Arnáez (1) y José M^a García Ruiz (2)

(1) Area de Geografía Física (DCHS) Universidad de La Rioja

(2) Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)

Las áreas de montaña son espacios especialmente sensibles a diversos procesos geomorfológicos. Su presencia y diversidad varían de unas montañas a otras en función de numerosos factores geoecológicos, aunque es aceptado que se intensifican con la altitud (efecto climático), con el incremento del gradiente de las laderas, con el deterioro de la cubierta vegetal y con un uso intenso por parte del hombre. También la actividad tectónica, sobre todo en montañas jóvenes, favorece la actividad de los procesos geomorfológicos (García Ruiz, 1990; Arnáez, 1990).

La cartografía geomorfológica es un instrumento fundamental para localizar y, posteriormente, analizar las formas del relieve y los procesos actuales de erosión. Por lo que respecta a estos últimos, conocer su distribución espacial, frecuencia y magnitud, e identificar los factores geoecológicos que los controlan se convierte en un objetivo básico si se desea disponer de información ambiental. En un paso más, la confección de una cartografía de vulnerabilidad geomorfológica aporta criterios para una adecuada gestión territorial de las áreas de montaña, priorizando espacios de intervención (replantaciones forestales, mejoras pastorales) y advirtiendo sobre la probable existencia de amenazas geomorfológicas.

La realización y estudio de la cartografía geomorfológica se ha visto reforzada a partir de la generalización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos ponen a disposición del investigador una amplia y precisa información susceptible de ser poste-

riormente analizada estadísticamente. A partir de este análisis se puede comprobar el peso de algunos factores ambientales en la organización espacial de geoformas y procesos de erosión (González, *et al.*, 1995; García Ruiz, *et al.*, 1996). Además, y como resultado de la aplicación de diversos análisis multifactoriales puede dibujarse una cartografía de riesgos erosivos (Sarkar *et al.*, 1995; Van Westen, 1994).

Estos son algunos de los aspectos tratados en este artículo. En concreto, se persigue conocer, en el sector central de la Sierra de la Demanda (La Rioja, España), la organización espacial de la dinámica geomorfológica en relación con los factores topográficos y ambientales, empleando los recursos informáticos implícitos en los Sistemas de Información Geográfica y en procedimientos estadísticos multifactoriales. A partir de la identificación de estos factores de control, y una vez evaluado su efecto relativo en el funcionamiento de las vertientes, se obtiene mediante cartografía automática un modelo de vulnerabilidad geomorfológica, basado en los principios de probabilidad y fiabilidad estadística.

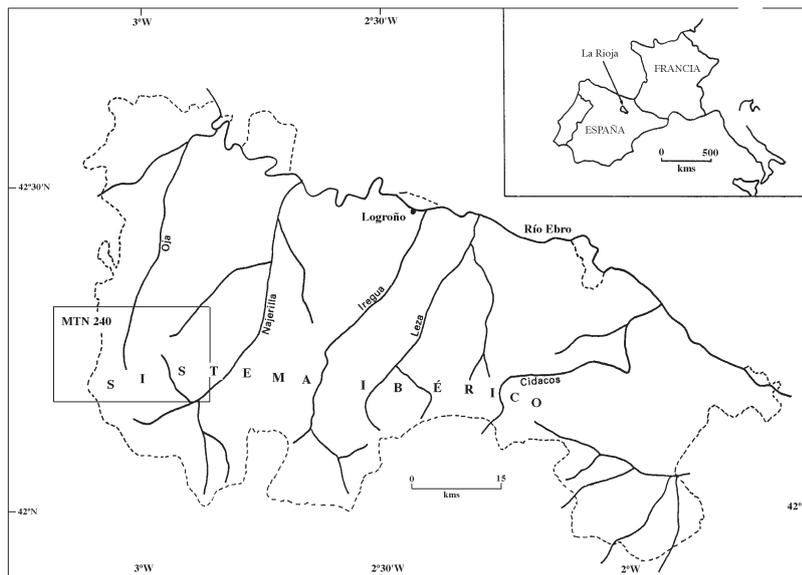
1. Area de estudio

El área de estudio corresponde a la hoja del mapa topográfico de Ezcaray (HMTN 240, La Rioja) (Fig. 1). Esta hoja incluye en su totalidad el sector central de la Sierra de la Demanda, macizo localizado al suroeste de La Rioja, que incorpora los altos valles de los ríos Oja, Tirón y parcialmente el alto Najerilla (ríos Cárdenas, Tobía y Valvanera). La cima más elevada se localiza en el pico de San Lorenzo (2263 m) y prácticamente toda la línea de cumbres principal supera los 2000 m. El sector reúne las características más destacadas del conjunto demandino.

La Sierra de la Demanda está configurada por un zócalo herciniano exhumado, refallado y levantado durante la orogenia alpina. Los materiales predominantes son las cuarcitas y esquistos paleozoicos, aunque sectorialmente también están presentes las calizas y areniscas mesozoicas. Los materiales cuaternarios aparecen representados en depósitos aluviales (terrazas y conos de deyección), así como en depósitos glaciares (morrenas), coluviones y canchales. El relieve característico de la Sierra viene definido por unas laderas pronunciadas, incididas por estrechos barrancos y culminadas por divisorias alomadas, resultado de antiguas superficies de erosión.

