

Cartografía de la actividad erosiva de paredes de barrancos a partir de imágenes de teledetección

J. A. Martínez-Casasnovas

Correo electrónico: j.martinez@macs.udl.es

Universitat de Lleida, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sol Rovira Roure 177,25198 Lleida.

RESUMEN

El presente trabajo muestra una metodología para la determinación del grado de actividad erosiva de paredes de barrancos, fenómenos erosivos muy frecuentes en el área Mediterránea. La metodología se basa en la identificación del tipo de cubierta vegetal y grado de recubrimiento de las paredes a partir de imágenes multiespectrales de resolución media (Landsat TM). El área de estudio se localiza en las comarcas de l'Alt Penedes y l'Anoia (Barcelona), donde el principal cultivo son los viñedos. En esta región se ha desarrollado una red de barrancos de grandes dimensiones. Los resultados, según la metodología aplicada, indican que la mayor parte de las paredes de los barrancos presentan un alto grado de estabilidad debido a que mayoritariamente están cubiertas por vegetación de tipo matorral arbolado y bosque mixto. Sin embargo, los procesos erosivos detectados mediante observaciones de campo indican que la determinación del grado de actividad erosiva a partir de imágenes de resolución media produce resultados por defecto.

PALABRAS CLAVE: Erosión por barrancos, actividad erosiva, Landsat TM, clasificación no supervisada supervisada.

ABSTRACT

The present paper shows a methodology for the determination of the erosional activity degree of gully walls, that are frequent phenomena in the Mediterranean area. The methodology is based on the identification of the type and degree of vegetation cover from multi-spectral images of medium resolution (Landsat TM). The study area is located in l'Alt Penedes and l'Anoia (Barcelona). This area is mainly dedicated to the cropping of vineyards. In this region, an important network of gullies has been developed. The results show that the most part of the gully walls have a high degree of stability due to the presence of forested shrubland and forest. However, the erosion processes that were detected by means of field observations indicate that the degree of erosional activity from medium resolution images yields default results.

KEY WORDS: Gully erosion, erosional activity, Landsat TM, unsupervised supervised classification.

INTRODUCCIÓN

La erosión por barrancos es un proceso erosivo no tan investigado como la erosión laminar o por surcos. Sin embargo, afecta de manera importante a áreas de gran interés agrícola en todo el mundo y en particular en la cuenca Mediterránea (Martínez Casasnovas, 1998). La pérdida de suelos por este tipo de proceso erosivo está lejos de ser despreciable, pudiendo suponer hasta el 80% del total de pérdidas debidas a los diversos procesos de erosión hídrica (Poesen et al., 1996). Este tipo de erosión hídrica está favorecido por factores como las características de las lluvias del área Mediterránea, intensidades de $>100 \text{ mm h}^{-1}$ en cortos periodos de tiempo (Ramos y Porta, 1994), concentradas en primavera y otoño; las características de los materiales litológicos, como lutitas, margas y areniscas (altamente erodibles); o los tipos de cultivos, como viñedos, olivos, almendros, etc., que solamente cubren el suelo de manera parcial y contribuyen a la generación de importantes cantidades de escorrentía superficial.

En determinadas áreas, como en l'Anoia o l'Alt Penedes (Barcelona), estas circunstancias han

favorecido el desarrollo de una red de barrancos de grandes dimensiones. Esto hace que características de los barrancos como su tamaño, fonda, patrón, densidad o grado de actividad estabilidad puedan ser apreciadas y/o analizadas a partir de imágenes de teledetección. Sin embargo, a diferencia del gran número de trabajos realizados en las últimas décadas sobre la aplicación de técnicas de teledetección al inventario de usos del suelo / cubierta vegetal, áreas afectadas por incendios forestales, evolución de la vegetación, etc., los trabajos dedicados al análisis o determinación de la erosión hídrica del suelo, o más específicamente a la erosión por barrancos, son más bien escasos. En su mayoría, estos trabajos han sido enfocados a utilizar la teledetección como una herramienta para obtener los datos sobre la cubierta vegetal necesarios en modelos de estimación de pérdidas de suelos tales como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978), Area Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS) (Beasley et al., 1980), u otros modelos hidrológicos de base física (Rodríguez et al., 1993; Cry et al., 1995; Sharma y Surendra, 1995; Folly et al., 1996; Roslan et al.,

1997; Belz et al., 1998). Otros trabajos han estado orientados a cartografiar la erosión del suelo a partir del análisis de su respuesta espectral (Dematte y Focht, 1999). Este último tipo de investigaciones, ya intentadas a partir de fotografías aéreas desde hace más décadas (Bergsma, 1982), ofrecen unos resultados más que dudosos (Martínez-Casasnovas, 1998).

