

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ANÁLISIS DEL MEDIO FÍSICO EN EL SECTOR DE RUTE (CÓRDOBA)

C. IRIGARAY FERNÁNDEZ⁽¹⁾, T. FERNÁNDEZ DEL CASTILLO⁽²⁾
& J. CHACÓN MONTERO⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias.
Univ. de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada.

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogramétrica.
Escuela Politécnica Superior. Univ. de Jaén. Virgen de la Cabeza, 2. 23071 Jaén.

Resumen: Se presenta el proceso de análisis cuantitativo del medio físico mediante un Sistema de Información Geográfica y su aplicación al sector de Rute (Córdoba). Los principales resultados obtenidos han sido los siguientes: la altitud media ponderada es de 575 m., con un valor máximo de 1100 m y cota mínima de 300 m. La inclinación media ponderada es de 11.3°. Aunque no predomina una orientación de forma clara, destacan ligeramente los rangos de exposición noroeste a Norte y de sureste a Sur. El coeficiente de Iluminación tiene una distribución normal con valores medios próximos a 0.5. Las formas convexas predominan ligeramente sobre las cóncavas. Los radios de curvatura inferiores a 100 m son más frecuentes que los superiores a 100 m. Las Colinas representan el 86.4% del área total, mientras que las Llanuras, fundamentalmente irregulares de bajo relieve o planas, constituyen el 13.1%. Se han diferenciado 14 complejos litológicos, entre los que predominan las arcillas, las margas, margocalizas y calizas margosas, fundamentalmente del Subbético Medio. Las zonas próximas a los cauces representan menos del 37% del área total, de las cuales, el área próxima a los cauces de primer orden constituyen más del 50%. Este porcentaje se eleva hasta más del 80% si consideramos conjuntamente los cauces de primer y segundo orden.

Este trabajo pone de manifiesto la gran utilidad de los Sistemas de Información Geográfica para describir las características del terreno no sólo con propósitos geomorfológicos sino también para estudios ambientales y análisis de riesgos naturales.

Palabras clave: Sistema de Información Geográfica, medio físico, Rute (Córdoba).

Abstract: A process of quantitative analysis of the terrain by means of a Geographical Information System is here presented with reference to the Rute (Cordoba) sector. The main results were the following: an average weighed elevation of 575 m., with a maximum of 1100 m. and a minimum of 300m.; an average weighed slope angle of 11.3°; slope aspect mainly to NE-N and SE-S; an illumination coefficient with a normal distribution around 0.5; convex slope profiles slightly more abundant than the concave ones; curvature radii more frequently lower than higher than 100 m.; hill landforms representing a 86.4% of the total area, while plains landforms show only a 13.1%; 14 different lithological complexes with a predominance of clays, marls, marls and limestones or marly limestones, all of Middle

Subbetic origin. Less than a 37% of the total surface around channels from which a 50% corresponds to first order channels and 80% to first and second order channels considered together.

This work shows the great usefulness of this tool to describe the characteristics of the terrain not only for geomorphological purposes but also for environmental of natural hazards assessment.

Key words: Geographical Information System, earth's surface, Rute (Cordoba, Spain).

1. Introducción

Durante el largo período de investigaciones geomorfológicas anterior a la reciente revolución microinformática, la cuantificación de las características del medio físico se basaba bien en la medida de características del relieve a partir de mapas topográficos o bien, complementariamente, en medidas directas de magnitudes y parámetros del relieve. El empleo de las imágenes de satélite desde los años 70 permitió una primera aproximación al problema, válida sólo para la pequeña escala dada la resolución limitada de tal soporte (Bätz & Durrstein, 1989); en la última década la puesta a disposición de los S.I.G., en mayor o menor medida, dependiendo del paquete y sus herramientas, ha permitido aproximar el problema a la gran escala abriendo unas perspectivas de trabajo de enorme interés.

El Modelo Digital de Elevaciones constituye la infraestructura básica, a partir de la cual es posible construir otros modelos derivados que constituyen, en conjunto, el Modelo Digital del Terreno (MDT) (Doyle, 1978). Estos modelos junto a la utilización de los SIG constituyen herramientas muy potentes no sólo para la descripción morfológica del terreno, sino también para estudios ambientales y para el análisis de riesgos naturales (ASPRS, 1994).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la cuantificación de parámetros del medio físico a partir del M.D.E. (Modelo Digital de Elevaciones) y de la digitalización de mapas temáticos complementarios en el sector de Rute (Córdoba).

2. Localización geográfica y geológica

La zona estudiada coincide aproximadamente con la Hoja 1007 (Rute) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (Instituto Geográfico Nacional) (figura 1). Está situada en la confluencia de los límites provinciales de Córdoba, Granada y Málaga. Queda delimitada por las coordenadas geográficas 37°10' 18" - 37° 20' 07" de latitud Norte y 4° 11' 18" - 4° 31' 06" de longitud Oeste y ocupa una extensión aproximada de 503 Km².

Desde el punto de vista geológico, la mayor parte de los materiales aflorantes en este sector se encuadran en la Zonas Externas, concretamente en el Subbético Medio, apareciendo también, materiales del Triás de facies germano-andaluz (Blumenthal, 1927). Además, mediante contacto tectónico, aparecen unidades pertenecientes al Complejo del Campo de Gibraltar, descritas como "flysch predorsalianos" de la "Zona Circumbética" y "Formaciones Tectosedimentarias o Tectónicas" por Cano (1990).

3. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El Modelo Digital de Elevaciones (M.D.E.) es una superficie raster (estructura matricial) "casi continua" que nos da información acerca de la coordenada "z" (altitud) en cualquier punto de esa superficie. El MDE tiene una importancia crucial en el resultado de los estudios medioambientales basados en el análisis del terreno, ya que a partir de él se obtienen las características morfológicas y morfométricas de la superficie estudiada (pendiente, exposición, iluminación, curvatura, etc.). (Burrough, 1988; Bosque Sendra, 1992; Huber, 1994; Felicísimo, 1994).

El proceso seguido para obtener el MDE se resume a continuación (Iriagaray, 1995):

- a) Digitalización manual de los mapas topográficos disponibles:
 - a.1) Digitalización de las curvas de nivel.

