

ZUBÍA Monográfico	8	43-60	Logroño	1996
-------------------	---	-------	---------	------

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE CONTROL DE LA ACTIVIDAD GEOMORFOLÓGICA EN MONTAÑA MEDIA: APLICACIÓN DE TÉCNICAS S.I.G. EN CAMEROS VIEJO, LA RIOJA

José M. García Ruiz*
José Arnáez Vadillo**
Estela Terrero Alesanco***
José M. Valle Melón****
Luis M. Ortigosa Izquierdo**

RESUMEN

Mediante la digitalización del mapa geomorfológico de Munilla a escala 1: 50.000 y la utilización de un Modelo Digital del Terreno se estudia la distribución espacial de procesos geomorfológicos activos y semiactivos. Dado que en el área de estudio no existen fuertes contrastes altitudinales, la litología es el factor con mayor peso para explicar la organización de los procesos, pues integra la resistencia de los materiales frente a movimientos en masa y frente a la erosión por arroyada. Se confirma el papel fundamental del hombre en la dinámica geomorfológica.

Palabras clave: Cartografía geomorfológica, Modelo Digital del Terreno, SIG, Procesos geomórficos, Movimientos en masa, Erosión antropogénica.

* Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), Apartado 202. 50.080 Zaragoza.

** Área de Geografía Física, Universidad de La Rioja, Logroño.

*** Instituto de Estudios Riojanos, Logroño.

**** Escuela de Ingeniería Técnica de Topografía, Universidad del País Vasco, Vitoria.

Identification of factors controlling the geomorphic activity in middle mountain: use of GIS techniques in Cameros Viejo, La Rioja.

By means of a digitized geomorphological map (Munilla) at a 1: 50.000 scale and the use of a Terrain Digital Model, the spatial distribution of active and semiactive geomorphic processes is studied. Given that in the study area there are not strong altitudinal contrasts, lithology is the most important factor in order to explain the organization of processes, since it integrates the strength of the materials against both mass movements and overland flow. The decisive role of mankind in the geomorphic dynamics has been corroborated.

Key-words: Geomorphological mapping, Terrain Digital Model, GIS, Geomorphic processes, Mass movements, Anthropic erosion.

La cartografía geomorfológica expresa la distribución espacial de las formas de relieve y, en su caso, las interrelaciones existentes entre diferentes procesos geomórficos. Esta información es fundamental para explicar otros fenómenos relacionados con la gestión del espacio, incluida la calidad de las aguas y las fuentes de sedimentos, y además contribuye a interpretar la compleja diversidad del paisaje, especialmente en áreas de montaña. Esta función de la cartografía geomorfológica se ha visto reforzada recientemente con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica, que facilitan las relaciones estadísticas con diversas variables territoriales. De esta forma se puede conocer con mayor precisión el peso que cada factor tiene en la organización espacial de cada fenómeno geomorfológico. El precedente más próximo es el estudio realizado en el Pirineo Central español por González *et al.* (1995), en el que en un área muy heterogénea topográfica y litológicamente (Hoja de Sallent, número 145 del M. T. N.) se pudo constatar la gran importancia de la litología, seguida por la altitud, para explicar el desencadenamiento de determinados procesos geomórficos.

En este trabajo se parte de una metodología similar a la de González *et al.* (1995) pero aplicada a unas condiciones orográficas y de uso del suelo muy diferentes. En el ejemplo estudiado en el Pirineo Central el rasgo más característico era la presencia de grandes desniveles, incluyendo zonas sujetas a una fuerte actividad periglacial actual, con pendientes que frecuentemente superan el 50%. En la Hoja del M. T. N. seleccionada para este estudio (Munilla) la energía de relieve es muy inferior y las pendientes, aunque corresponden a los rangos típicos de un área de montaña, son mucho más moderadas. Además, por tratarse de una montaña submediterránea, el aprovechamiento del territorio responde a unas pautas muy distintas, con deforestación casi general. Se trata, pues, de un ambiente en el que el peso de la altitud queda muy mitigado y en cambio irrumpe el papel de los usos del suelo históricos, cuyos efectos se anunciaban indirectamente en el ejemplo estudiado en el Pirineo.

El objetivo principal de este trabajo es confirmar la validez de la metodología en un ambiente de montaña media con menores contrastes topográficos. De igual forma, se pretende definir un modelo de organización espacial de procesos geomórficos y determinar los factores que mejor explican la distribución de tales procesos.

1. EL ÁREA DE ESTUDIO

Se ha seleccionado la Hoja nº 242 del M. T. N. (Munilla), por estar elaborada y publicada la cartografía geomorfológica (García Ruiz & Arnáez, 1991) y corresponder además a una zona de montaña media claramente diferenciada de la de Sallent (H.M.T.N. 145). Dicha Hoja corresponde al Sistema Ibérico riojano, dentro del sector conocido como Cameros Viejo. Engloba buena parte de las cuencas de los ríos Leza —aunque queda fuera su sector más elevado— y Jubera (Fig. 1). También incluye parte de la cabecera de la cuenca del Cidacos por el sureste y, de forma muy marginal, un pequeño fragmento de la cuenca del Iregua, por el noroeste. El punto más elevado está en el Cerro Atalaya (1.518 m) y el más bajo en el cauce del río Leza —en el límite norte de la Hoja—, a 515 m. Otros relieves destacados son Cabi Monteros (1.388 m), La Modorra (1.462 m), Las Peñas de Leza (1.109 m) y el Cerro Peñalmonte (1.265 m).