Otras investigaciones sobre procesos erosivos han tenido como objeto específico la aplicación de técnicas de teledetección multispectral a la cartografía de áreas erosionadas por barrancos y "badlands" (Solé et al., 1986; Bocco, 1990; Serrat y Martínez-Casasnovas, 1998), o de procesos como los deslizamientos de tierras o movimientos en masa relacionados con este tipo de proceso de erosión. Sin embargo, la detección del grado de actividad estabilidad de los barrancos o de sus paredes mediante teledetección es un campo por explorar.

En relación con el grado de actividad estabilidad de los barrancos, diversos autores coinciden en señalar que, tras la fase de intenso crecimiento de un barranco y del moldeado de las paredes por la erosión superficial y movimientos en masa, las paredes del barranco alcanzan una estabilidad que permite el crecimiento de vegetación. Así, la presencia de vegetación en las paredes del barranco es

un signo de su estabilización (Ireland et al., 1939; Morgan, 1979; Bergsma, 1982; Crouch y Blong, 1989).

En este sentido, el presente trabajo muestra una metodología basada en el análisis de datos multispectrales del sensor Landsat-5 Thematic Mapper (TM) que tiene como objetivo la identificación de grados de actividad erosiva o estabilidad de barrancoso Esta metodología se basa en la identificación del tipo y el porcentaje de cubierta vegetal en las paredes de los barrancos. El área de estudio donde se ha aplicado la metodología se localiza en las comarcas de l'Alt Penedes y l'Anoia (Barcelona) (en adelante Alt Penedes Anoia). En esta área el uso extensivo de viñedos ha favorecido el desarrollo de procesos de erosión hídrica. Los barrancos muestran una gran expansión hacia las parcelas viña, causando problemas importantes a los agricultores. Estos problemas afectan a la reducción del tamaño de las parcelas, daño en infraestructuras viarias y otros.

ÁREA DE ESTUDIO

El área del Alt Penedes Anoia se localiza a unos 30-40 km al Suroeste de Barcelona. Forma parte de la Depresión Terciaria del Penedes, donde afloran margas, con areniscas y conglomerados de