- a.2) Digitalización de los puntos críticos tales como vértices, picos, depresiones, lomos, etc.
- a.3) Digitalización de algunos puntos en las zonas de valles estrechos y crestas agudas.
- b) Transformación de los datos vectoriales y puntuales digitalizados en puntos, por requerimiento del programa SPANS (Tydac, 1993a), utilizado en este trabajo.
- c) Transformación de los datos puntuales en datos matriciales tipo "quadtree" (raster matricial arborescente cuaternario) (Ebdon, 1992).
- d) Filtrado. El mapa con estructura quadtree resultante se filtra con objeto de poder calcular las derivadas (pendiente, exposición y curvatura) de forma razonable.
- e) Chequeo del MDE obtenido. La información sobre la calidad de los datos fuente y los posibles errores en la introducción de datos deben ser evaluados antes de proceder a utilizar el MDE para el análisis y modelado del terreno (Veregin, 1989). El método utilizado para una comprobación visual rápida del MDE es el cálculo del mapa de iluminación para diferentes posiciones de la fuente de luz. Alternativamente se pueden elaborar varios bloques-diagrama del MDE desde diferentes puntos de observación.

4. Mapas derivados del MDE

Algunas de las características morfométricas y geométricas del terreno, tales como la pendiente, la exposición o la iluminación, se pueden calcular directamente mediante alguna de las opciones del menú del Sistema empleado. Pero además, la gran flexibilidad de los conceptos de superposición y análisis de vecindad permite crear variaciones de las funciones existentes o bien otras totalmente nuevas, con objeto de determinar otras características del medio físico a partir del MDE (Bosque Sendra, 1992; Krcho, 1992; Jenco, 1992; Minár, 1992; Mitsova, 1993; Huber, 1994; Felicísimo, 1994).

4.1 Mapas de obtención directa

4.1.1. Altitud

La altitud en cada punto viene determinada por el MDE. Dado que el MDE expresa la elevación de cada punto, a la hora de operar o representar los datos de altitud, es conveniente reagruparlos en intervalos de amplitud variable según convenga.

El mapa de altitud de la zona estudiada se obtuvo mediante la reclasificación del MDE a intervalos de 100 metros de amplitud, aunque se representa gráficamente en intervalos de 200 metros (figura 2).

La relación entre cada nivel de altura y la extensión superficial que ocupa, corresponde a una distribución normal, con una altitud media ponderada de 575 m. La diferencia máxima entre altitudes (rango) es de 800 m. La cota más alta (1100 m) se sitúa al Norte, en la Sierra de Rute. La parte occidental está ocupada por una peniplanicie cuya cota más baja se sitúa en torno a los 300 m.

4.1.2. Pendiente

En sentido estricto, la pendiente en un punto se define como el gradiente de inclinación de la línea de máxima pendiente respecto a un plano horizontal. Se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales.

La figura 3 ilustra el mapa de pendientes de la zona de estudio, clasificado en 5 clases: llana o suave (0-5°), moderada (5-10°), bastante fuerte (10-15°), fuerte (15-25°) y muy fuerte (>25°) (CEOTMA, 1984).

Las pendientes superiores a 15° representan el 21.6% de la superficie total. Se localizan, fundamentalmente, al Sur de Cuevas de San Marcos (Sierrecilla de Malhombre, Camorro de Cuevas Altas, El Morrón), en la Sierra de Campo Agro, al Noreste de Iznájar (Loma del Santísimo, Fuentes de Cesna, Sierra de Ojete) y al Este de Rute (Cerrillo Buitreras y Cerro de la Camorrilla).

Las pendientes llanas y suaves constituyen el 28.4% y se sitúan, principalmente, en la llanura aluvial del río Genil, aguas abajo del Embalse de Iznájar, al Suroeste de Villanueva de Algaidas y en el vértice Sureste del área estudiada (Las Cabreras).

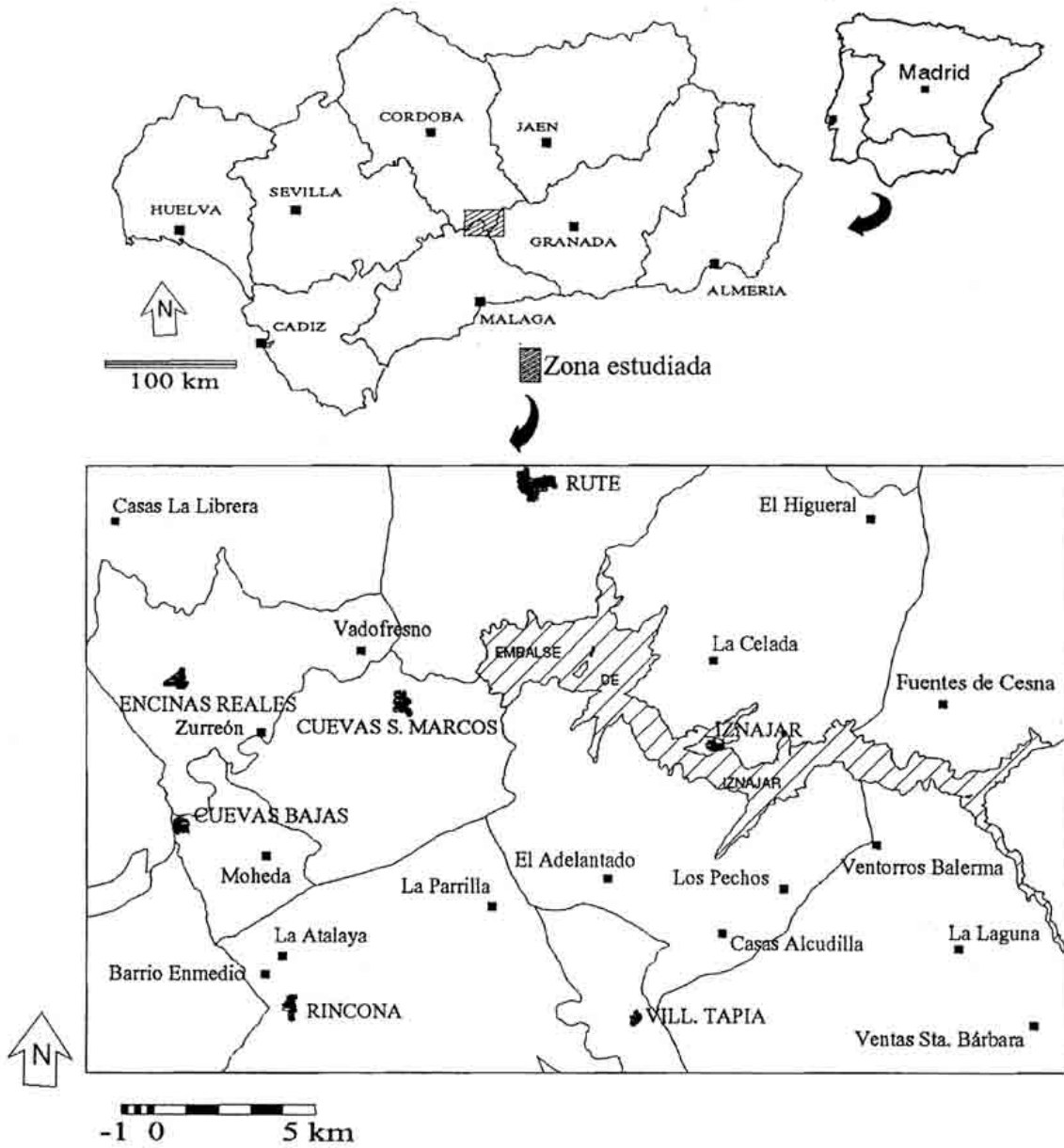


Fig. 1. Localización del área estudiada. Location map of the study area.