La mayor parte de la Hoja de Munilla está ocupada por materiales mesozoicos plegados con muy variable intensidad, pertenecientes al Sistema Ibérico (Fig. 2). Sólo al nordeste y en un pequeño sector del noroeste afloran materiales terciarios correspondientes a la Depresión del Ebro. Dentro del Sistema Ibérico, la franja septentrional está formada por sedimentos triásicos (yesos y margas yesíferas con dolomías intercaladas) y jurásicos (dolomías grises y calizas), intensamente deformados y fracturados, separados de la Depresión del Ebro por una gran falla cabalgante. Hacia el Sur, el Cretácico está compuesto por una gran acumulación de cuarzoarenitas, arcillas arenosas, areniscas, margas y algunas intercalaciones calizas, en la facies Purbeck-Weald. Estos materiales están deformados en pliegues amplios, con buzamientos suaves. El sinclinal del Jubera es el accidente más importante (ITGE, 1990).

Dentro de la Depresión del Ebro los materiales son exclusivamente continentales, en facies típicas de borde de cuenca, es decir, con predominio de conglomerados. Los más antiguos, al este de Arnedillo, se han datado como oligocenos y se encuentran muy cementados y afectados por deformaciones importantes. La gran acumulación conglomerática de Cabi Monteros y otras pequeñas manchas aisladas (al oeste del río Leza y en Santa Engracia), más difíciles de datar, pertenecen al Mioceno o Plioceno. Estos últimos aparecen mucho más sueltos, compuestos por gravas gruesas relativamente rodadas y empastadas en una matriz arcillo-arenosa (ITGE, 1990).

Si se distingue por litologías, el 38% del territorio está ocupado por calizas y margas, y otro 38,2%, por areniscas y arcillas margosas de la facies Purbeck-Weald. Un 8,8% corresponde a conglomerados terciarios y el 6,1% a areniscas y arcillas terciarias; los coluviones cuaternarios abarcan un 6,8%. Los materiales del Keuper sólo ocupan el 2,1% (ver Tabla I).

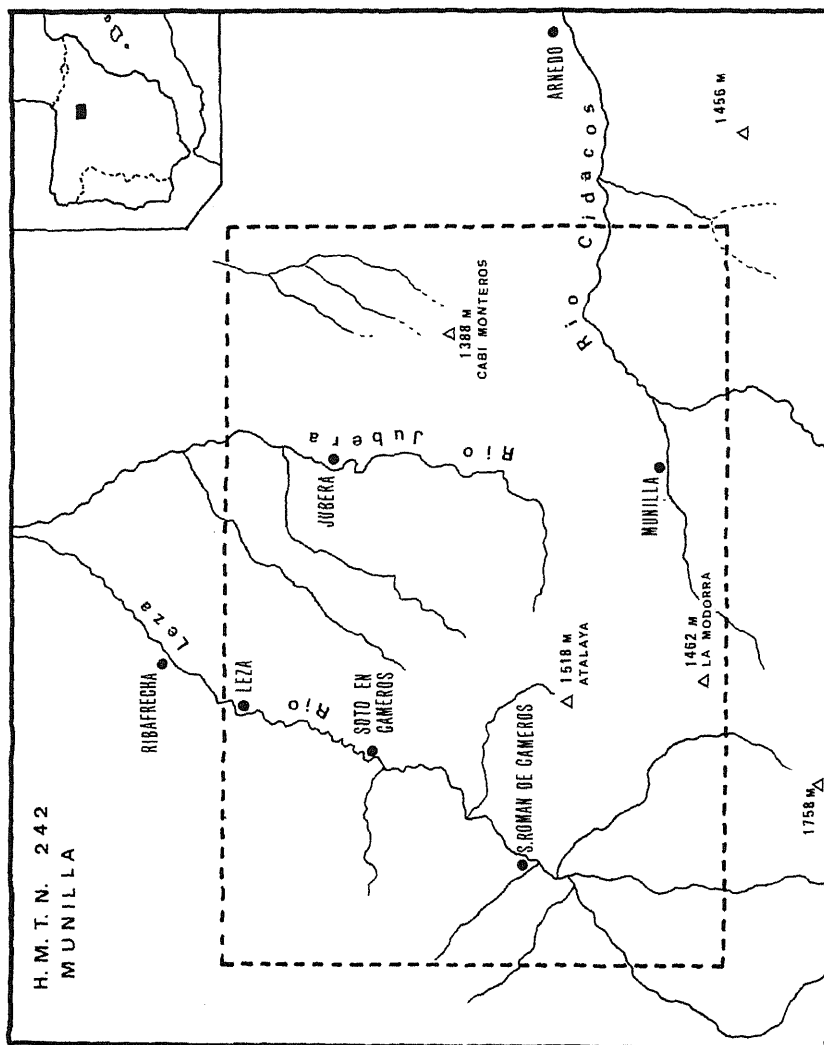


Figura 1: Localización del área de estudio.