El papel de la altitud y su posición abierta a las influencias atlánticas hacen que en la Sierra de la Demanda casi no exista déficit pluviométrico estival, con totales anuales que oscilan entre los 700 mm del piedemonte y los más de 1500 mm de las líneas de cumbres. La temperatura media anual se sitúa en los 9-10°C. Los sectores más elevados están muy próximos a la isoterma media anual de los 0°C, por lo que se aprecia sectorialmente un funcionamiento de procesos geomorfológicos periglaciares (terrasetas, canchales, turbaciones de suelo, etc). La vegetación se distribuye en niveles o pisos altitudinales: un nivel inferior ocupado por el espa-

Figura 1 Localización del área de estudio (Ezcaray HMTN 240)



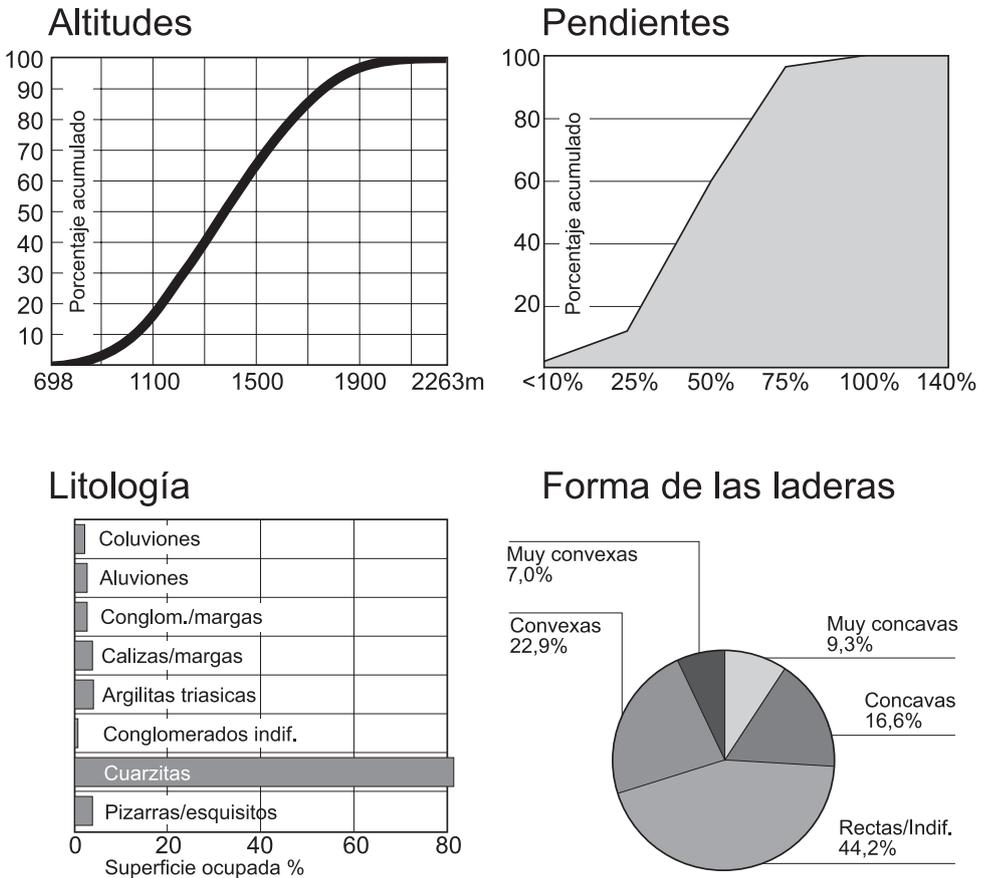
cio agrícola abandonado, cubierto en la actualidad por el matorral; un piso intermedio dominado por una cubierta forestal (*Fagus silvatica* y *Quercus pyrenaica*) y, en su ausencia, por el matorral (*Genista florida*, *Cytisus scoparius*, *Erica arborea*) (Fig. 2); y finalmente un nivel supraforestal, con *Calluna vulgaris*, diversas *Ericas*, *Juniperus communis ss. nana*, *Vaccinium myrtillus*, etc. En el conjunto de la sierra también tienen considerable importancia las repoblaciones forestales de coníferas (pino silvestre y laricio, alerces...).

2. Metodología

Para la realización del trabajo se ha incluido información geomorfológica, geológica, topográfica y de vegetación-usos del suelo de la hoja del MTN 240 (Ezcaray), correspondiente al sector central de la Sierra de la Demanda, en un sistema de información geográfica (SIG). En la Fig. 3, y a modo de ejemplo, se representan algunos de los mapas temáticos resultantes.

La cartografía geomorfológica utilizada ha sido la elaborada por Arnáez & García-Ruiz (1990) a partir de la fotografía aérea a escala 1:18000. Los símbolos representativos de los diferentes procesos han sido digitalizados en forma de polígonos y líneas codificadas. También, con la fotografía aérea 1:18000 y el Mapa Forestal de La Rioja (Fernández Aldana, et al., 1989) se preparó la cartografía de la vegetación y usos del suelo para posteriormente utilizarla como una nueva capa del SIG. Se digitalizó, por último, el mapa lito-

Figura 2 Características geoecológicas del área de estudio



lógico, derivado de una simplificación del mapa geológico del Instituto Geológico y Minero (ITGME, 1978).

