

Jariego García, A., Gómez Gutiérrez, A., Lavado Contador, F., Schnabel, S., Pulido Fernández, M., García Martín, R. (2010): La fotografía aérea en España y su aplicabilidad al seguimiento y la estimación de la erosión por flujo concentrado. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 214-221. ISBN: 978-84-472-1294-1

LA FOTOGRAFÍA AÉREA EN ESPAÑA Y SU APLICABILIDAD AL SEGUIMIENTO Y LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN POR FLUJO CONCENTRADO

Ángel Jariego García¹, Álvaro Gómez Gutiérrez¹, Francisco Lavado Contador¹, Susanne Schnabel¹, Manuel Pulido Fernández¹ y Ramón García Marín¹

(1) Grupo de Investigación GeoAmbiental (GIGA), Área de Geografía Física, Universidad de Extremadura. Avda. de la Universidad s/n, 10071, Cáceres. alvgo@unex.es

RESUMEN

Son numerosos los trabajos que muestran la creciente preocupación por los procesos de erosión hídrica por flujo concentrado en los países mediterráneos en los últimos años. Los métodos y técnicas existentes para el seguimiento y cuantificación de la erosión hídrica por flujo concentrado son muy diversos, resultando de especial interés, relevancia y potencial aquellos relacionados con las modernas tecnologías geoespaciales (sistemas de posicionamiento global diferenciales, equipos laser terrestres o aerotransportados, fotogrametría digital aérea y terrestre, etc.). Sin embargo, la utilización de dichas técnicas en numerosas ocasiones se encuentra limitada por la fecha de aparición del instrumental, por tanto, algunas fuentes históricas son todavía necesarias para comprender la evolución a medio y largo plazo de las formas de erosión por flujo concentrado. Sin embargo, en ocasiones, la localización de las fotografías aéreas existentes para una determinada zona puede resultar laboriosa y tediosa lo que da lugar a grandes pérdidas de tiempo en los proyectos y equipos de investigación. Por todo ello, los principales objetivos del presente trabajo son i) presentar una guía respecto al material fotográfico aéreo disponible para España, ii) resumir sus características principales y iii) analizar su utilidad para el seguimiento y cuantificación de la erosión ocasionada por flujo concentrado.

Palabras Clave: Fotografías y ortofotografías aéreas, regueros, cárcavas efímeras, cárcavas permanentes. .

ABSTRACT

Erosion produced by concentrated water flow has been highlighted as an important soil degradation phenomenon in the Mediterranean catchment. Several kinds of methodologies and techniques have been used indeed in order to monitor and quantify erosion produced by concentrated flow, mainly those related with modern geospatial technologies (DGPS, LIDAR, LTS, aerial and terrestrial photogrammetry, etc.). However the time scale of the studies based exclusively on modern techniques is constrained by the date of appearance of those techniques. Therefore, some historical sources are still necessary in gully erosion studies (medium, short time scale). Sometimes, however, finding these documents is laborious and tedious, being the researchers forced to spend a lot of time in localizing and acquiring it. Therefore, the main objectives of this work are i) to provide a guidance regarding the available aerial photographs and orthophotographs for rill and gully erosion studies in Spain and covering the whole country, ii) to summarize the main characteristics of these materials and iii) to analyze the suitability of using these materials for soil loss monitoring and assessment produced by concentrated flow.

Key Words: Aerial photography and orthophotography, rills, ephemeral gullies and permanent gullies.

INTRODUCCIÓN

La erosión ocasionada por flujo concentrado ha sido señalada como un importante factor de degradación del suelo en los países del Mediterráneo. Como resultado, durante los últimos años se han desarrollado numerosos trabajos relacionados con la erosión ocasionada por regueros (e.g. Torri *et al.* 1987), cárcavas efímeras (e.g. Capra *et al.* 2009) y cárcavas permanentes (e.g. Vandekerckhove *et al.* 2000). En España se ha experimentado un proceso similar en el número de investigaciones, reflejándose así, la creciente preocupación por los procesos de erosión por regueros y cárcavas, sus tasas, consecuencias y umbrales: Benito *et al.* (1991), Faulkner (1995), Casalí *et al.* (1999), Nogueras *et al.* (2000), Martínez-Casasnovas *et al.* (2003a), Valcárcel *et al.* (2003), Santisteban *et al.* (2005), Gómez Gutiérrez *et al.* (2009), etc.

Son numerosos los métodos y técnicas que han sido utilizados para el seguimiento y cuantificación de la erosión por regueros y cárcavas, principalmente evidencias sedimentológicas y botánicas (e.g. Vandekerckhove *et al.* 2001), fuentes históricas (e.g. Stankoviansky 2003) y levantamientos topográficos con diferentes equipos: estacas o agujas de erosión (e.g. Crouch 1990) y teodolito tradicional o sistemas de posicionamiento global diferenciales (GPS; Wu & Cheng 2005). Durante los levantamientos topográficos, se han utilizado diferentes esquemas espaciales, tales como los estudios seriados de secciones transversales del cauce (Schnabel & Gómez Amelia 1993), seguimiento del retroceso de la cabecera/s (Vandekerckhove *et al.* 2003). En los últimos años, han sido publicados algunos trabajos en los que se emplean técnicas fotogramétricas (e.g. Marzloff & Poesen 2009) y sensores láseres aerotransportados (i.e. LIDAR; James *et al.* 2007). Durante los próximos años, la toma de datos se centrará en las nuevas tecnologías de captura y probablemente aparezcan publicaciones en las que se utilicen datos adquiridos mediante láser escáner terrestre (LTS).