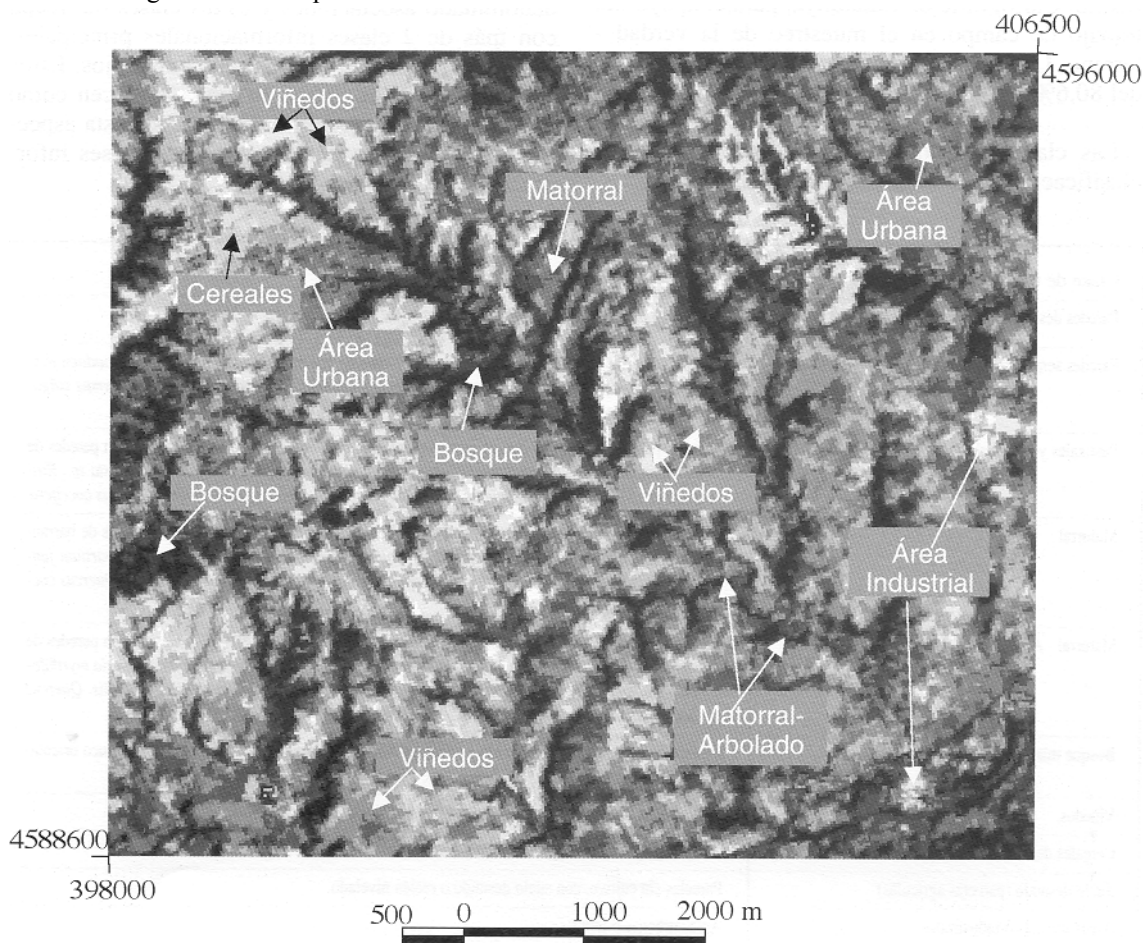


Figura 1. Área de estudio. Área de la Riera Riurussa (Alt Penedes Anoia). Subescena Landsat-5 TM.

manera más ocasional. La precipitación media anual varía entre 471-670 mm (Porta et al., 1994) y tiene una distribución irregular, con tormentas de alto potencial erosivo en otoño y primavera. Los suelos son calcáreos. Las principales clases descritas, según el sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), son los *Xerorthents típicos*, *Calcixerepts típicos*, *Calcixerepts petrocálcicos* y *Haploxereptsfluvénticos* (Martínez-Casasnovas, 1998).

Una de las principales características de esta área es la disección del paisaje por una densa y profunda red de barrancos. El terreno es frecuentemente ondulado, con abundancia de vertientes complejas de pendientes moderadas a fuertes, entre el 5 y el 20%. Los barrancos tienen anchuras entre 75 y 375 m y profundidades entre 10 y 60 m. El desarrollo del sistema de cárcavas y barrancos ha estado favorecido por el cultivo de viñedos, que es el principal cultivo de la zona. Este cultivo hace que se generen escorrentías superficiales importantes durante lluvias de alta intensidad. El agua de escorrentía superficial es habitualmente concentrada en terrazas (localmente llamadas "rases"), que desembocan en canales de drenaje principales. La concentración de la escorrentía favorece la formación de cárcavas en las salidas de estos canales a los barrancos, y de esta manera la red de cárcavas crece de forma lineal.

Como área modelo, dentro de las comarcas del Alt Penedes Anoia, se ha seleccionado el entorno de la Riera Rierusa, de 62.9 km² (Figura 1). El

26% de la superficie de la cuenca está ocupada por barrancos. La tasa de retroceso de las paredes de estos barrancos es 0.2 m año⁻¹ (Martínez-Casasnovas, 1998). Los procesos de erosión hídrica en esta do híbrido de clasificación no supervisada supervisada (Martínez-Casasnovas, 2000), a partir de las bandas 4, 5, 7, NDVI y la composición RGB formada por los tres primeros componentes principales de las bandas del visible y del infrarrojo reflejado. Las bandas 4, 5 y 7 fueron seleccionadas por ser la combinación de tres bandas (entre 20 combinaciones posibles) con el mayor valor de "Optimum Index Factor" (Chavez et al., 1982). La imagen del índice de vegetación NDVI fue introducida para distinguir de forma más eficiente las áreas con y sin vegetación. La composición en color de los componentes principales fue empleada por su efecto en realzar las diferencias entre firmas espectrales similares como la de diferentes tipos de suelos desnudos, áreas urbanas y campos de viñedo sin vegetación en el momento de la imagen. Como verdad terreno, para la evaluación de la bondad de la clasificación, se muestrearon 1.146 píxeles, equivalentes al 1% (aproximadamente) de la subescena que incluye el área de estudio. Se utilizaron ortofotomapas en color a escala 1:25.000, producidos por el Institut Cartografic de Catalunya, para el apoyo del trabajo de campo en el muestreo de la verdad terreno. La fiabilidad global de la clasificación fue del 80.6%.

Las clases informacionales consideradas en la clasificación se detallan en la Tabla 1.