Las capas temáticas relativas a la topografía han sido obtenidas del modelo digital del terreno comercializado por el Instituto Geográfico Nacional de 25x25 m de resolución espacial (MDT25), si bien definitivamente se trabajó con la resolución de 50x50 metros. Del MDT se obtuvo la cartografía altitudinal, el mapa de pendientes y el mapa de orientación solar. A propósito de este último mapa -y con el objeto de que dicho factor pueda ser empleado estadísticamente- hay que indicar que los valores se transformaron en un índice que varía entre 0 (laderas más umbrías) y 180 (más soleadas). También se ha incluido información sobre la forma de las laderas (grado de concavidad o convexidad), ya que este factor puede

condicionar el funcionamiento hídrico y sedimentológico de las laderas. Este mapa temático plantea problemas conceptuales y de elaboración técnica, aunque por su demostrado interés se ha elaborado siguiendo los criterios y métodos desarrollados por Ortigosa et al. (1998).

Los análisis estadísticos han sido realizados con un programa específico (SPSS), importando los mapas temáticos como variables y, en sentido contrario, exportando al SIG las series codificadas como imágenes cartográficas. De este modo, se han transformado los resultados probabilísticos de los procedimientos multifactoriales a imágenes cartográficas: mapa de vulnerabilidad geomorfológica.

3. Resultados

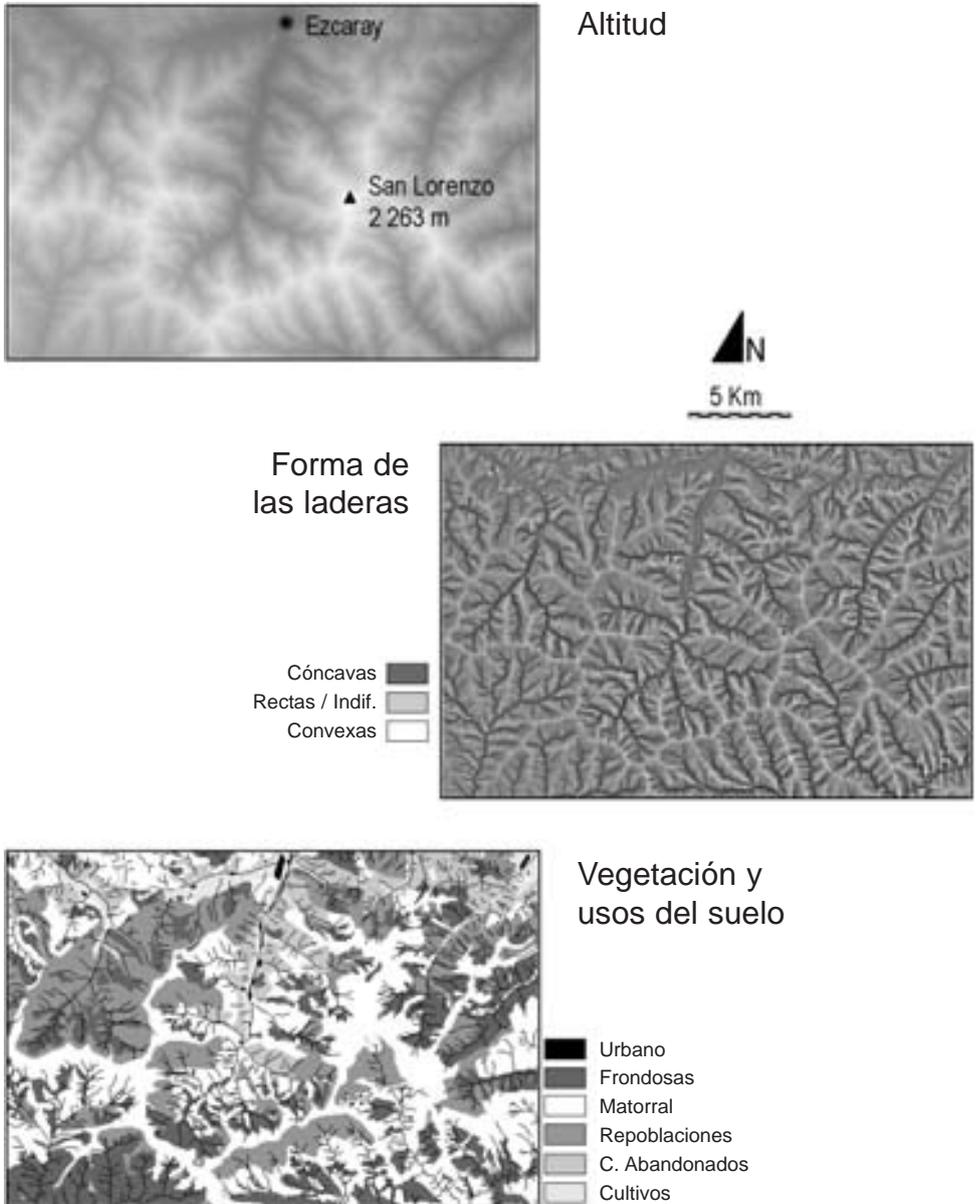
El área de estudio presenta una importante diversidad de formas y procesos de erosión en las laderas. Destacan las geoformas heredadas, especialmente las derivadas de la acción glaciar (circos, nichos de nivación o morrenas) y periglacial (canchales, terracillas, etc). Entre los procesos subactuales o actuales destacan los movimientos en masa, especialmente los desprendimientos y las coladas de piedra y barro (debris flows). Unos y otros son fácilmente perceptibles por los nichos cóncavos del arranque y, en muchas ocasiones, por los lóbulos de desplazamiento parcialmente colonizados por la vegetación (tabla 1). Al menos unos 417 desprendimientos de tamaño variables (0,7-20 Ha) pueden observarse en el área de estudio. Los debris flows que afectan a los canchales y mantos de derrubios se presentan en mayor número, aunque ocupan una menor superficie total. Los movimientos en masa lentos, como la soliflucción, son mucho más escasos (afectan a 30 Ha según los datos cartográficos), y aún más infrecuentes son los deslizamientos superficiales (6 Ha) asociados en la mayoría de los casos a las áreas de soliflucción.