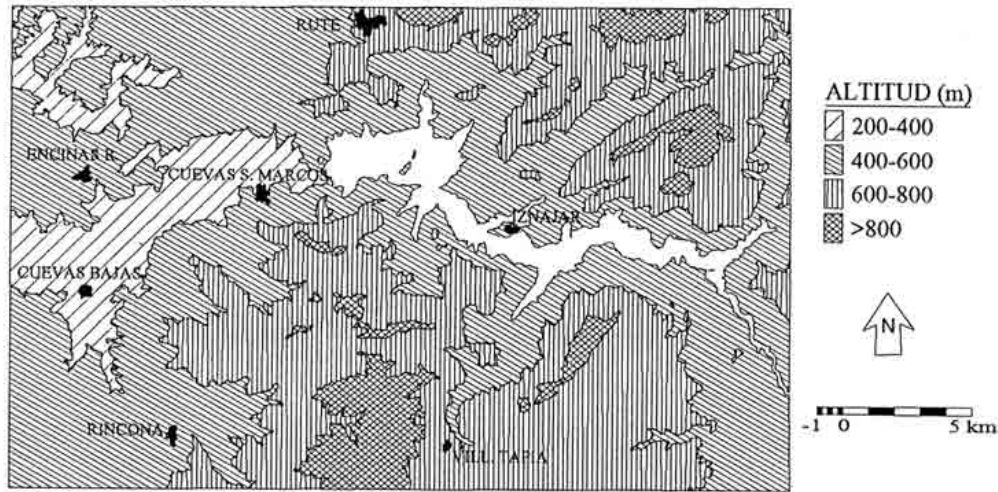


Figura 2. Mapa de alturas reclasificado en intervalos de 200 m. *Elevation map reclassified in 200 m intervals.*

En el resto de la zona predominan las pendientes moderadas (29.9%) y bastante fuertes (20.1%). La pendiente media ponderada es de 11.3° , y la pendiente modal 8° .

4.1.3. Exposición

La exposición expresa la posición de una superficie respecto a los puntos cardinales. Se define como la orientación de la línea de máxima pendiente con respecto al Norte. Se calcula midiendo, en sentido de las agujas del reloj, el ángulo entre el Norte y la proyección horizontal de la línea de máxima pendiente.

La figura 4 ilustra las orientaciones, clasificadas en 4 clases, de las laderas del sector de Rute. Las distintas exposiciones se distribuyen de forma muy homogénea. Aunque no predomina una orientación de forma clara, destacan ligeramente los rangos de exposición $303-11^\circ$ (de Noroeste a Norte) y $123-191^\circ$ (de Sureste a Sur), a los que corresponde, aproximadamente la mitad de la superficie total.

4.1.4. Coeficiente de Iluminación

La iluminación expresa la intensidad de la luz reflejada desde la superficie del terreno sobre un plano tangente a la misma. Se cuantifica como el coseno del ángulo formado entre la normal a la superficie y la fuente de luz (ángulo de incidencia). Los ángulos de incidencia superiores a 90° tienen un valor de iluminación de 0. La iluminación se expresa, por tanto, como un coeficiente adimensional que varía entre 0 y 1.

El mapa de iluminación se genera a partir del Modelo Digital de Elevaciones y se utiliza para mostrar áreas de umbría a una determinada hora del día y para simular mapas de sombreado con respecto a una fuente de luz (normalmente el sol) situada a una distancia infinita y en una dirección especificada por el usuario, determinada por el acimut y el cénit.

Se han calculado 4 mapas de iluminación. Dado que la zona de estudio se localiza entre 36.5° y 37.5° de latitud Norte, podemos considerar que el cénit máximo medio anual es, aproximadamente, 40° , que se alcanza para un acimut aproximado de 180° (Strahler, 1963). Con estas condiciones se ha generado el mapa de iluminación "al mediodía". Los mapas de iluminación "al amanecer" y "al atardecer" se han generado considerando un cénit de 65° y un acimut de 110° y 250° respectivamente.

El mapa de iluminación media se ha calculado mediante la opción de modelado de mapas, aplicando una ecuación que calcula la media aritmética de los tres anteriores.

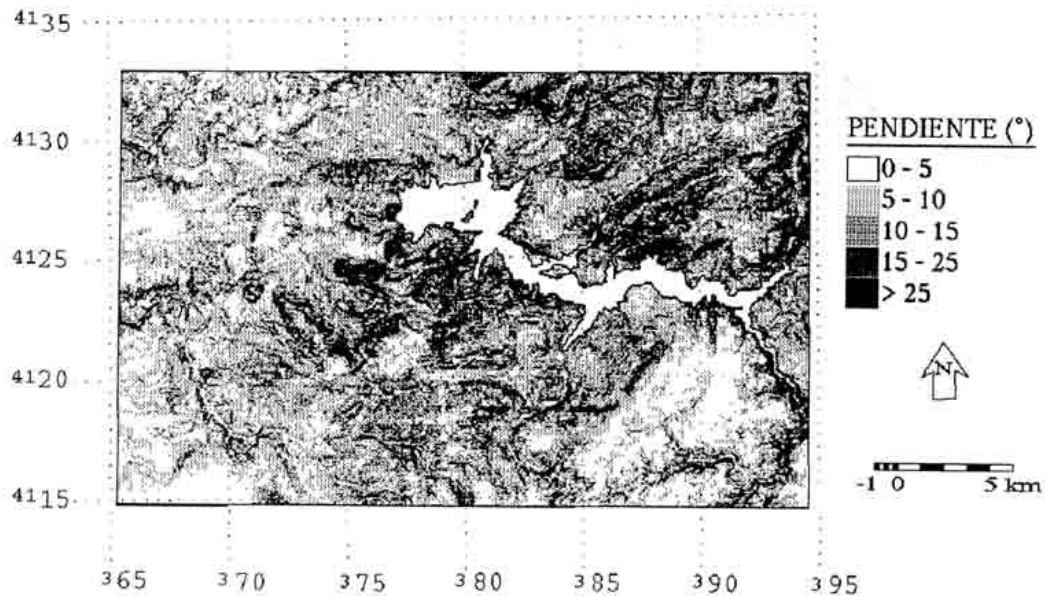


Fig. 3. Mapa de pendientes reclasificado en 5 clases. *Slope map reclassified in 5 classes.*

El coeficiente de iluminación media tiene una distribución normal con un ligero sesgo a la izquierda (coeficiente de asimetría de Pearson (A_p) = -0.13, con un valor medio de 0.49 y desviación típica 0.075 (figura 5).