Clase de uso del suelo o cubierta vegetal	Descripción
Paredes desnudas de barrancos y "badlands"	Paredes de barrancos y "badlands" sin vegetación.
Paredes semivegetadas de barrancos y "badlands"	Paredes de barrancos y "badlands" con un recubrimiento vegetal <30%. Especies: <i>Brachipodium ramosum</i> , <i>Ulex parviflorus</i> , <i>Genista</i> sp., <i>Juniperus oxicedrus</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Pinus halepensis</i>
Pastizales y matorral	Áreas de pastizal y matorral, con un recubrimiento vegetal entre el 30-60%. Típicamente en paredes de barrancos orientadas al Sur. Especies: <i>Brachipodium ramosum</i> , <i>Ulex parviflorus</i> , <i>Genista</i> sp., <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>úpidium graminifolium</i> , <i>Quercus coccifera</i>
Matorral	Áreas de matorral, con un recubrimiento vegetal entre el 50-75%. Típicamente en paredes de barrancos orientadas al Norte y Este. Especies: <i>Brachipodium phoenicoides</i> , <i>Vicia</i> sp., <i>Spartium junceum</i> , <i>Diplotaxis erucoides</i> , <i>Shorgum halepense</i> , <i>Genista</i> sp., <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Quercus ilex</i>
Matorral Arbolado	Áreas con matorral y arbolado, con un recubrimiento vegetal del 65-80%. Típicamente en paredes de barranco orientadas al Norte y Noroeste. Especies: <i>Brachipodium phoenicoides</i> , <i>Cariaria myrthifolia</i> , <i>Vicia</i> sp., <i>Spartium junceum</i> , <i>Genista</i> sp., <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinta</i>
Bosque mixto	Áreas arboladas, con recubrimiento vegetal del 65-80%. Típicamente en paredes de barranco orientadas al Norte. Especies: <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinta</i> , <i>Quercus i/ex</i> , <i>Quercus coccifera</i>
Viñedos	Plantaciones tradicionales o modernas de viña, sin vegetación en la fecha de la imagen.
Cereales de invierno	Cereales de invierno: trigo o cebada.
Suelo desnudo (parcelas agrícolas)	Parcelas sin cultivo, con suelo desnudo o recién nivelado.
Áreas urbanas o industriales	Áreas urbanas o industriales

Tabla 1. Clases informacionales consideradas en la cartografía de usos del suelo y cubierta vegetal.

Para discriminar las áreas no pertenecientes a las paredes de los barrancos se optó por aplicar una máscara creada según un criterio de pendiente. De esta forma, sólo se incluyeron en el análisis final las áreas con pendiente superior al 25%. El mapa de pendiente se calculó como la primera derivada en el espacio del modelo de altitud (MDT de 25 m de resolución), según el método propuesto por (Zevenbergen y Thorne, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 2 muestra el resultado de la clasificación de la imagen según el método propuesto. La leyenda de este mapa de usos del suelo y cubierta vegetal se recoge en la Tabla 2. En esta leyenda se observa que las clases del mapa no son puras. Existen tres tipos de clases o unidades cartográficas: a) las clases del mapa con una clase informacional principal e inclusiones, b) las clases del mapa con dos clases informacionales principales, que se han denominado asociaciones y c) las clases del mapa con más de 2 clases informacionales principales, unidades que se han denominado complejos. Estos diferentes tipos de clases de mapa aparecen como consecuencia de la similitud en la respuesta espectral (confusión) de distintos tipos de clases informacionales (Martínez-Casasnovas, 2000).

Atendiendo al criterio de actividad – estabilidad propuesto por Crouch y Blong (1989) y de acuerdo a las clases del mapa obtenidas como resultado de la clasificación (Tabla 2), se asignaron a cada clase del mapa una clase de actividad estabilidad (Tabla 2). Las clases del mapa 3 y 4 (Viñedos y Cereales de invierno respectivamente) no se les asignó una clase de actividad por considerarse clases de uso agrícola que no se dan en las paredes de los barrancos. Sin embargo, a las clases 5 y 6, compuestas principalmente por suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano), se les asignó la clase activa de erosividad. Estas clases del mapa muestran confusión con las paredes desnudas de barrancos y "badlands" (Martínez-Casasnovas, 2000), de manera que los píxeles de paredes desnudas incluidos en la clases 5 y 6 del mapa quedarán clasificados como de erosividad activa. Los píxeles de suelo agrícola, industrial o urbano reclasificados, por tanto, a clase de actividad erosiva activa quedarán posteriormente enmascarados por el criterio de pendiente >25% establecido. De forma similar, las clases 7 y 8 del mapa se han considerado de clase de erosividad activa semiactiva. Estas clases son complejos que incluyen pastizales y matorrales en porcentajes del 16-18 %, y pueden darse en las paredes de los barrancos semivegetadas.