Tabla 1. Importancia relativa de algunas geoformas y procesos erosivos en el área de estudio (Mapa geomorfológico de Ezcaray)

Geoformas	Superficie (%)	Geoformas	Superficie (%)
Procesos en vertientes		Formas glaciares y periglaciares	
Desprendimientos	435 Ha (0.9)	Canchales	698 Ha (1,4)
Lóbulos de desprendimientos	196 Ha (0.4)	Terracillas	3 Ha (+ 0)
Lóbulos de soliflucción	30 Ha (0.1)	Circos	175 Ha (0,3)
Cárcavas (gullies)	37 Ha (0.1)	Nichos de nivación	42 Ha (0,1)
Deslizamientos superficiales	6 Ha (+ 0)	Canales de aludes	25 Ha (+0)
Coladas (debris flows)	291 Ha (0.6)	Glaciares rocosos	6 Ha (+0)
Cabeceras activas de barranco	169 Ha (0.3)	Depósitos morrénicos	29 Ha (0,1)
Rigolas (rills)	149 Ha (0.3)		
Erosión difusa	315 Ha (0.6)		

La superficie total es de 506,9 Km²

Figura 3 Cartografía temática del área de estudio



La actividad de la escorrentía superficial se deja notar en la formación de pequeñas incisiones y canales más desarrollados (rigolas y cárcavas, respectivamente). Es frecuente que estas formas aparezcan asociadas a las cuencas de recepción de los barrancos, donde la concavidad favorece la concentración hídrica y la erosión. En las vertientes rectilíneas la actividad del agua superficial se manifiesta por la aparición de una erosión difusa de diferente intensidad (tabla 1). La más severa, en áreas con escasa vegetación, deja unos suelos pedregosos, con una horizonte superior del suelo muy degradado, y la aparición de pequeñas incisiones. La erosión difusa moderada sólo permite ver algunos indicios del papel del agua en el suelo: descalzamiento de raíces de matorral, pequeñas incisiones sin jerarquizar y cambiantes, etc.

En la tabla 2 pueden observarse los resultados cuantitativos de la distribución de los principales movimientos en masa y fenómenos erosivos según las variables geocológicas consideradas. Los procesos de erosión tienden a generarse por encima de 1400 m, en laderas de medias y fuertes pendientes (>35%), que son las más habituales en la Demanda. Además, como podemos deducir del índice de exposición (orientación predominante), fenómenos tales como los debris flows y las cárcavas son más frecuentes en las exposiciones solanas, a diferencia de la solifluxión que es más propia de las exposiciones

Tabla 2. Características morfotopográficas de diferentes movimientos en masa y fenómenos erosivos

Geoformas		Altitud (m)	Pendiente (%)	Distancia a divisoria(m)	Índice de Orientación	Índice Morfológico
Desprendimientos	Media	1458.59	46.82	188.10	97.38	479.23
	Desv. típ.	246.57	14.87	126.82	50.72	66.16
Solifluxión	Media	1561.33	42.13	145.98	57.56	499.97
	Desv. típ.	212.32	12.71	102.24	45.80	57.42
Coladas de piedras	Media	1586.92	50.83	232.49	119.49	459.86
	Desv. típ.	231.54	12.29	134.06	40.81	65.43
Cab. activ. barran.	Media	1530.49	58.64	205.89	90.50	425.61
	Desv. típ.	185.22	12.48	114.19	50.08	75.75
Cárcavas	Media	1744.45	47.46	278.09	120.04	399.47
	Desv. típ.	130.90	11.11	106.35	39.24	64.31
Erosión difusa	Media	1173.21	50.94	182.56	133.50	490.72
	Desv. típ.	195.04	15.25	135.70	37.45	70.68
Total	Media	1379.50	46.59	181.97	90.80	476.95
	Desv. típ.	281.10	17.11	154.92	51.89	89.78

Todos los análisis de varianza tienen significación estadística superior a $p=0.01$

Las variables índice tienen valores relativos. El índice de orientación varía de 0 (norte) a 180 (sur). El índice morfológico indica una mayor convexidad de las laderas a medida que aumenta el valor.