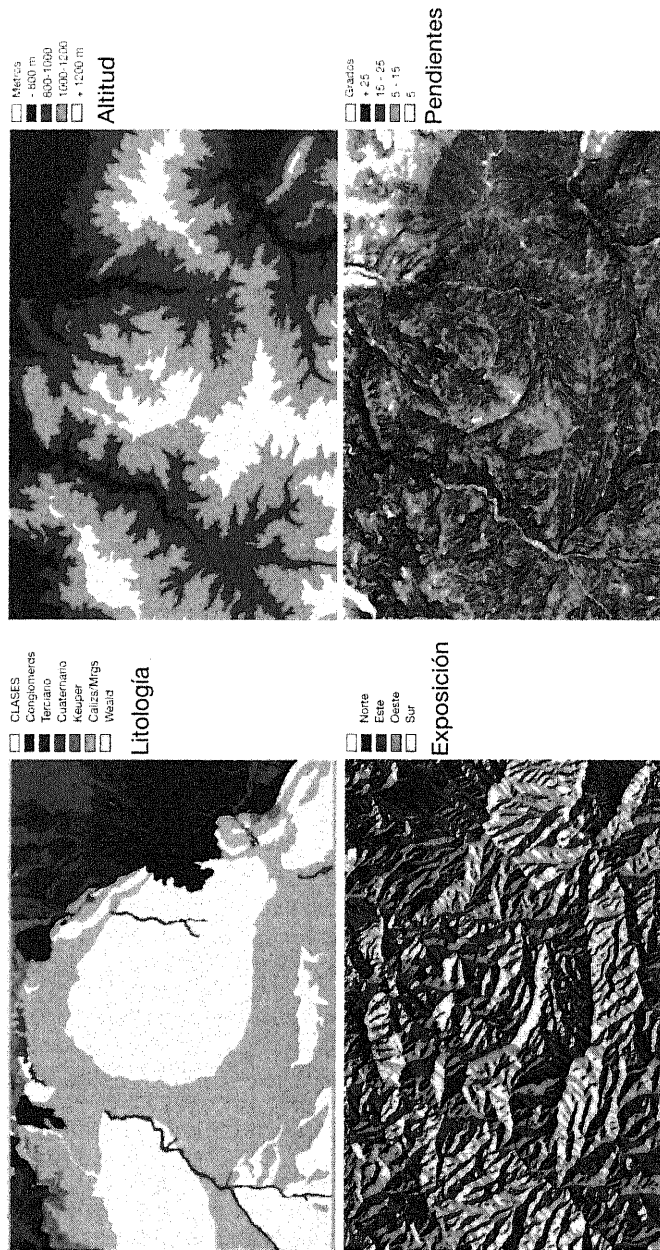


Figura 2: Características del área de estudio.

Tabla 1: Tabla de frecuencias entre las categorías de geoformas y las clases de litología.

Filas %	Columnas %	Índice de residuales Chi ajustados						CLASES DE LITOLOGIA						TOTAL FILAS %
		GEOFORMAS		Conglomerados		Arcillas y areniscas terciarias		Arcillas y yesos triásicos		Calizas y margas wealdicas		Areniscas y arcillas wealdicas		
Sin geoformas	8.9% 96.1% +18.1	13.2% 97.4% +42.9	2.1% 91.1% -20.5	38.6% 96.0% +43.4	37.2% 92.1% -77.4	94.6%								
Nichos de arranque	3.1% .2% -15.0	3.1% .2% -21.9	1.4% .4% -3.9	53.1% 1.0% +23.2	39.4% .7% +1.8	.7%								
Lenguas de despegue	4% .0% -15.9	11.7% .3% -1.9	7.1% 1.2% +18.4	42.2% .4% +4.6	38.7% .4% +5	.4%								
Coladas de piedras	2.0% 1.1% -12.3	3% .0% -19.3	3% .0% -6.5	24.1% .2% -14.8	73.3% .6% +37.3	.3%								
Cabeceras activas	5.4% .5% -9.8	4.5% .3% -20.4	2.1% .8% -4	29.4% .6% -14.6	58.7% 1.3% +34.5	.8%								
Incisiones	5.2% 1.1% -5.4	2.4% .0% -13.4	9.1% 1.0% +20.7	31.5% .2% -5.8	51.8% .3% 12.0	.2%								
Áreas de erosión severa	1% 0% -41.5	.4% 1% -50.5	4.9% 5.1% +25.9	18.1% 1.1% -55.7	76.6% 4.5% 107.0	2.2%								
Cabeceras pedregosas	88.2% 2.6% +127.9	11.8% .2% -1.4	.0% .0% -6.7	.0% .0% -35.7	.0% .0% -35.8	.3%								
Canchales	3.7% 1% -9.2	23.7% .6% +16.8	1.8% .3% -1.3	59.4% .5% +22.7	11.4% .1% -28.5	.3%								
Comos de deyección	12.3% .2% +4.1	79.9% .8% +65.6	.6% .0% -3.6	5.2% .0% -22.2	2.1% .0% -24.4	.1%								
TOTAL COLUMNAS %	8.8%	12.9%	2.1%	38.0%	38.2%	100.0%								

Nivel de Confianza Chi Cuadrado > 99,99%. Coeficiente de Contingencia: 0.219

El área de estudio muestra rasgos típicos de un relieve de montaña, pero con importantes matices. La red fluvial aparece encajada varios cientos de metros por debajo de las divisorias principales, pero la zona de cumbres presenta formas alomadas, sin escarpes, excepto en la zona septentrional (Peñas de Leza) y en algunas gargantas fluviales. Se comprueba el predominio de pendientes no muy abruptas; sólo el 5% del territorio tiene pendientes superiores a 31°, con una media de 17°. La altitud media es de 992 m, predominando el rango comprendido entre 800 y 1200 m (el 50% del área de estudio se desarrolla entre 870 y 1.126 m). Las exposiciones umbrías (55,1%) alcanzan mayor representación que las solanas (44,9%), debido a la disposición de los relieves monoclinales.

El clima se caracteriza por precipitaciones entre 600 y 1000 mm anuales y temperaturas relativamente frescas (en torno a 10-11° de media anual). Por su parte, la cubierta vegetal está muy deteriorada, de manera que sólo quedan aislados restos de la vegetación original, cuyos mejores ejemplos se localizan en la sierra de Cabi Monteros. Numerosas laderas fueron cultivadas (Lasanta *et al.*, 1989), a veces en condiciones topográficas muy difíciles. Tras el abandono agrícola, la mayor parte de las vertientes sobre suelos silíceos se han cubierto con un denso jaral de *Cistus laurifolius*, mientras sobre suelos calizos se desarrolla un matorral mediterráneo con *Thymus vulgaris*, *Juniperus phoenicia*, *Buxus sempervirens* y *Genista scorpius* (Sobrón & Ortiz, 1989). El mapa forestal de La Rioja (Femández Aldana *et al.*, 1989) da una idea precisa de la gran importancia de las repoblaciones en la parte alta de la cuenca del Jubera.