4.2. Mapas de obtención indirecta

La determinación de algunas características, tales como la curvatura, concavidad-convexidad, etc. son importantes para el análisis de procesos relacionados con la convergencia y divergencia de la materia (Marks et al., 1989; Huber, 1994). Sin embargo, la mayoría de los SIG, no disponen de una función específica para determinar directamente estas características. No obstante, la flexibilidad del análisis de vecindad combinado con la superposición de mapas permite obtener, una gran variedad de parámetros del medio físico (Bourrough, 1988; Bosque Sendra, 1992; Tydac, 1993b; Huber, 1994; Felicísimo, 1994).

4.2.1. Morfología del perfil (cóncava, convexa o plana)

La figura 6 ilustra el mapa de morfología del perfil en el sector de estudio. El método utilizado para determinar si una superficie topográfica es cóncava o convexa se basa en la comparación entre el Modelo Digital de Elevaciones original y una superficie suavizada de ese modelo. Una superficie suavizada significa que los picos y crestas se hacen más bajos, mientras que los pozos y valles se hacen más altos. Así pues, en morfologías convexas la superficie suavizada será más baja que la original, mientras que en formas cóncavas esta relación se invierte; es decir, la superficie suavizada será más alta que la original. Cuando la altura de ambas superficies sean iguales, diremos que la superficie es plana.

Naturalmente, dependiendo de las dimensiones de la ventana de vecindad utilizada se pueden detectar morfologías de mayor o menor tamaño; una misma ladera puede presentar una morfología convexa utilizando una ventana grande, y cóncava si la analizamos con más detalle. De este modo, mediante el modelado de mapas, podemos asignar diferentes clases que hagan referencia a la morfología y al tamaño para el cual una superficie presenta esa morfología (Huber, 1994).

4.2.2. Radio de curvatura vertical

El radio de curvatura se puede determinar a partir de la segunda derivada de la superficie topográfica (Jenco, 1992). En este trabajo el radio de curvatura vertical se ha obtenido calculando pendiente, expresada en porcentaje, del mapa de pendientes sin clasificar, expresado en grados. Con ello obtenemos la variación de la inclinación en grados para una determinada distancia en el plano "XY". Los valores de esta variación en la inclinación se pueden expresar en función del radio de curvatura (Huber, 1994; Irigaray, 1995).

Teniendo en cuenta la morfología del perfil (cóncava, convexa o plana), así como el radio de curvatura se ha elaborado el mapa de curvatura vertical (Huber, 1994; Irigaray, 1995). Las formas convexas predominan ligeramente sobre las cóncavas, siendo los radios de curvatura inferiores a 1000 m. más frecuentes que los superiores a 1000 m. (figura 7).

4.2.3. Formas del Terreno

Las formas del terreno son el resultado de los procesos del modelado, a corto y largo plazo, que operan como respuesta, principalmente, al clima, geología, tectónica, vegetación, etc. Hammond (1964) estableció una clasificación de las formas del terreno en la totalidad de EEUU, diferenciando 5 tipos principales: 1. Llanuras, 2. Mesetas, 3. Llanuras con colinas o montañas, 4. Colinas y montañas abiertas, y 5. Colinas y montañas. Los tipos de formas del terreno fueron subdivididos en 21 clases y 45 subclases en función de tres factores: porcentaje de pendiente suave en el área, el relieve local y el tipo de perfil.

Dikau et al. (1991) propusieron una clasificación automática de formas del terreno para el Estado de Nuevo México basada en Hammond (1964), con pequeñas variaciones.

El método utilizado en este trabajo se basa en los citados anteriormente con algunas diferencias. La nomenclatura utilizada es la propuesta por Dikau et al. (1991), pero sólo se utilizan 24 clases de formas del terreno (figura 8).

La diferenciación entre las 24 clases de formas del terreno consideradas se hizo mediante la combinación de la información de cada uno de los factores que las definen. Estos factores son el porcentaje de pendiente inferior a 4°, el relieve local (rango de alturas) y el tipo de perfil (Irigaray, 1995).

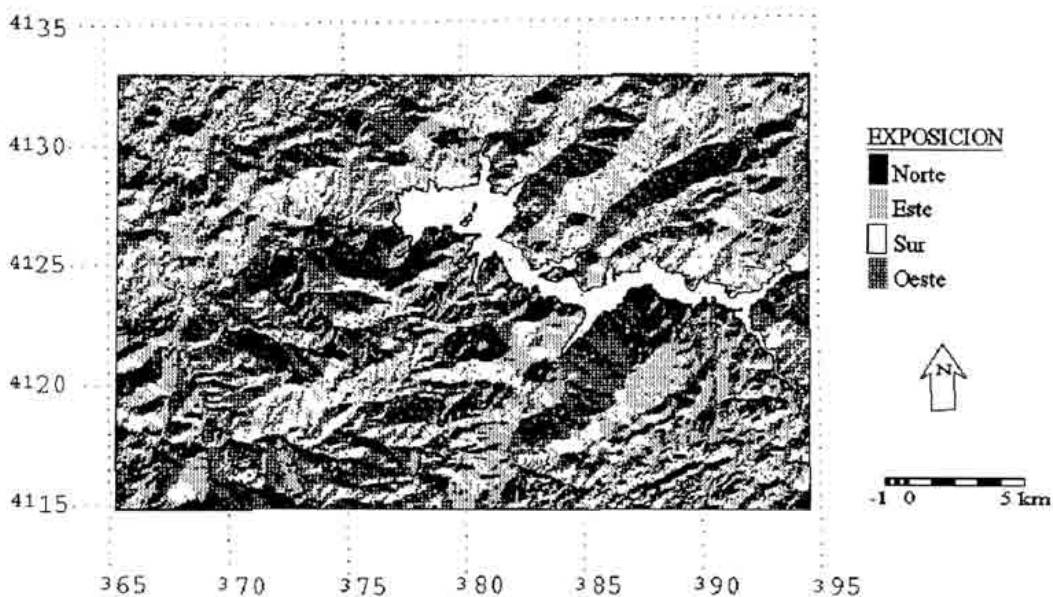


Fig. 4. Mapa de exposición reclasificado en 4 clases. *Aspect map reclassified in 4 classes.*