Tabla 3. Superficies asociadas (Ha) e índices de contingencia entre las clases de usos del suelo y diversos fenómenos geomorfológicos

	Espacio Urbano	Hayedos	Matorral	Republ. Forestal	Campos aband.	Culti-vos	Queji-gales	Roble-dales	Enci-nares
Sin procesos	98	11758	19220	10793	3885	1960	359	735	466
Indice*	.0	3.8	-1.4	-2.5	-9	1.8	-.5	.8	.6
Desprendim.	0	63	134	197	22	3	2	4	0
Indice	-1.8	-7.3	-5.1	21.2	-3.9	-6.9	-1.6	-1.6	-3.7
Soliflucción	0	6	22	1	1	0	1	0	0
Indice	-.5	-1.1	6.1	-4.7	-2.1	-2.2	3.3	-1.3	-1.1
Coladas	0	26	131	122	7	1	0	1	2
Indice	-1.5	-10.1	3.2	14.3	-6.6	-6.4	-2.6	-2.9	-.6
Cab.act.barranco	0	12	108	39	1	1	5	0	3
Indice	-1.2	-8.8	10.5	.5	-7.0	-4.3	5.8	-3.1	2.3
Cárcavas	0	1	15	21	0	0	0	1	0
Indice	-.5	-5.4	.2	8.5	-3.4	-2.4	-1.0	1.2	-1.2
Erosión difusa	3	3	164	20	106	11	6	2	4
Indice	5.4	-16.4	7.3	-11.9	32.4	-.9	4.2	-2.9	-2.3
Rigolas	0	18	78	45	4	0	2	2	0
Indice	-1.1	-5.6	5.1	4.1	-4.4	-4.8	2.2	-.9	-2.4

* El índice de contingencia es el residuo (diferencia entre las frecuencias observadas y esperadas) dividido por una estimación de su error típico. La media aritmética de todos los índices es 0 y su desviación típica es 1. Para un simple interpretación, considerese el valor absoluto como la intensidad de la correlación y el signo como sentido de la correlación (positivo o negativo).

septentrionales. Como es de esperar, el perfil cóncavo/convexo de las laderas influye en la distribución de los procesos geomorfológicos, ya que la mayor parte de ellos tiende a ser más recurrente en laderas cóncavas, especialmente las cabeceras activas de barranco y las cárcavas. Otro factor topográfico que ha demostrado una cierta capacidad explicativa es la distancia a las divisorias (factor estadísticamente significativo en los análisis de varianza). Las coladas de piedra y barro (debris flows), las cárcavas y las cabeceras activas de barrancos se alejan de las líneas cumbres, lo que confirma las características genéticas de unos procesos que requieren una concentración hídrica procedente de los sectores altos de las laderas.

La vegetación y los usos de suelo representan un factor cualitativo de importancia para comprender la aparición de procesos geomorfológicos. Sin embargo, no ocurre así con la litología, debido al predominio indiscutible de cuarcitas y esquistos. En la tabla 3 se presenta la relación entre los procesos y el tipo de cubierta de suelo. El índice de contingencia (tabla de contingencia), que nos indica el tipo y la intensidad de la correlación, con-

firma la evidencia de que los bosques de frondosas (hayedos y quejigos en mayor medida) son el tipo de vegetación que mejor controla la dinámica geomorfológica erosiva. Por el contrario, los espacios antiguamente cultivados, el matorral y las manchas de repoblación forestal son las áreas más sensibles. En el caso de las repoblaciones de coníferas se debe considerar, entre otros aspectos, el hecho de que ya se realizaron en laderas muy degradadas y propensas a la erosión acelerada.

Tabla 4. Matriz de correlaciones (r) entre las variables y las funciones discriminantes canónicas tipificadas (variables ordenadas por el tamaño de la correlación con la función)

	1	2	3	4	5	6	7
Altitud 900-1200m	-.649*	.092	-.091	.025	.318	.198	.024
C.abandonados.	-.499*	-.070	-.079	.036	.158	-.090	-.221
Altitud 1500-1800m	.409*	-.082	-.107	-.292	-.022	-.248	-.396
Calizas/margas	-.261*	-.019	-.026	-.013	.149	.081	.124
Altitud >900	-.144*	.072	-.004	.135	.088	-.082	-.114
Conglom./margas	-.049*	.011	-.018	.008	.021	.016	.005
Suelo urbano	-.048*	.009	.013	.002	.014	-.010	.005
Orientación umbría	.221	.443	.621*	-.216	.227	.115	.120
Orientación solana	-.221	-.443	-.621*	.216	-.227	-.115	-.120
Quejigales	-.030	-.098	.217*	-.143	.042	.013	-.092
Repob. forestales	.301	.253	-.455	.555*	.064	.062	.159
Matorral	-.023	-.345	.341	-.467*	-.135	-.038	.251
Altitud 1200-1500m	-.012	.042	.380	.411*	-.361	-.038	.097
Laderas deprimidas	.095	-.270	.093	.372*	.292	-.341	-.054
Pizarras/esquistos	-.104	-.113	.109	-.327*	.006	.190	-.040
Pendiente 75-100%	-.041	-.086	.261	.300*	-.028	.027	-.146
Laderas cóncavas	.153	-.355	.140	.068	.410*	.081	.086
Coluviones	-.014	-.093	-.157	.022	-.345*	-.053	-.087
Robledales	.014	.085	-.071	.063	.265*	-.002	-.059
Encinares	.023	-.154	.089	.093	-.185*	-.034	-.022
Campos cultivados	-.119	-.003	.031	-.034	.129*	.071	-.067
Pendiente 50-75%	.041	-.299	.137	.119	-.217	.484*	.260
Pendiente 25-50%	-.016	.266	-.230	-.190	.235	-.412*	-.363
Laderas rectas	.014	.262	-.171	-.188	-.349	.374*	-.335
Cuarcitas/pizarras.	.287	.044	-.046	.192	-.107	-.337*	.085
Argilitas/margas Trias	-.116	.063	.067	.036	.187	.255*	-.127
Conglomerados tercs.	-.052	.149	.027	.050	.174	.233*	-.131
Aluviones	.012	-.012	.015	.000	-.011	-.050*	.009
Pendiente >100%	-.002	.001	-.006	-.003	-.010	.014*	.005
Pendiente 10-25%	-.028	.199	-.020	-.133	-.018	-.253	.461*
Altitud >1800m	.233	-.080	-.313	-.280	.175	.229	.458*
Hayedos	.136	.341	.084	-.042	-.122	.043	.383*
Laderas convexas	-.210	.197	.025	-.056	-.138	-.318	.334*
Cumbres/divisorias	-.086	.027	-.017	-.038	-.063	-.099	.145*
Pendiente <10%	.008	-.004	-.020	.002	.002	.017	.045*