2. MÉTODOS

El trabajo se ha basado en la información contenida en el mapa geomorfológico de Munilla a escala 1: 50.000 (García Ruiz & Arnáez, 1991). Esta cartografía ha sido informatizada mediante una tableta digitalizadora. Se seleccionaron las geoformas indicadoras de actividad actual o muy reciente: distintos movimientos en masa y formas derivadas de la acción erosiva superficial de las aguas corrientes, además de acumulaciones relacionadas con contrastes térmicos (canchales). De igual forma se digitalizó el correspondiente mapa litológico, derivado de una simplificación del mapa geológico (ITGE, 1990).

Como base topográfica, se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno (MDT) proporcionado por el Servicio Geográfico del Ejército. Esta imagen hipsométrica, obtenida mediante algoritmos de interpolación de curvas de nivel, proporciona una resolución final de 25 x 25 m de tamaño de celda *raster*. De este modo, a partir del MDT, se han obtenido automáticamente mediante filtrado digital los mapas de pendientes y exposiciones.

A partir de fotografía aérea se dispuso de información sobre los usos agrícolas del suelo, en especial sobre la distribución de la superficie cultivada en el pasado y abandonada actualmente. Esta información ha sido también digitalizada y utilizada como una nueva capa del SIG.

Por último, se ha procedido al tratamiento estadístico, empleando los módulos del programa SPSS. Para ello, se han exportado a ficheros matriciales (formato ASCII) las imágenes del SIG: geomorfología, litología, altitud, pendiente, exposición y usos del suelo, de modo que se pudieran tratar como variables en la aplicación de técnicas multivariantes. Fundamentalmente, se han empleado dos procedimientos analíticos: tablas de contingencia e índices asociados de confianza estadística (modo bivariado) y, para la clasificación final multifactorial, un análisis de conglomerados (*cluster* jerárquico), a partir de la matriz de índices de similitud (coeficiente de coligación Y de Yule) y con transformación previa de las variables nominales en binarias.

3. RESULTADOS

El mapa geomorfológico contiene mucha información que no es especialmente útil para los objetivos de este trabajo. Así sucede con los rasgos estructurales (escarpes, frentes de cuesta, fallas), los fenómenos kársticos y las acumulaciones fluviales y torrenciales, excepto los conos de deyección, que están relacionados con la actividad geomorfológica de sus cuencas vertientes. Las geoformas manejadas tienen que ver, pues, con los procesos en vertientes, cuya distribución espacial puede relacionarse fácilmente con otras variables ambientales. Las geoformas mejor representadas son las áreas afectadas por erosión severa (11,2 km² en total), con escasa vegetación y predominio de los procesos de escorrentía superficial, generalmente laminar con ligeras incisiones poco jerarquizadas. Con menor presencia están los nichos de arranque (3,5 km²) y las cabeceras activas de torrentes (4,2 km²). Más lejos quedan las lenguas de despegue, correspondientes al material desplazado desde los nichos de arranque, los canchales, las coladas de piedras, las cabeceras en cuna pedregosas, las incisiones o rills, las áreas de solifluxión y los conos de deyección. Conviene precisar que también se han digitalizado e incluido en el análisis estadístico las laderas regularizadas, que representan una geoforma heredada de pasadas condiciones morfoclimáticas. No obstante, sólo se hace referencia a ellas en el análisis final (*cluster* jerárquico), pues no son representativas de la dinámica geomorfológica actual.

Los primeros análisis realizados han sido las tablas de contingencia, relacionando las frecuencias *observadas* y las *esperadas* (Ji cuadrado) entre las clases geomorfológicas y el resto de factores. A este respecto, téngase en cuenta que las frecuencias *esperadas* representan la hipótesis teórica de concurrencias no asociadas entre dos factores; por ello, los índices entre frecuencias observadas y predichas sirven de cuantificación estadística para medir la correlación entre dos variables. De ahí que en cada una de las tablas adjuntas el dato más interesante es el último de cada celda, que es un índice de residuales estandarizados y ajustados entre dichas frecuencias, indicadores del grado de asociación entre las geoformas y los factores litológicos y topográficos. Los resultados confirman que la distribución espacial de las geoformas no es aleatoria, y responde al efecto de diferentes factores para cada una de ellas. Se presentan a continuación cada una de las relaciones entre geoformas y factores ambientales.

De acuerdo con el coeficiente de contingencia, la litología es el factor más importante para explicar la distribución de geoformas (Tabla 1, Fig. 2), como ya sucedía en el estudio realizado en la Hoja de Sallent (González *et al.*, 1995). Así, los nichos de arranque y las lenguas de despegue se hallan estrechamente asociados a las calizas y margas, que se localizan sobre todo en el extremo sudoriental de la Hoja de Munilla, mientras que carecen de representación en los conglomerados y en las areniscas y margas del Terciario. Las coladas de piedras se vinculan más a las areniscas y arcillas del Weald, que es prácticamente la única facies en que aparecen, mientras que escapan sobre todo de las calizas y margas, los conglomerados y las areniscas y margas terciarias.