El mapa de clases de actividad erosiva, producto de la reclasificación del mapa de usos del suelo y

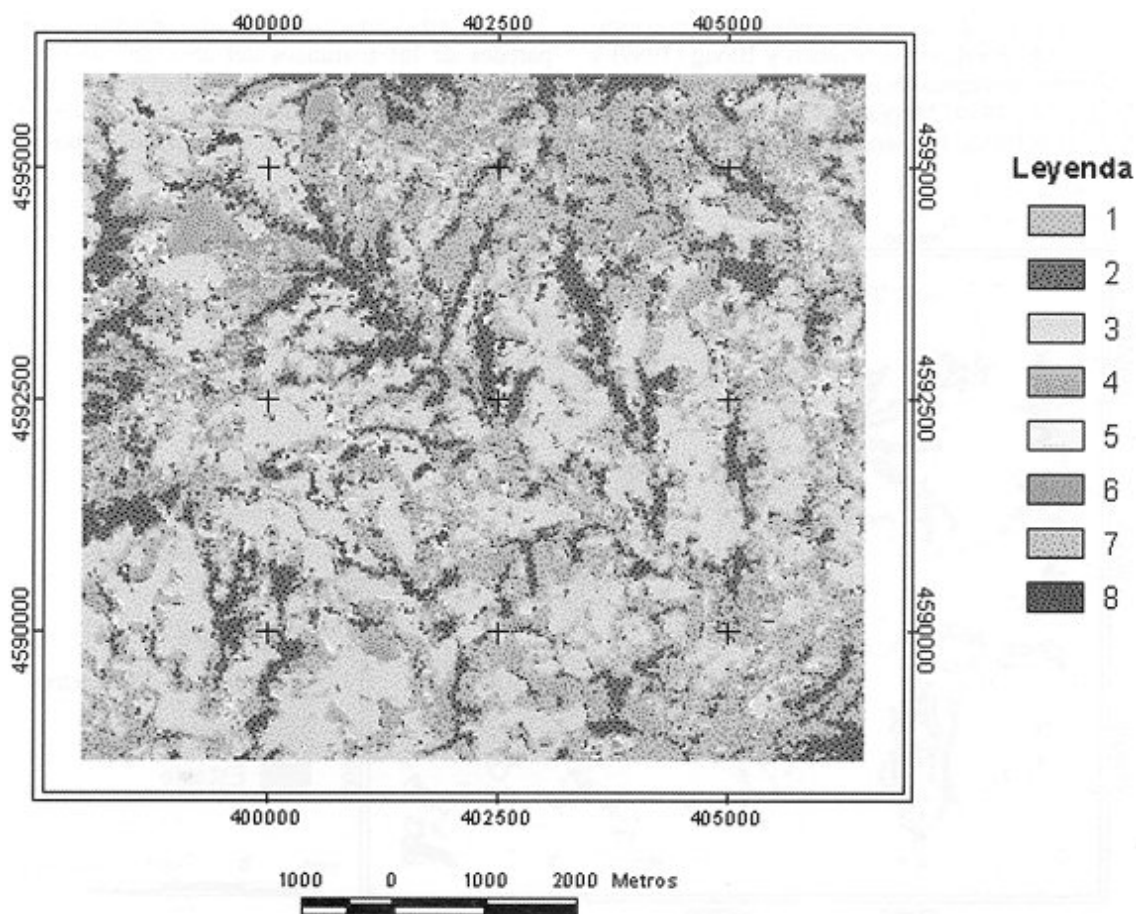


Figura 2. Mapa de usos del suelo y cubierta vegetal resultado de la clasificación no supervisada supervisada. (Ver leyenda en Tabla 2).