* Mayor correlación absoluta entre variable y función discriminante.

La relación de los diversos procesos geomorfológicos con los factores topográficos y ambientales permite predecir mediante procedimientos multivariables las posibilidades de ocurrencia en el conjunto del área de estudio. El método estadístico que se ha empleado ha sido el Análisis Discriminante (clasificación multivariable), considerando como grupo de discriminación los procesos geomorfológicos más representativos y como variables predictoras los factores topográficos, la diversidad litológica y las clases de cubierta vegetal. Este análisis produce las denominadas funciones discriminantes que explican conjuntamente la varianza de la matriz multifactorial. En nuestro caso, la primera, y de mayor peso, absorbe el 66% de la varianza, lo que la convierte en una función de importancia en el análisis.

En la tabla 4 se analizan algunos resultados parciales del procedimiento estadístico. Se presenta la matriz de correlaciones ordenadas entre las variables y las funciones discriminantes. Considerando el signo y el índice absoluto de la correlación (r) se logra estimar la importancia relativa de cada factor. El efecto que ejercen estos factores sobre los procesos geomorfológicos puede cotejarse con los datos aportados en la tabla 5, que presenta los coeficientes medios (centroides) de los grupos discriminados. De ambas tablas se deduce que la diferenciación más importante, lógicamente a partir de la primera función, viene marcada por el factor altitudinal y los campos abandonados, que discriminan sobre todo la erosión difusa de las restantes geoformas. La segunda función diferencia las cárcavas y cabeceras activas de barranco de la soliflucción y desprendimientos. En este caso la altitud no es el factor a considerar, sino la cubierta forestal, la orientación y la convexidad de las laderas. Interpretando sucesivamente las siguientes funciones se caracterizan y explican los diferentes procesos geomorfológicos.

El Análisis Discriminante alerta sobre las limitaciones existentes para identificar con fiabilidad algunos de estos procesos geomorfológicos. Comprobando las áreas afectadas y pronosticadas por el análisis (tablas de clasificación), se observa que el grupo de los desprendimientos y las rigolas presentan una bajo nivel de acierto (22 y 15%, respec-

Tabla 5. Centroides de los fenómenos geomorfológicos (grupos) en las funciones discriminantes

	1	2	3	4	5	6	7
Desprndts.	.248	.622	.007	.215	.004	-.003	-.002
Cárcavas	1.285	-.671	-.712	.005	.828	-.284	.003
Soliflucción	.466	.548	.674	-1.020	-.110	-.519	.004
Coladas	.601	-.170	-.417	-.002	-.216	-.002	-.001
C. activas	.720	-.608	.633	.163	-.003	-.003	.001
Rigolas	.589	.119	.005	-.338	.155	.272	-.001
E. difusa	-1.647	-.138	-.002	-.002	.002	-.001	-.001

tivamente), aunque es muy alentadora la clasificación correcta para las zonas de erosión difusa (71%), cárcavas (61%), solifluxión (51%), coladas de piedra y barro (49%) y cabezeras activas de barranco (45%). Es muy significativo que la ecuaciones probabilísticas detectan eficazmente la mayoría de los espacios afectados sin confundir los fenómenos geomorfológicos.

En la Fig. 4 se presenta finalmente el mapa de vulnerabilidad de cinco procesos geomorfológicos de pronóstico fiable obtenido por el Análisis Discriminante para todo el área de estudio. En resumen, se trata de una cartografía que advierte sobre la posibilidad de activación de procesos erosivos para un 15% de la superficie total de la hoja del MTN 240. Observando el mapa y con la base estadística anterior, se concluye que existen fundamentalmente dos ámbitos espaciales vulnerables: (1) las vertientes pronunciadas de las zonas altas de la sierra (>1700m), con escasa vegetación arbórea, situadas en los sectores cóncavos; y (2) las vertientes antiguamente cultivadas sobre pendientes medias y fuertes, localizadas al pie de ladera orientadas en solana y caracterizadas por unas cubiertas vegetales de sustitución.