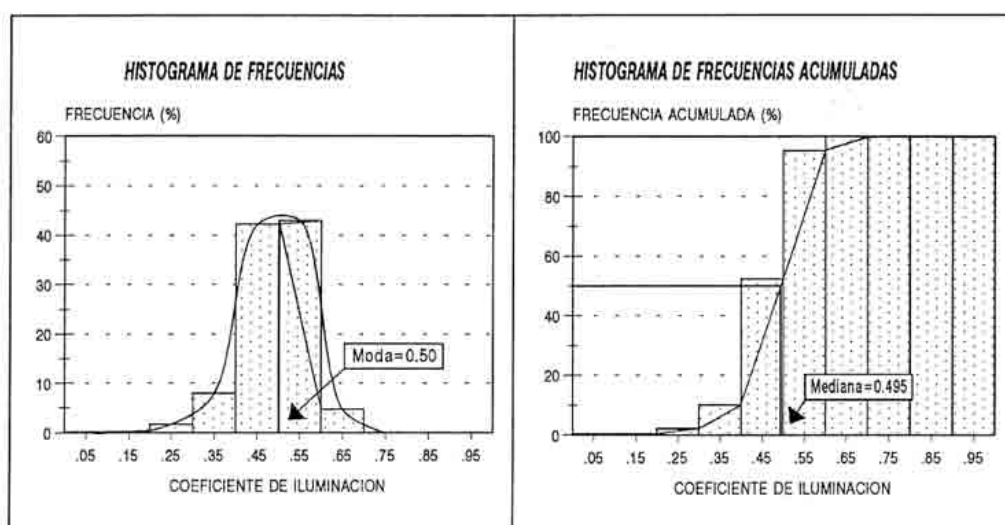


Fig. 5. Distribución del coeficiente de iluminación. *Distribution of the Illumination coefficient.*

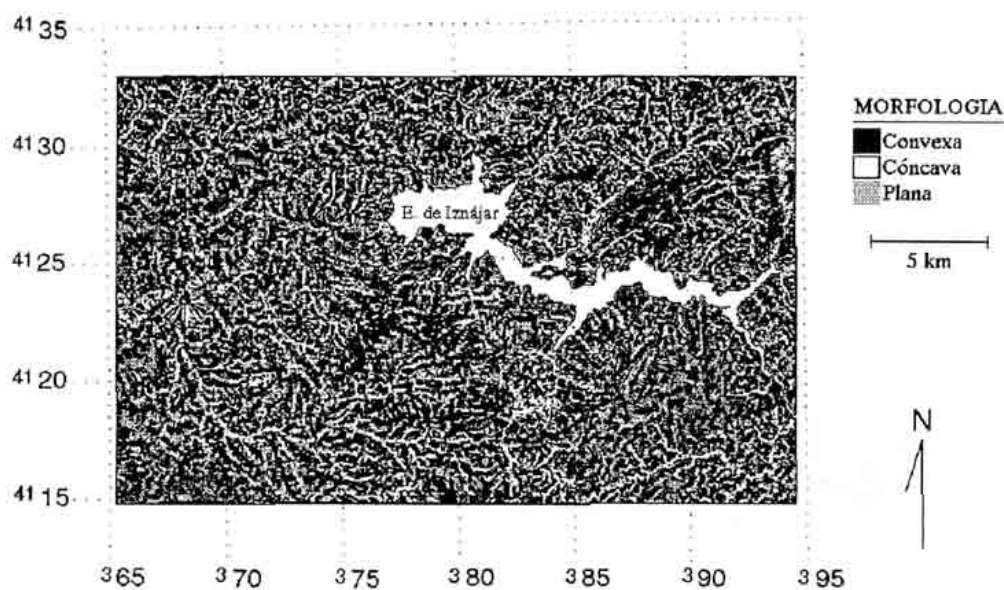


Fig. 6. Mapa de morfología del perfil. *Morphology of the profile map.*

La figura 9 ilustra la distribución de las formas del terreno en esta zona. El análisis de frecuencia de las distintas clases indica que sólo 16 de las 24 clases están presentes.

Las Llanuras, fundamentalmente irregulares de bajo relieve o planas, constituyen el 13.05% y se localizan al Oeste de Encinas Reales, Suroeste de Villanueva de Algaidas y en una dirección SO-NE al Sureste de la Sierra de Campo Agro. Las Mesetas y Llanuras con colinas y montañas sólo representan el 0.6%.

Las Colinas constituyen el 86.35% del área total. Las Colinas abiertas (34.56%) se localizan en los alrededores de los límites del Pantano de Iznájar y en el tercio Oeste de la zona. Las colinas altas coinciden con los relieves más importantes: Santísimo, Ventanas, Sierra de Campo Agro, Loma de los Carruchos, Loma de las Monjas y Camorro de Cuevas Altas, entre otros.

5. Mapas temáticos complementarios

Además, es posible incorporar al análisis del medio físico otras características obtenidas a partir de la digitalización de mapas temáticos publicados o realizados sobre el terreno como: unidades litológicas, red de drenaje, movimientos de ladera, etc.; todos los cuales pueden ser integrados en una consideración global del medio físico que sirve de base a los estudios regionales o locales de carácter medioambiental (Chacón et al, 1992; 1993 a y b; 1994 a y b).

5.1. Unidades litológicas.

La cartografía de los complejos litológicos (UNESCO, 1976) se ha realizado a partir del mapa geológico a escala 1/50.000 (Cano, 1990), mediante la reclasificación de las diferentes unidades litoestratigráficas, en función de sus características litológicas (Irigaray, 1995).

En el sector de estudio se han diferenciado 14 complejos litológicos, reagrupados en 6 en la figura 10: LC-1. Dolomías. Son grises, masivas y de aspecto brechoide. Su extensión representa sólo el 0.9% de la superficie total.

LC-2. Calizas blancas bien estratificadas (2.7%).

LC-3. Calizas y margocalizas (15.3%). Se trata de calizas y margocalizas grises y rojizas, a veces de carácter noduloso, con algunas intercalaciones de margas.

LC-4. Margocalizas y margas (6.7%). Constituidas casi exclusivamente por una serie monótona de margocalizas y margas alternantes.