Clase	Descripción (componentes principales de la clase)	Inclusiones	Clase de actividad erosiva asignado
1	Pastizales y matorral (76.6%)	Paredes desnudas o semivegetadas de barrancos y "badlands" (4.9%) y Viñedos (4.2%)	Semiactiva
2	Matorral-Arbolado y Bosquemixto(79.4%)	Matorral (16%) y Pastizaiesy matorral (4%)	Estable
3	Viñedos(83.2%)	Suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano) (11.41%)	-
4	Cereales de invierno (83.3%)	Pastizales y matorral (5.1%) y Viñedos (4.4%)	-
5	Suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano) (84%)	Áreas urbanas o industriales (8%) y Viñedos (5%)	Activa
6	Asociación de Áreas urbanas o industriales (35.3%) y Suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano) (15.6%)	Viñedos (6.9%) y Pastizales y matorral (5.2%)	Activa
7	Complejo de Áreas urbanas o industriales (35.3%) Suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano) (25.4%) y Pastizaiesy matorral (17.8%)	Viñedos (7.4%), Matorral - Arbolado y Bosque mixto (6.1%)	Activa Semiactiva
8	Complejo de Suelo desnudo (agrícola, industrial o urbano) (37.7%) Viñedos (31.6%) y Pastizales y matorral (16.5%)	Matorral Arbolado y Bosque mixto (6.1%)	Activa-Semiactiva

Tabla 2. Leyenda del mapa de usos del suelo y cubierta vegetal de la Figura 2.

cubierta vegetal según el criterio de la Tabla 2, se muestra en la Figura 3. En este mapa aparece superpuesto el límite del sistema central de barrancos del área de estudio, la Riera Rierussa, obtenido mediante fotointerpretación de fotografías aéreas.

La mayor parte de las paredes de barrancos, el 80.6% del total, presenta clases de actividad semiactiva o estable, ya que presenta un recubrimiento vegetal de tipo pastizal y matorral, matorral arbolado o bosque mixto. De este porcentaje, el 56.6% son paredes con recubrimiento vegetal >65% y por tanto se pueden considerar como estables según el criterio de Crouch y Blong (1989) y aceptado conceptualmente por otros autores (Ireland et al., 1939; Morgan, 1979; Bergsma, 1982). Sólo el 9.1 % de las paredes de los barrancos presenta una clase de

clase de erosividad activa y el 10.3% activa-semiactiva.

Según estos resultados, la mayor parte de las paredes de los barrancos del área de estudio se encuentran en una fase de estabilidad o de práctica estabilidad, ya que permiten el crecimiento de vegetación tipo matorral arbolado o bosque mixto. Sin embargo, mediante el trabajo de campo se detectó la existencia de diversos procesos erosivos que no fue posible identificar a partir de las imágenes de teledetección por limitaciones en la resolución espacial. Los procesos erosivos descritos en paredes de barrancos, en diferentes zona de actividad o estabilidad erosiva, se recogen en la Tabla 3.

En la Tabla 3 se observa como en las paredes clasificadas como semiactivas o estables ocurren procesos erosivos, como deslizamientos circulares,