Las áreas de erosión severa se distribuyen sobre las areniscas y arcillas wealdicas, y a mucha distancia sobre los terrenos arcillosos y yesíferos del Keuper. En cambio, los conglomerados, las calizas y margas y las areniscas y margas apenas se hallan afectados —al menos no de forma general— por procesos muy intensos de erosión por arroyada. Lo mismo sucede con las incisiones, aunque en este caso predomina más su presencia sobre las arcillas del Keuper, y con las cabeceras activas de torrentes, muy relacionadas con las areniscas y arcillas wealdicas.

Por su parte, las cabeceras en cuna pedregosas son exclusivas de los conglomerados, mientras que los canchales están ligados a la presencia de escarpes de calizas, a cuyo pie se acumulan. Los conos de deyección se presentan sobre todo en los conglomerados, reflejando dos hechos no antagónicos: que las zonas de conglomerados son —o han sido hasta tiempos recientes— buenas productoras de sedimentos, y que disponen de áreas más amplias en su base para que se puedan desarrollar formas deposicionales. Esta vinculación entre conos de deyección y afloramientos de conglomerados no es nueva: fue puesta de manifiesto por Gómez Villar (1996) en los conos de deyección de las cuencas del Oja y del Najerilla.

Los resultados precedentes reflejan la distinta tendencia que muestran en su distribución los movimientos en masa, por un lado, y los procesos de escorrentía superficial, por otro. Los primeros se localizan sobre todo en las calizas y margas de la facies Weald, mientras los segundos tienden a presentarse en las areniscas y arcillas wealdicas. Los conglomerados son actualmente muy poco activos y sólo cuentan con la presencia de cabeceras pedregosas —muy probablemente una geoforma heredada— y conos de deyección, en parte también heredados.

En el caso de la altitud la relación con las geoformas es también muy clara (Tabla 2), pero no se aprecia la discriminación que establece la litología. Prácticamente todas las geoformas se localizan entre 800 y 1.200 m (en el caso de las coladas de piedras su distribución se ciñe aún más a la franja comprendida entre 1.000 y 1.200 m). Sólo los canchales y los conos de deyección aparecen con mayor frecuencia por debajo de 800 m. En el primer caso se debe a que los cantiles calizos se distribuyen preferentemente por la franja septentrional de la Hoja, desde donde se desciende rápidamente hacia la Depresión del Ebro; y en el segundo, es evidente que los conos de deyección deben ocupar lugares bajos, siempre inferiores al resto de fenómenos geomorfológicos estudiados. Por encima de 1.200 m sólo destaca la presencia

Tabla 2: Tabla de frecuencias entre las categorías de geoformas y las clases de altitud.

Fílas %	Columnas % %	Índice de residuales Chi ajustados	CLASES DE ALTITUD					TOTAL %
			< 800 m	800-1000 m	1000-1200 m	> 1200 m		
GEOFORMAS								
Sin geoformas	17.8% 97.3% +48.4	31.4% 94.0% -16.9	38.0% 93.7% -30.4	12.8% 95.5% +13.0			94.6%	
Nichos de arranque	2% -26.6	3.9% 8% +11.7	44.8% 8% +9.9	12.4% 7% -6			7%	
Lenguas de despegue	11.0% 2% -9.0	54.9% .6% +26.8	32.3% .3% -6.7	1.8% 1% -17.5			4%	
Coladas de piedras	4.3% 1% -17.7	19.0% .2% -14.0	60.6% .5% +23.6	16.0% 4% +5.1			3%	
Cabeceras activas	4.4% 2% -27.9	37.3% 1.0% +10.0	48.2% 1.0% +16.6	10.0% 7% -6.5			8%	
Incisiones	12.8% 2% -5.1	41.5% .3% +9.1	37.8% .2% -5	7.9% 1% -6.2			2%	
Áreas de erosión severa	4.9% .6% -44.7	39.5% 2.8% +22.9	47.5% 2.8% +25.5	8.1% 1.4% -18.5			2.2%	
Cabeceras pedregosas	.0% .0% -20.9	.0% .0% -30.9	46.0% .3% +7.2	54.0% 1.1% +56.5			3%	
Canchales	29.5% .6% +16.6	23.7% .2% -8.8	44.3% .4% +6.3	2.5% 1% -15.9			3%	
Conos de deyección	90.3% .7% +63.2	7.8% .0% -16.8	1.9% .0% -24.6	.0% .0% -12.5			1%	
TOTAL %	17.3%	31.6%	38.4%	12.7%			100.0%	

Nivel de Confianza Chi Cuadrado > 99.99% Coeficiente de Contingencia: 0.133

de cabeceras en cuna pedregosas, típicas de las áreas más elevadas de los relieves sobre conglomerados. Pero lo que resulta evidente es que la altitud no es capaz de separar la distribución de los movimientos en masa y de los procesos de arroyada, como si en cambio era posible en el Pirineo Central (González *et al.*, 1995) debido a que allí el rango altitudinal es mucho más amplio y permite distinguir varias franjas altitudinales dominadas por sistemas morfogénéticos distintos.

La exposición tiene en este estudio un peso importante a diferencia de lo que sucedía en la Hoja de Sallent, aunque no afecta a todas las geoformas (Tabla 3). Lo más significativo es que las áreas afectadas por erosión severa, las cabeceras activas de torrentes y las coladas de piedras muestran una marcada preferencia por las solanas. Por el contrario, los canchales se localizan sobre todo en umbrias, como corresponde a una zona tan baja como la estudiada, en la que los procesos de crioclastia sólo son continuada y eficazmente activos en las laderas norte.

Es importante tener en cuenta que en la Hoja de Sallent la exposición apenas contaba para explicar la distribución de las geoformas. En ese caso decíamos (González *et al.*, 1995) que el papel de la exposición resultaba muy poco claro debido a que varía en función de la altitud, lo que es especialmente cierto cuando el relieve oscila entre 950 y más de 3.000 m. Pero en la Hoja de Munilla las altitudes varían dentro de un rasgo muy pequeño, lo que explica el que la exposición tenga un significado independiente.