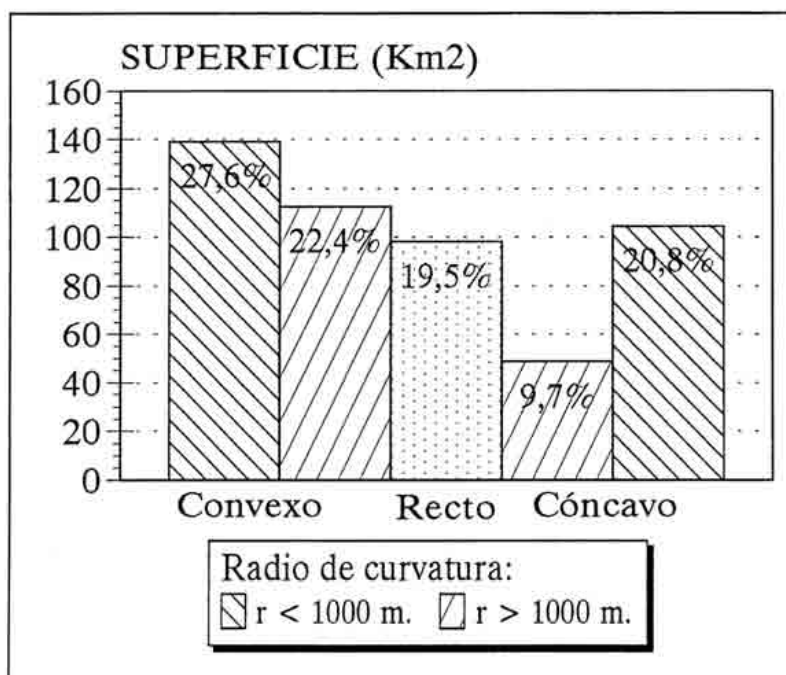


Fig. 7. Histograma de frecuencias de la curvatura vertical. *Frequency histogram of the vertical curvature.*

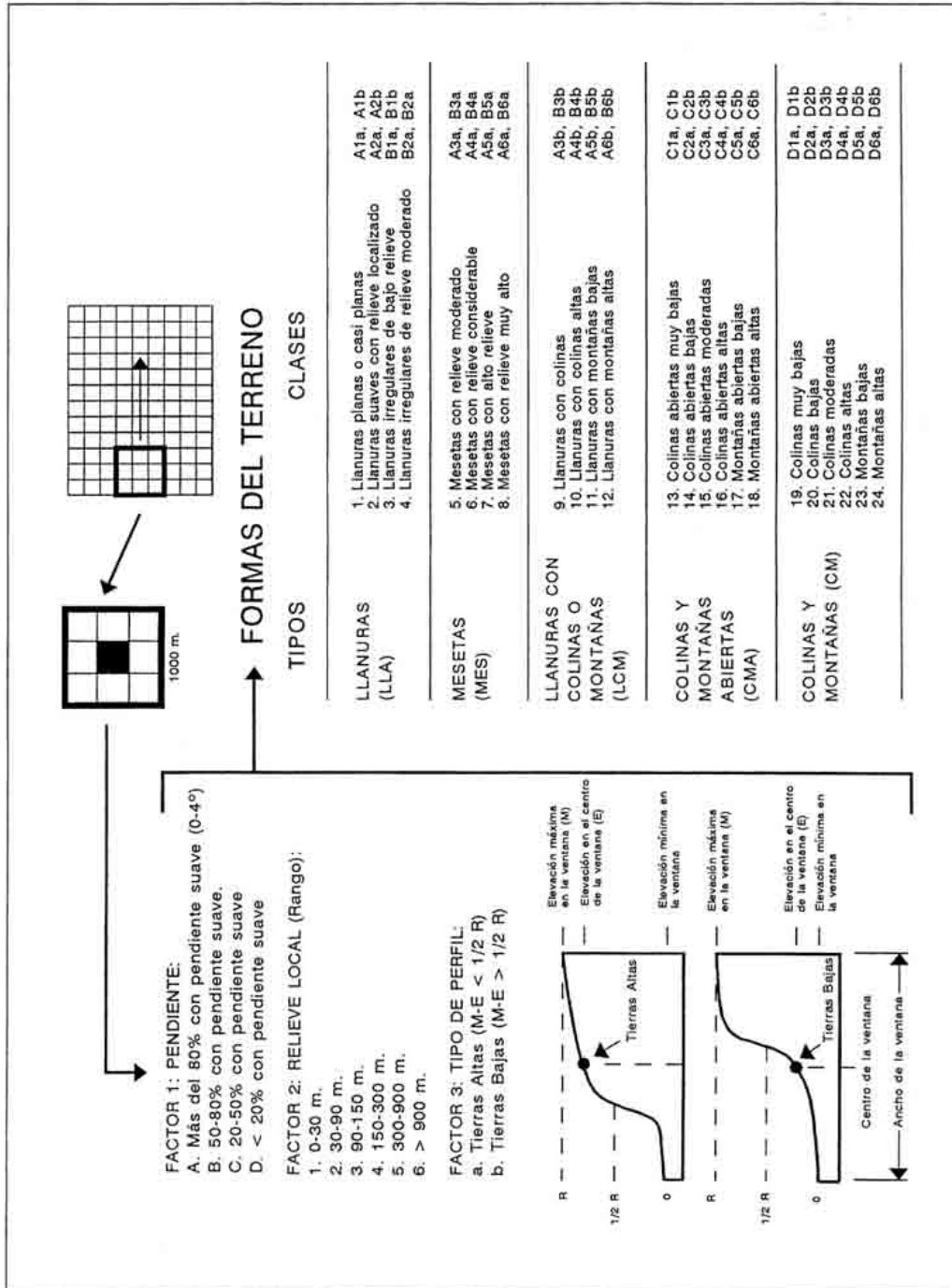
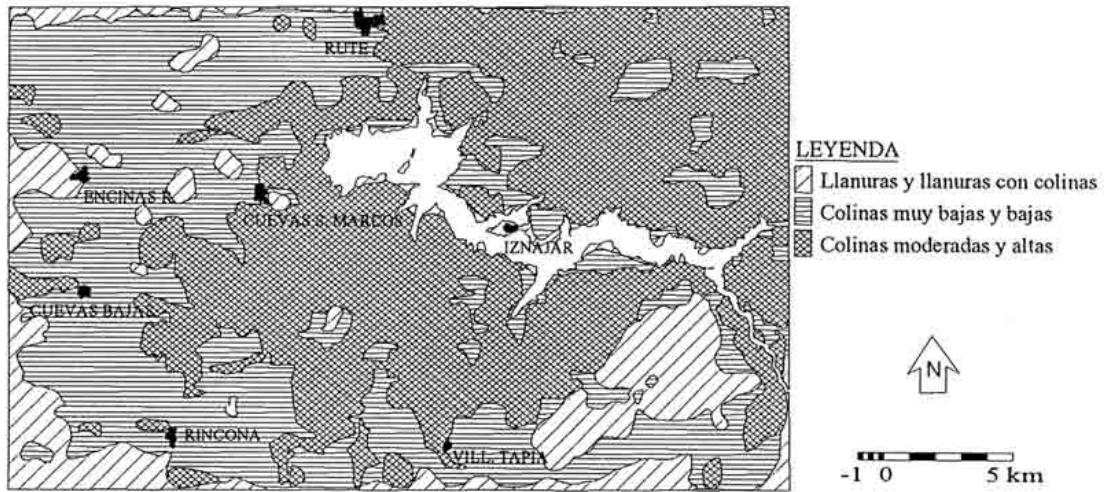


Fig. 8. Metodología utilizada en la elaboración del mapa de formas del terreno (basada en Dikau et al., 1991). Methodology used in the elaboration of the landforms map (modified from Dikau et al., 1991).