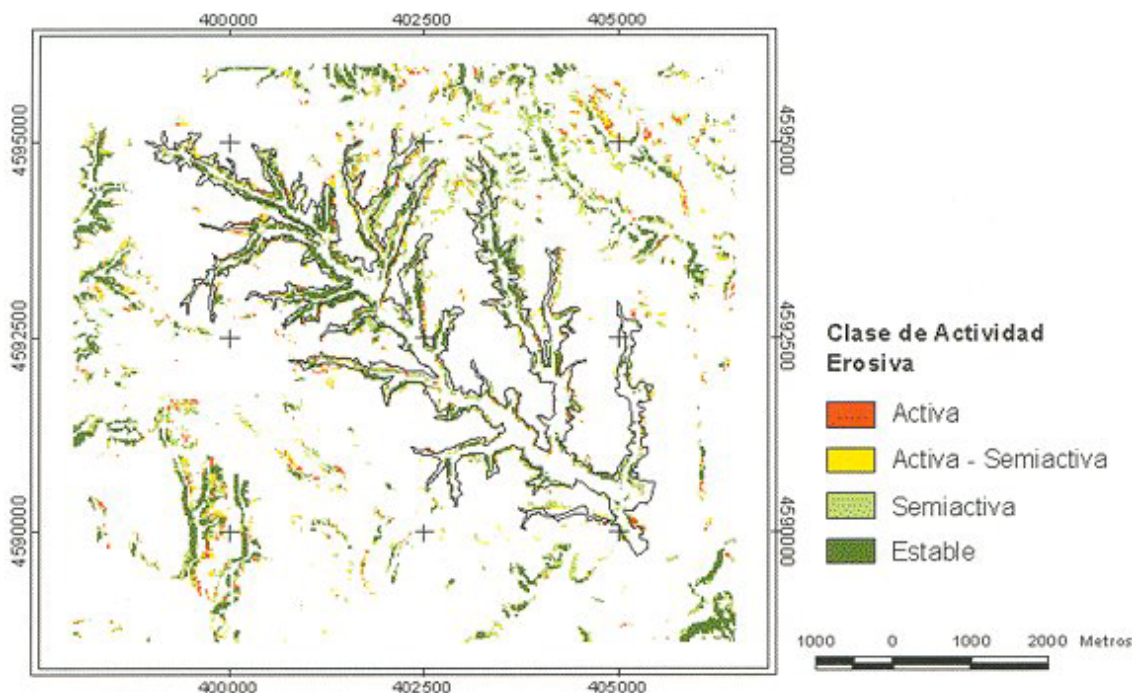


Figura 3. Mapa de clases de actividad erosiva de las paredes de los barrancos.

Clase de actividad erosiva	Procesos de erosión en las paredes de los barrancos
Activa-semiactiva	Erosión laminar y por salpicadura Erosión por el cauce y colapso de paredes por gravedad Incisión de cárcavas en las paredes ("fluting")
Serniactiva	Erosión laminar y por salpicadura (menor intensidad que en la clase activa semiactiva) Erosión por el cauce y colapso de paredes por gravedad Incisión de cárcavas en las paredes ("fluting")
Serniactiva-estable	Erosión por el cauce y colapso de paredes por gravedad Deslizamientos circulares Socavación de paredes debida a la saturación del suelo Socavación de paredes debida a los desagües de las parcelas de cultivo

Tabla 3. Clase de actividad erosiva y principales procesos erosivos detectados en las paredes de los barrancos del Alt Penedes Anoia.

grietas o colapso de paredes a partir de la socavación producida por la saturación del suelo o por los desagües de las parcelas de cultivo, que actúan como reactivadores de la erosión y contribuyen al retroceso de las paredes hacia posiciones no erosionadas en la cuenca de drenaje.

La evaluación de la actividad erosiva de las paredes de barrancos a partir de imágenes de teledetección produce, en estos casos, resultados por defecto. La existencia de vegetación evita, principalmente, la erosión superficial debida a procesos por salpicadura o erosión laminar pero puede no ser una evidencia de estabilidad, ya que pueden ser activos gracias a otros procesos. Estos procesos difícilmente pueden ser detectados a partir de imágenes de teledetección de resolución media como las del Landsat TM o del System Probatoire pour l'Observation de la Terre (SPOT). Observaciones de campo complementarias son necesarias para detectar estos procesos.

CONCLUSIONES

El presente trabajo explora alguna de las posibles aplicaciones de imágenes multispectrales de

resolución media (tipo Landsat TM o SPOT) en la caracterización de la fenómenos erosivos de gran magnitud e importancia como son los barrancos, muy frecuentes en el área Mediterránea. La metodología propuesta permite distinguir diferentes clases de actividad erosiva basada en el recubrimiento vegetal de las paredes. Sin embargo, este tipo de clasificación no es concluyente sobre su actividad erosiva real. Esto es debido a la resolución espacial de las imágenes, que no permite detectar los procesos erosivos que hacen retroceder las paredes de los barrancos. Estos procesos solamente han podido ser detectados a partir de observaciones de campo, indicando (en el caso del área estudiada) que las paredes sometidas a más procesos son las que presentan una clase de actividad erosiva inicialmente menos peligrosa (serniactiva o estable). En este caso, esto contradice el concepto tradicional de estabilidad establecido, asociado al crecimiento de la vegetación en las paredes, y hace que el término "actividad erosiva" deba expresarse en relación al tipo de proceso erosivo, por ejemplo actividad respecto a procesos de erosión laminar o por salpicadura.



Figura 4. Fisuras producidas en el borde de las parcelas con los barrancos, con vegetación tipo matorral y arbolado en sus paredes, y deslizamiento que resulta en el retroceso de las paredes.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación AMB98-0481 "Impacto ambiental del cambio climático y de las nuevas tecnologías en el manejo del cultivo de viña en el área Mediterránea", financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT).