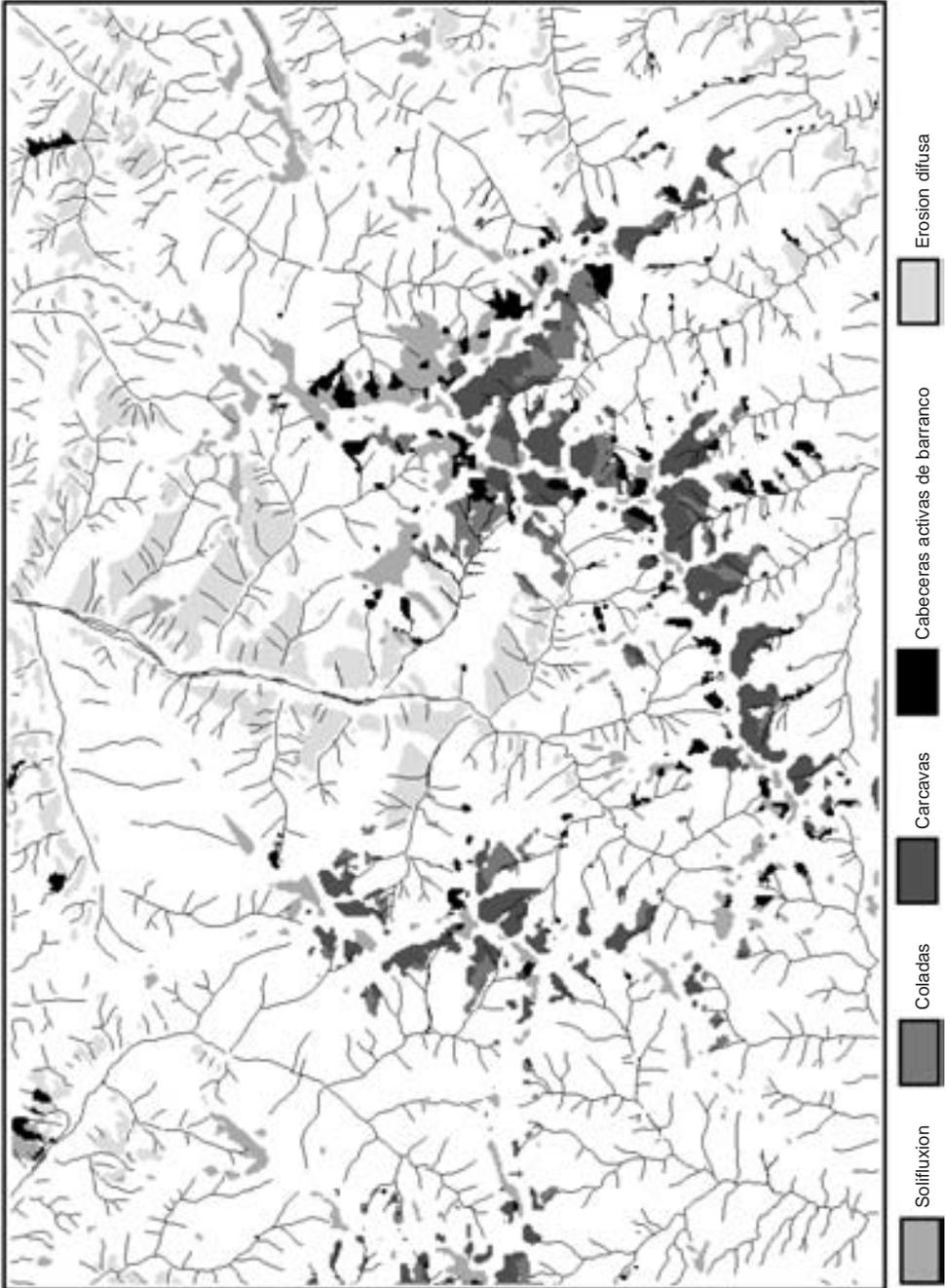
4. Discusión

Los procesos de erosión actuales y subactuales y los movimientos en masa tienden a generarse sobre todo en los niveles altitudinales elevados de la Sierra de la Demanda. Por encima de 1350 m de altitud se concentran las laderas vulnerables a los movimientos en masa (pequeños flujos y deslizamientos de grandes tamaños) y a la concentración de la escorrentía superficial (cárcavas, rigolas, cabezeras activas). Las altas vertientes, generalmente de fuertes gradientes, sin una densa cubierta de bosque o matorral, en sectores cóncavos (ejes de los barrancos y cuencas de recepción) son los sectores más vulnerables. Los niveles de cumbres, por encima de los 1900 m de altitud y próximos a un régimen térmico crionival (Arnáez & García-Ruiz, 2000), no son necesariamente los espacios más erosionados, debido en gran parte a la suavidad topográfica (niveles de erosión precuaternarios) y a la falta de concentración hídrica capaz de generar procesos profundos de erosión.

En el umbral altitudinal inferior (900-1400m), la vulnerabilidad geomorfológica queda reducida considerablemente pero se debe remarcar la fragilidad erosiva que representan los antiguos campos de cultivo, enmascarados lentamente por un matorral que tiende a frenar la erosión difusa. En cualquier caso, representan una fuente de sedimentos si desaparece el matorral protector por incendios o roturaciones extensas.