La pendiente ofrece asimismo resultados de gran valor (Tabla 4). En general, las pendientes de más de 15° favorecen el desencadenamiento de movimientos en masa y procesos de arroyada, pero resulta curioso comprobar que las áreas de erosión severa no aumentan su presencia cuanto mayor es la pendiente, pues se concentran en la clase de 15 a 25°, lo mismo que las coladas de piedras y los nichos de arranque. Sólo las incisiones, las cabeceras activas de torrentes y los canchales muestran preferencia por las pendientes de más de 25°. Con mucha diferencia, la mayor pendiente media se registra en los canchales (30,8°).

Dejando a un lado el papel de la litología, los resultados anteriores indican que hay unas zonas de mediana altitud y pendientes no necesariamente muy fuertes, preferentemente en solanas, que concentran la mayor proporción de geoformas indicadoras de una degradación paisajística: áreas afectadas por erosión severa y coladas de piedras, a las que se unen, si la pendiente aumenta, las incisiones y las cabeceras activas de torrentes. Estas geoformas aparecen además en lugares donde ha desaparecido la vegetación climácica, y la cubierta actual se reduce a matorrales abiertos poco protectores. Es en ese ambiente donde la actividad humana ha sido más intensa, aparte de los fondos de valle, ocupando espacios no muy pendientes ni demasiado altos, que serían pastoreados durante todo el año y frecuentemente cultivados en los momentos de mayor presión demográfica (Lasanta *et al.*, 1989), aunque con escasas evidencias en la actualidad, dada la erosión y el tiempo transcurrido. Suelen ocupar el frente de relieves monoclinales que miran al sur, con potentes afloramientos arcillosos entre bancos de arenisca, difíciles de restaurar después de haber sido perturbados.

Tabla 3: Tabla de frecuencias entre las categorías de geoformas y la exposición preferente.

Filas %	Columnas % %	Índice de residuos Chi ajustados	ORIENTACIÓN PREFERENTE		
			Umbrías (NNW:E)	Solanas (NSE:O)	TOTAL %
GEOFORMAS					
Sin geoformas	56.5% 96.7% +90.0	43.5% 92.1% -90.0		94.6%	
Nichos de arranque	60.1% 7% +7.1	39.9% 6% -7.1		7%	
Lenguas de despegue	49.0% 3% -6.9	51.0% 4% +6.9		4%	
Coladas de piedras	27.4% 2% -28.9	72.6% 5% +28.9		3%	
Cabececeras activas	29.5% 4% -42.5	70.5% 1.3% +42.5		8%	
Incisiones	49.8% 2% -4.8	50.2% 3% +4.8		2%	
Áreas de erosión severa	14.5% 6% +111.3	85.5% 4.3% +111.3		2.2%	
Cabececeras pedregosas	43.5% 2% -10.8	56.5% 3% +10.8		3%	
Canchales	90.6% 5% +36.7	9.4% 1% -36.7		3%	
Conos de deyección	60.1% 1% +3.2	39.9% 1% -3.2		1%	
TOTAL	55.3%	44.7%		100.0%	

Nivel de Confianza Chi Cuadrado > 99,99% Coeficiente de Contingencia: 0.142

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE CONTROL DE LA ACTIVIDAD...

Tabla 4: Tabla de frecuencias entre las categorías de geoformas y las clases de pendiente.

Filas %	Columnas % %	Índice de residuales Chi ajustados	CLASES DE PENDIENTE					TOTAL %
			< 5 grados	5 - 15 grados	15 - 25 grados	> 25 grados		
GEOFORMAS								
Sin geoformas	6.1% 97.7% +31.1	37.0% 96.0% +41.2	43.2% 93.7% -34.5	13.7% 92.5% -34.6			94.6%	
Nichos de arranque	1.9% .2% -12.6	39.0% 7.9% +3.9	48.4% .8% +7.2	10.7% 5.9% -7.1			.7%	
Lenguas de despegue	2.4% .1% -8.0	48.3% 5.9% +13.2	41.7% .3% -2.0	7.6% 2.6% -10.0			.4%	
Coladas de piedras	1.5% .1% -9.7	30.9% 3.9% -6.0	53.2% .4% +10.0	14.3% 3.9% +6			.3%	
Cabeceeras activas	.7% .1% -18.1	21.3% 5.9% -25.7	52.7% 1.0% +15.0	25.3% 1.3% +26.5			.8%	
Incisiones	.7% .0% -9.6	17.8% 1.1% -16.6	54.8% .3% +9.7	26.7% 4.9% +15.6			.2%	
Áreas de erosión severa	1.5% .6% -25.4	25.1% 1.5% -31.8	56.5% 2.9% +35.3	16.8% 2.7% +10.9			2.2%	
Cabeceera pedregosas	.2% .0% -10.9	33.1% 2.6% -3.1	62.4% .4% +17.3	4.2% 1.6% -12.9			.3%	
Canchales	.0% .0% -13.0	1.8% 4.0% -37.2	22.3% .2% -22.2	73.9% 1.8% +92.0			.3%	
Comos de deyección	49.3% 1.1% +60.3	36.3% 1.1% +1.3	10.4% 0.0% -21.9	2.0% 0.0% -11.4			.1%	
TOTAL %	5.9%	36.4%	43.6%	14.1%			100.0%	

Nivel de Confianza Chi Cuadrado > 99.99% Coeficiente de Contingencia: 0.146

La tabla de frecuencias de las geoformas respecto de la presencia o no de actividades agrícolas y los modelos de campos dominantes (Tabla 5) demuestra que hay una serie de geoformas que no parecen estar relacionadas con la práctica de la agricultura: coladas de piedras, cabeceras activas, incisiones y áreas afectadas por erosión severa, aunque sí con procesos de deforestación generales. En cambio, los nichos de arranque y las lenguas de despegue están asociadas a los campos en pendiente —y no con los bancales—, lo que no significa que haya una relación de causa-efecto. En realidad lo que sucede es que los movimientos en masa profundos suelen presentar problemas de drenaje, que pueden controlarse mucho mejor en campos pendientes que en bancales.