BIBLIOGRAFIA

- BEASLEY, D.B., HUGGINS, L.F. y MONKE, E.J., 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*. 23 (4): 938-944.
- BELZ, S., BELDJOUDI, L., LAHLAH, S., SUMMER, W., KLAGHOFER, E. y ZHANG, W. 1998. Runoff modelling in northern Algeria using a distributed physically-based model integrating remote sensing data. En: *Modelling soil erosion, sediment transport and closely related hydrological processes*. IAHS Publication No. 249, pp 203-209.
- BERGSMAN, E. 1982. Aerial photo-interpretation for soil erosion and conservation surveys. Part 111: Erosion mapping. ITC Lecture notes SOL15. Enschede.
- BOCCO, G. 1990. Gully erosion analysis using remote sensing and GIS. PhD Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- CHAVEZ, P.S., BERLIN, G.L. JR. y SOWERS, L.B. 1982. Statistical methods for selecting Landsat-MSS ratios. *Journal of Applied Photogrammetric Engineering*. 8: 23-30.
- CHAVEZ, P.S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 24: 459-479.
- CRY, L., BONN, F. y PESANT, A. 1995. Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological Modelling*. 79 (1-3): 277-285.
- CROUCH, R.J. y BLONG, R.J. 1989. Gully sidewall classification: methods and applications. *Zeitschrift für Geomorphologie*. N.F., 33: 291-305.
- DEMATRE, J.A.M. y FOCHT, D. 1999. Detecção de solos erodidos pela avaliação de dados espectrais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23 (2): 401-413.
- FOLLY, A., BRONSVELD, M.C. y CLAVAU, M. 1996. A knowledge-based approach for C-factor mapping in Spain using Landsat TM and GIS. *International Journal of Remote Sensing*. 17 (12): 2401-2415.
- IRELAND, H. A., SHARPE, C.F. y EARGLE, D.H. 1939. Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina. US Department of Agriculture Technological Bulletin 63.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. 1998. Suelo Paisaje Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en la Alta Penedes Anoia (Cataluña). Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial: Bases de datos, SIG y Teledetección. Tesis doctoral, Universidad de Lleida, Lleida.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. 2000. A cartographic and database approach for land cover/use mapping and generalization from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (9): 1825-1842.
- MEYER, A. y MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. 1999. Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: A logistic modelling approach. *Soil and Tillage Research*. 50 (3-4): 319-331.
- MORGAN, R.P.C. 1979. Soil erosion. Longman G. Ltd. London.
- POESEN, J. W., VANDAELE, K. y VAN WESEMAEL, B. 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. En: D.E. Walling y B.W. Webb (eds.), *Erosion and sediment yield: Global and regional perspectives*. IAHS Publ. No. 236, IAHS Press, Wallingford, pp. 251-266.
- PORTA, J., RAMOS, M.C. y BOIXADERA, J. 1994. Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain. En: R.J. Rickson (ed.), *Conserving soil resources: European perspective*. CAB International, Wallingford, pp. 369-378.
- RAMOS, M.C. y PORTA, J. 1994. Rainfall intensity and erosive potential in NE Spain Mediterranean area. First results on sustainability of vineyards. *Nuovo Cimento*. 17: 291-299.
- RODRÍGUEZ, P.S., BOLUDA-HERNÁNDEZ, R., CASELLES-MIRALLES, V. y GALLARDO-LANCHO, J.F. 1993. Application of the thematic mapper sensor of Landsat 5 to the study of soil erodibility in the Requena-Utiel district (Valencia, Spain). En: *El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación*. Actas del 12 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca, 19-26 de septiembre, pp. 1408-1416.
- ROSLAN, Z.A., TEW, K.H., WALLING, D.E. y PROBST, J.L. 1997. Use of satellite imagery to determine the land use management factors of the USLE. En: *Human impact on erosion and sedimentation*. IAHS Press, Wallingford, U.K., pp. 205-211.
- SERRAT, N. y MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. 1998. Cartografía del riesgo de erosión hídrica en grandes cuencas hidrográficas mediante técnicas de teledetección y SIG. *Montes*. 54: 27-35.
- SHARMA, K.O. y SURENORA, S. 1995. Satellite remote sensing for soil erosion modelling using the ANSWERS model. *Hydrological Sciences Journal*. 40 (2): 259-272.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS) 1998. Keys to Soil Taxonomy, 8th edition. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, O.C.
- SALA, L., CLOTET, N., GALLART, F. y SALA, 1986. Análisis de las posibilidades de las imágenes TM en la detección de áreas degradadas en sectores montañosos. En: N. Clotet y L. Sole (eds.), *Comunicaciones científicas de la 1ª Reunión Científica del Grupo de Trabajo de Teledetección*. Institut d'Investigacions Geològiques Jaume Almera. Barcelona, pp. 335-363.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, O.O. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. US Department of Agriculture Handbook No. 537. US Government Printing Office, Washington, O.C.
- ZEVENBERGEN, L.W. y THORNE, C.R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12: 47-56.