Fig. 9. Mapa de formas del terreno. *Landforms map*.

LC-5. Calcarenitas y margas (3.4%). Las calcarenitas se presentan en bancos regulares entre los que se disponen tramos de margas y algunos niveles de limos y arenas.

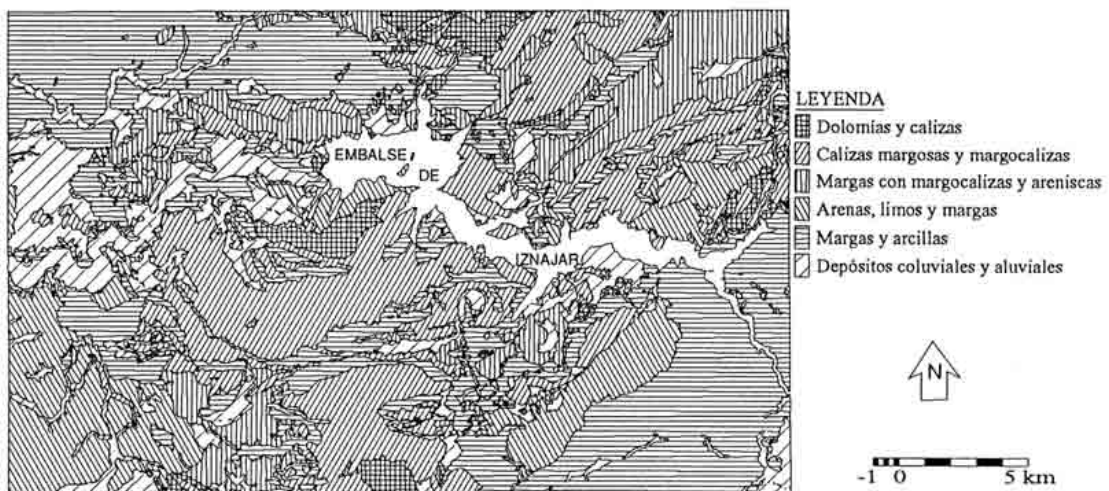
LC-6. Margas y calizas margosas (10.5%). Son de color verdoso, blancas y rosadas (10.5%).

LC-7. Margas y areniscas (1.4%) Constituido por una alternancia de niveles margosos con otros de areniscas y/o calcarenitas, de carácter flyschoides.

LC-8. Arenas, limos y margas (11.7%). Formado por arenas finas, areniscas, limos y algunas intercalaciones de margas.

LC-9. Margas (18.8%). Se trata de margas verdosas y grisáceas y margas rojas con algunas intercalaciones de radiolaritas.

LC-10. Arcillas (23.7%) En esta unidad se incluyen tanto las arcillas con yeso del Trías, así como la masa arcillosa de las "Formaciones Tectosedimentarias" del Mioceno medio. Aunque en ambos casos las

Fig. 10. Mapa de unidades litológicas. *Lithological units map*.

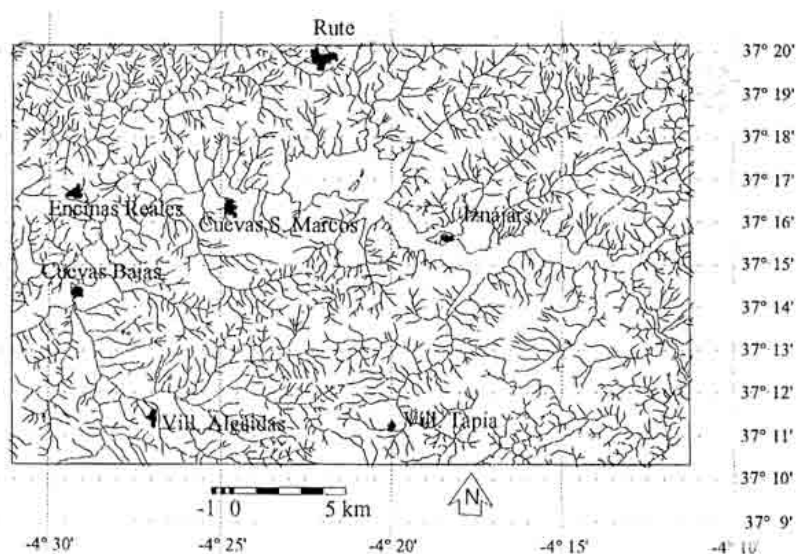


Fig. 11. Red de drenaje. *Drainage network.*

características litológicas son similares, sus propiedades geotécnicas, presentan ciertas diferencias mecánicas (Iriagaray, 1995).

LC-11. Coluvial (1.7%). Formado por cantos heterométricos y heterogéneos, aunque predominan los de naturaleza calcárea, con abundante matriz limoso-arcillosas.

LC-12. Glacis (4.4%). Formado por arcillas rojizas y cantos de naturaleza calcárea.

LC-13. Eluvial (3.1%). Compuesto por suelos residuales resultantes de la alteración "in situ" de las unidades del sustrato.

LC-14. Aluvial (3.7%). Se trata de arenas, limos y gravas acumuladas a lo largo de los principales cursos fluviales y sus terrazas.

5.2. Red de drenaje

Una vez obtenida la red de drenaje (figura 11), se determinó el área de un corredor alrededor de los cauces, con una anchura de 50 m. a cada lado del cauce. Las zonas próximas a los cauces (distancia inferior a los radios considerados) representan en cualquier caso, menos del 37% del área total, de las cuales, el área próxima a los cauces de primer orden constituyen más del 50%. Este porcentaje se eleva hasta más del 80% si consideramos conjuntamente los cauces de primer y segundo orden.

6. Conclusiones

Con el uso generalizado de los ordenadores y, particularmente, con los métodos de cartografía automática y los nuevos S.I.G., se hace posible el análisis y modelización del medio físico y el establecimiento de bases de datos permanentes para la obtención, en cualquier momento de mapas destinados a diferentes finalidades.