La cartografía automática de la vulnerabilidad geomorfológica tiene un gran interés para la planificación de las zonas de montaña, mostrando globalmente las áreas susceptibles de degradación (Price & Heywood, 1994). Sin embargo, aún deben mejorarse las fuentes de información para aumentar las probabilidades del pronóstico y fiabilidad de

Figura 4 Mapa de vulnerabilidad geomorfológica (Ezcaray HMTN 240)



estos mapas. Como muestra, en nuestro caso, dos importantes procesos, los desprendimientos y la formación de rigolas, no pueden ser previstos significativamente por los modelos estadísticos. La experiencia demuestra que los desprendimientos no se pronostican bien considerando únicamente los factores morfotopográficos y el tipo de cubierta vegetal. La existencia de fallas, el papel del agua en la saturación de suelos, el material, etc. son factores también determinantes en la activación de movimientos en masa profundos y de gran tamaño. Se debe, pues, incorporar a los modelos de predicción mayor información para pronosticar mejor estos fenómenos. Además, se hace necesario aplicar métodos de validación de los resultados obtenidos (Irigaray *et al.*, 1999).

No obstante, la aplicación de Sistemas de Información Geográfica para el estudio regional de la organización espacial de procesos geomorfológicos y la elaboración de mapas de riesgos pueden ser un instrumento válido y una primera aproximación para la toma de decisiones en algunas de las actuaciones a realizar en la montaña: repoblaciones forestales, pistas de montaña, preparación de espacios para pastos, etc. Para el geomorfolo este tipo de cartografía le aporta una información básica inicial para poder abordar otros factores de detalle que, incorporados a la base de datos del SIG, pueden completar y mejorar los mapas de riesgos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo financiero del Instituto de Estudios Riojanos (Gobierno de La Rioja) a través del proyecto de investigación "Cartografía geomorfológica y detección de zonas de riesgo por erosión y movimientos en masa en la montaña riojana" y por la Universidad de La Rioja con el proyecto "Evaluación, predicción y cartografía automática de riesgos de erosión en el Sistema Ibérico Occidental a partir de imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica".

Referencias bibliográficas

- ARNÁEZ, J., (1990): Dinámica y organización espacial de los procesos de evolución de vertientes en montaña. En: *Geoecología de las áreas de montaña* (García Ruiz, J.M., Edr.). Geoforma Ediciones, 35-57 pág., Logroño
- ARNÁEZ, J. y GARCÍA RUIZ, J.M. (1990): *Mapa Geomorfológico, Ezcaray 240*. Geoforma Ediciones-Instituto de Estudios Riojanos, 28 pags+mapa. Logroño.
- ARNÁEZ, J. y GARCÍA RUIZ, J.M. (2000): Periglacialismo reciente en el Sistema Ibérico noroccidental. En: *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea* (Peña Monné, J.L., Sánchez Fabre, M. & Lozano Tena, M.V., Edrs.), Instituto de Estudios Turolenses, pp. 113-126, Teruel.

- FERNÁNDEZ ALDANA, R., LOPO, L. y RODRIGUEZ, R. (1989): *Mapa forestal de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos, 72 pp. + 1 mapa a escala 1:100.000, Logroño.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. (1990): La montaña: una perspectiva geoecológica. En: *Geoecología de las áreas de montaña* (García Ruiz, J.M., Edr.). Geoforma Ediciones, 15-31 pág.
- GARCÍA RUIZ, J.M., ARNÁEZ VADILLO, J., TERRERO ALESANCO, E., VALLE MELÓN, J.M. y ORTIGOSA IZQUIERDO, L. (1996): *Identificación de factores de control de la actividad geomorfológica en montaña media: aplicación de técnicas S.I.G. en Cameros Viejo, La Rioja*. Zubia, 8: 43-60.
- GONZÁLEZ, C., ORTIGOSA, L., MARTÍ, C. y GARCÍA RUIZ, J.M. (1995): The study of the spatial organization of geomorphic processes in mountain areas using GIS. *Mountain Research and Development*, 15 (3): 241-249.
- IRIGARAY FERNÁNDEZ, C., FERNÁNDEZ DEL CASTILLO, T., EL HAMDOUNI, R. y CHACÓN MONTERO, J. (1999): Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. *Earth Surface Processes and Landforms.*, 24: 537-544
- ITGME (1978): *Mapa Geológico de España, Ezcara 240 (1:50.000)*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- ORTIGOSA, L., ARNÁEZ, J. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (1998): Geomorphological mapping and GIS techniques for predicting geomorphological hazards. *Annales Geophysicae*, Vol. 16, Supplement IV. European Geophysical Society, pp.1217, Niza.
- PRICE, M.F. y HEYWOOD, D.I., Edrs., (1994): *Mountain Environments & Geographic Information System*. Taylor & Francis, 309 pág.
- SARKAR, S., KANUNGO, D.P. & MEHROTRA, G.S. (1995): Landslide hazard zonation: a case study in Garhwal Himalaya, India. *Mountain Research and Development*, 15 (4): 310-309.
- VAN WESTEN, C.J. (1994): GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Andes of Colombia. In: *Mountain Environments & Geographic Information System* (M.F. Price & I. Heywood). Taylor & Francis.