La Fig. 3 representa los resultados de un análisis jerárquico de conglomerados (*cluster*) en el que se reflejan las asociaciones que existen entre las propias geoformas y entre estas últimas y los factores ambientales. El *cluster* distingue claramente cinco grupos de asociaciones:

— En el primer grupo se incluyen los movimientos en masa profundos (nichos y lenguas de despegue), relacionados con las calizas y margas wealdicas del suroeste de la Hoja de Munilla, preferentemente en umbrías y con pendientes moderadas (de manera que lo que explica su desencadenamiento es sobre todo una debilidad estructural y no su fuerte pendiente). Representan un fenómeno natural en el que la deforestación no ha debido jugar un papel importante. Por otro lado, muchas de las lenguas de despegue son heredadas, anteriores al proceso de eliminación del bosque.

— El segundo grupo acoge a las cabeceras en cuna pedregosas y a las vertientes regularizadas, ligadas a los conglomerados terciarios y a altitudes superiores a 1.200 m. Ambas geoformas proceden de sistemas morfogenéticos heredados, más fríos que los actuales y con menor cubierta forestal.

— En el tercer grupo se incluyen los conos de deyección, que forman una unidad aislada por su específico carácter sedimentario a baja altitud (menos de 800 m). Están presentes sobre todo en el Terciario, con pendientes suaves.

— El cuarto grupo asocia a las áreas afectadas por erosión severa y a las coladas de piedras, fenómenos que aparecen muy vinculados entre sí en distintos territorios (por ejemplo, en el *flysch* eoceno surpirenaico: García Ruiz & Puigdefábregas, 1982). Aparecen en ambientes muy deforestados, quizás cultivados ocasionalmente en momentos de fuerte presión demográfica, sobre areniscas y arcillas wealdicas (ocupando en gran parte los frentes de cuesta) y en exposiciones preferentemente solanas.

— Por último, el quinto grupo incluye los canchales, las cabeceras activas de torrentes y las incisiones, sobre fuertes pendientes y altitudes moderadas, ligados a las arcillas del Keuper y las calizas jurásicas del borde norte del Sistema Ibérico.

De acuerdo con la representación del *cluster* (Fig. 3), los grupos cuarto y quinto guardan entre sí una relativa proximidad, lo que no es extraño, pues incorporan a las geoformas más activas, típicas de procesos de erosión por arroyada (excepto los canchales) y pequeños movimientos en masa de ambientes degradados (coladas de piedras).

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE CONTROL DE LA ACTIVIDAD...

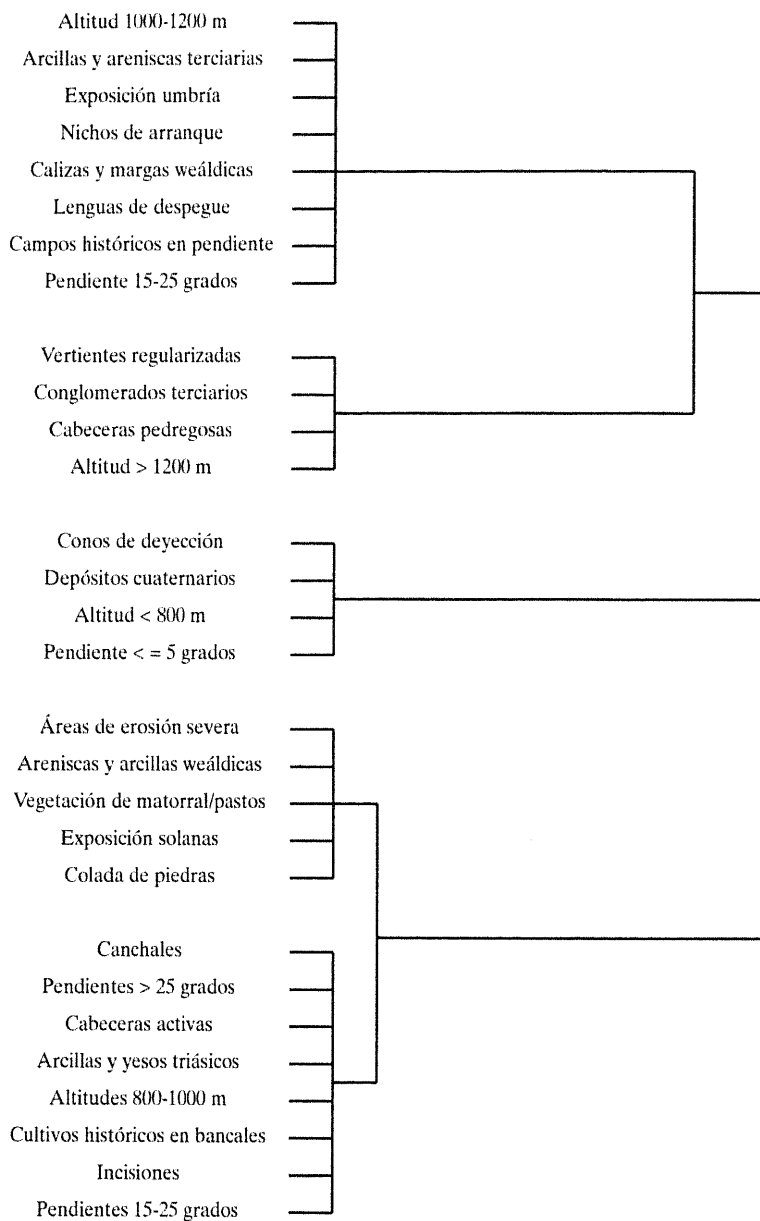
Tabla 5: Tabla de frecuencias entre las categorías de geoformas y los usos del suelo.