Con las herramientas que proporcionan los SIG, en el sector de estudio se han determinado las siguientes características del medio físico: la altitud media ponderada es de 575 metros, con valores variables entre 300 y 1100 metros. La inclinación media ponderada es de 11.3°. Destacan ligeramente los rangos de expo-

sición noroeste a Norte y de sureste a Sur. El coeficiente de Iluminación presenta una distribución normal con valores medios próximos a 0.5. Las formas convexas predominan ligeramente sobre las cóncavas. Los radios de curvatura inferiores a 100 m son más frecuentes que los superiores a 100 m. Las formas del relieve son sobre todo Colinas, con algunas Llanuras, fundamentalmente irregulares de bajo relieve o planas. Los complejos litológicos predominantes son las arcillas, las margas, margocalizas y calizas margosas, fundamentalmente del Subbético Medio. Las zonas próximas a los cauces, principalmente de primer y segundo orden, representan menos del 37% del área total.

Los resultados obtenidos en la zona de estudio ponen de manifiesto la gran utilidad de los Sistemas de Información Geográfica para describir, de forma cuantitativa, las características del medio físico, obtenidas bien a partir del Modelo Digital de Elevaciones (altitud, pendiente, exposición, coeficiente de Iluminación, curvatura, formas del terreno) o mediante la digitalización y/o reclasificación de mapas pre-existentes (geología, red de drenaje etc.) y constituyen una herramienta muy potente no sólo con propósitos geomorfológicos, sino también para estudios ambientales y análisis de riesgos naturales.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto de la DGICYT española AMB92-0656, sobre "Movimientos de ladera y riesgos asociados en las Cordilleras Béticas" y por el Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía a través del Grupo 4019.

Referencias bibliográficas

- ASPRS (1994): *The GIS Applications Book. Examples in Natural Resources: a compendium*. William J. Ripple Ed. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 380 pp.
- Bätz W. & Dürrstein H. (1989): Topographische Datensätze aus SPOT-Aufnahmen-Anwendung und Grenzen eines digitalen Geländemodells. *Geographische Rundschau* 41/12, Braunschweig, pp. 700-705.
- Blumenthal, M. (1927): Versuch einer tektonischen Gliederung der Betischen Cordilleren von Central und Sud-West Andalusien. *Ecl. Geol. Helv.*, 20, 4: 487-532.
- Bosque Sendra, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S.A., Madrid. 451 pp.
- Burrough, P. (1988): *Principles of Geographical Information System for land resources assessment*, Oxford, Oxford University Press. 194 pp.
- Cano, F. (1990): *Mapa y memoria explicativa de la hoja 1007 (Rute) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. I.G.M.E., 34 pp., 1 mapa.
- CEOTMA (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Serie Manuales, nº 3, 2ª edic., MOPU. 572 pp.
- Chacón, J.; Irigaray, C. & Fernández, T. (1992): Análisis regional de movimientos de ladera y riesgos derivados mediante sistemas de información geográfica. *I Congreso AESIG*. pp. 355-360. Madrid.
- Chacón, J.; Irigaray, C. & Fernández, T. (1993a): Análisis y cartografía de factores condicionantes de los movimientos de ladera mediante un SIG. *V Reunión Nacional de Geología Ambiental*, pp. 585-595. Murcia
- Chacón, J.; Irigaray, C. & Fernández, T. (1993b): Methodology for large scale landslide hazard mapping in a GIS. *Vth International Conference & Field Workshop on Landslides*. Czech and Slovak Rep, pp. 77-82. A.A. Balkema. Rotterdam.
- Chacón, J.; Irigaray, C. & Fernández, T. (1994a): Large to middle scale landslides inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS. *Vth International Congress IAEG*, Lisboa, pp. 4669-4678. A.A. Balkema. Rotterdam.
- Chacón, J.; Irigaray, C. & Fernández, T. (1994b): Metodología para el análisis y cartografía de movimientos de ladera y riesgos asociados mediante un SIG. *III Congreso AESIG*. Madrid.
- Dikau, R.; Brabb, E.E., and Mark, R. (1991): Landform Classification of New Mexico by Computer. U.S. Geological Survey, *Open file report* 91-634, 15 pp.

- Doyle, F.J.** (1978): Digital terrain models: an overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44 (12): 1481-1485.
- Ebdon, D.** (1992): SPANS - a quadtree-based GIS. *Computer and Geosciences*, Vol. 18, N° 4, 471-475.
- Felicísimo, A.M.** (1994): *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales*. Pentalfa Ediciones, Oviedo. 220 pp.
- Hammond, E.H.** (1964): Classes of land surface form in the forty-eight states, U.S.A., *Annual Assoc. American Geographers* v.54, Map supplement n°4, scale 1:5.000.000.
- Huber, M.** (1994): *The Digital Geo-ecological Map Concepts, GIS-Methods and Case Studies*. Doctoral thesis, Department of Geography, University of Basel, 113 pp.
- Iriagaray, 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. Univ. de Granada. 578 pp.
- Jenco, M.** (1992): The morphometric Analysis of Georelief in Terms of a Theoretical Conception of the complex Digital Model Georelief. Acta fac. rer. nat. universitatis comenianae, *Geographica* 33, Bratislava, pp. 133-153.
- Krcho, J.** (1992): Georelief and Its Cartographic Modelling by Complex Digital Model (CDM) from Geographical Information System (GIS) Point of View. Acta fac. rer. nat. universitatis comenianae, *Geographica* 33, Bratislava, pp. 3-131.
- Marks, D.; Dozier, J. & Frew J.** (1989): Automated Basin Delineation from Digital Elevation Models. *Geo-processing* 2: 299-311.
- Minár, J.** (1992): The principles of the Elementary Geomorphological Regionalization. Acta fac. rer. nat. universitatis comenianae, *Geographica* 33, Bratislava, pp. 186-198.
- Mitasova, H.** (1993): *Surfaces and Modeling*. Grassclippings Springs 1993, pp. 18-19.
- Strahler, A.N.** (1963): *The Earth Sciences*, Harper and Row, Inc., Nueva York, Versión española: Geografía Física, Ed. Omega, Barcelona, 1988, 767 pp.
- Tydac, Inc.** (1993a): *SPANS GIS Reference Manual*. Intera Tydac Technologies Inc. 564 pp.
- Tydac, Inc.** (1993b): *SPANS GIS Modeling Handbook*. 136 pp. Intera Tydac Technologies Inc.
- UNESCO** (1976): *Guide pour la préparation des cartes géotechniques. (Engineering geological map. A guide to their preparation)*. Les Presses de l'Unesco París, UNESCO/IAEG. 79 p.
- Veregin, H.** (1989): A Taxonomy of Error in Spatial Databases. *NCGIA Technical Paper* 89-12, Santa Barbara, 115 pp.