Filas %	Columnas % %	Índice de residuales Chi ajustados	TIPOS DE USOS				TOTAL %
			Matorral, no campos	Campos en pendiente	Bancales abandonados		
GEOFORMAS							
Sin geoformas	62.3% 93.7% -46.2	19.7% 95.2% +10.4	18.1% 97.2% +47.8			94.6%	
Nichos de arranque	45.7% .5% -26.5	44.9% 1.6% +47.8	9.4% .4% -16.1			.7%	
Lenguas de despegue	41.3% .2% -23.9	51.6% .9% +43.4	7.1% .1% -14.9			.4%	
Coladas de piedras	68.3% .4% +5.8	20.7% .3% +1.5	11.0% .2% -9.0			.3%	
Cabeceras activas	75.2% 1.0% +20.9	9.1% 4% -21.6	15.7% 7% -4.0			.8%	
Incisiones	71.0% .3% +7.2	19.0% .2% -6	10.0% .1% -8.5			.2%	
Áreas de erosión severa	81.8% 2.9% +53.2	9.9% 1.1% -32.8	8.2% 1.0% -33.3			2.2%	
Cabeceras pedregosas	81.7% .3% +17.7	16.4% .2% -3.6	1.9% .0% -18.8			.3%	
Canchales	93.0% .5% +32.3	.6% .0% -24.7	6.4% .1% -15.2			.3%	
Conos de deyección	97.8% .2% +23.7	1.8% .0% -14.7	.5% .0% -14.8			.1%	
TOTAL	62.8%	19.5%	17.6%			100.0%	

Nivel de Confianza Chi Cuadrado > 99,99%. Coeficiente de Contingencia: 0.110

Figura 3: Dendrograma del análisis de Cluster jerárquico.

Matriz de similitudes según el Coeficiente de Coligación Y de Yule
 Dendrograma de distancias relativas según el método de Ward.



4. CONCLUSIONES

La aplicación de técnicas SIG al estudio de la organización espacial de geoformas y procesos geomorfológicos es un sistema muy eficaz incluso en territorios con limitados contrastes altitudinales. La Hoja de Munilla es representativa de una montaña media intensamente deforestada y afectada por usos humanos durante siglos. Aun así, los factores ambientales (topográficos y litológicos) tienen un peso muy importante para explicar la frecuencia con que aparecen las distintas geoformas y su localización. Como se vio en un estudio similar efectuado en alta montaña (González *et al.*, 1995), la litología es el factor con mayor peso a la hora de interpretar la organización de un mapa geomorfológico, pues de una u otra forma incorpora información sobre resistencia de materiales frente a movimientos en masa y resistencia frente a la erosión por arroyada. También las pendientes y la exposición tienen un peso notable, pero más matizado. En particular, es importante considerar que a escala regional la exposición gana en importancia cuando no hay grandes contrastes altimétricos, pues el comportamiento geomorfológico de umbrías y solanas varía mucho en función de la altitud.

En el caso de la Hoja de Munilla es posible comprobar también el papel del hombre en la dinámica geomorfológica, aunque por tratarse de una zona muy antropizada es difícil discriminar el efecto del sobrepastoreo, la agricultura de laderas o los incendios. No obstante, se aprecia que algunos de los resultados confluyen en la misma dirección: algunos ambientes sometidos a intensa pérdida de suelo aparecen preferentemente en altitudes medias y pendientes relativamente suaves. Este hecho coincide con los resultados obtenidos en el *flysch* eoceno surpirenaico (García Ruiz & Puigdefábregas, 1992) y en las cuencas del Oja y del Najerilla (Gómez Villar, 1996), y refleja la existencia de áreas que por no ser demasiado pendientes ni estar a mucha altitud han sido objeto de mayor presión por parte del hombre.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo de los siguientes proyectos de investigación financiados por el Instituto de Estudios Riojanos: «*Cartografía geomorfológica y áreas de riesgo en el sistema Ibérico riojano*» y «*Aplicación de técnicas SIG a la ordenación del territorio de Cameros Viejo: Interacciones con la ganadería extensiva, la conservación del suelo y la diversidad paisajística*».

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernández Aldana, R., Lopo, L. & Rodríguez, 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. & Arnáez, J. (1991). *Mapa geomorfológico. Munilla*. Geofoma Ediciones, 26 pp. + 1 mapa a escala 1: 50.000, Logroño.

- García Ruiz, J.M. & Pugdefábregas, J. (1982): Formas de erosión en el flyscheoceno surpirenaico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 8:85-128.
- Gómez Villar, A. (1996): *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Geofoma Ediciones, 191 pp., Logroño.
- González, C., Ortigosa, L., Martí, C. & 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.
- ITGE, 1990: *Mapa Geológico de España, Munilla 242 (1:50.000)*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ruiz Flaño, P. & Ortigosa, L. (1989): Estudio superficial del espacio cultivado en Cameros Viejo (Sistema Ibérico) y su relación con algunos factores geocológicos. *Estudios Geográficos*, 197: 553-572.
- Sobrón, I. & Ortiz, F. (1989): Aspectos de la colonización vegetal en un área de montaña submediterránea: el valle del Jubera (Sistema Ibérico, La Rioja). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 15: 99-108.