Sin embargo, la escala temporal de los trabajos que se basan de forma exclusiva en las nuevas tecnologías, se encuentra limitada por la fecha de aparición de esas técnicas. Por lo tanto, son todavía necesarias las fuentes históricas en los estudios de erosión por flujo concentrado. En esta línea, la existencia de fotografías y ortofotografías aéreas actuales e históricas presenta un importante valor científico. Por otra parte, dichos documentos nos permiten conocer la apariencia y configuración del paisaje en la fecha en que fueron tomadas, ayudándonos a establecer relaciones entre las características de los elementos creados por el flujo (longitud, área, volumen, morfología, etc.) y el uso del suelo y la cubierta vegetal. La existencia de este material y el desarrollo de las modernas tecnologías de la información espacial (teledetección, sistemas de información geográfica, fotogrametría, GPS, LIDAR, LTS, etc.) han favorecido el uso de las fotografías y ortofotografías en los estudios de erosión, y especialmente en la erosión por cárcavas (Martínez-Casasnovas 2003).

Los regueros y las cárcavas efímeras y permanentes son elementos lineales en el paisaje, que generalmente presentan muros verticales y con material en el lecho que difiere en textura y color del material que se encuentra sobre las márgenes en las zonas contiguas. Por lo tanto, una cárcava es fácilmente reconocible desde el aire. Estas características permiten cartografiar en una ortofotografía el área afectada por los procesos de erosión por flujo concentrado. En ocasiones incluso es posible realizar una reconstrucción tridimensional del canal mediante técnicas fotogramétricas y por lo tanto, calcular el volumen de material evacuado por el flujo. Por otra parte, la utilización de fotografías aéreas representa una alternativa al trabajo de campo que generalmente requiere una mayor inversión (Watson & Evans 1991).

Existe una amplia colección literaria donde se describe el uso de series multi-temporales de fotografías aéreas para estimar la dinámica espacio-temporal del acarcavamiento: Watson and Evans (1991), Nachtergaele and Poesen (1999), Martínez-Casasnovas (2003), Martínez-Casasnovas *et al.* (2003a), Ries y Marzloff (2003), De Luna *et al.* (2004), Parkner *et al.* (2006), Campo *et al.* (2007) y Gómez Gutiérrez *et al.* (2009). También existen ejemplos de utilización de modelos digitales del terreno obtenidos a partir de fotografías aéreas y utilizados en los estudios de erosión por cárcavas: Thorne (1986), Desmet y Govers (1996), Betts y DeRose (1999), Betts *et al.* (2003) y Martínez-Casasnovas *et al.* (2003b). Todos estos trabajos, refrendan la conveniencia de la utilización de las fotografías y ortofotografías aéreas en los estudios de erosión por flujo concentrado.

Sin embargo, en ocasiones, la búsqueda de estos documentos puede resultar muy laboriosa y como consecuencia, los investigadores deben perder mucho tiempo localizando el material y adquiriéndolo. De hecho, este trabajo, es resultado de una intensa labor de búsqueda y documentación desarrollada durante los últimos años en el Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura (GIGA: <http://www.unex.es/unex/grupos/grupos/giga/index.html>) respecto a las fotografías y ortofotografías aéreas en España. Por lo tanto, los principales objetivos que se plantea este trabajo son i) proporcionar una guía respecto a las fotografías y ortofotografías aéreas disponibles para la totalidad del país, ii) resumir las principales características de

este material y iii) analizar la idoneidad de las diferentes fuentes para el seguimiento y cuantificación de la erosión originada por regueros y cárcavas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FOTOGRAFÍAS Y ORTOFOTOGRAFÍAS DISPONIBLES

Las fotografías y ortofotografías aéreas disponibles para España cubren un período de 61 años, incluyendo 8 vuelos diferentes, lo que significa un intervalo medio entre dos fotogramas consecutivos de casi 8 años (Tabla 1). Dos fondos fotográficos son conocidos como el vuelo americano, en sus versiones A y B. El primero fue llevado a cabo en 1945 por el ejército de Estados Unidos con una escala aproximada de 1:45.000. El denominado vuelo americano B fue llevado a cabo también por el ejército de Estados Unidos, con una escala mayor en esta segunda etapa (desde 1:30.000 hasta 1:35.000). Los materiales de ambos vuelos pueden ser adquiridos en el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire de España (conocido como CECAF). Posteriormente (1977-1983), el IRYDA (acrónimo del antiguo Instituto para la Reforma y Desarrollo Agrario) promovió la ejecución de un vuelo con la mayor escala entre los disponibles hasta hoy día (aproximadamente 1:18.000). Más tarde, se llevaron a cabo dos vuelos con fines cartográficos en los períodos 1983-1985 y 1987-1989, con unas escalas aproximadas de 1:30.000 y 1:20.000 respectivamente. En 2002, promovido por el gobierno español, y como parte del denominado SIGPAC (SIG para el seguimiento y gestión de las ayudas agrarias de la Unión Europea. Fue elaborado como una constatación de la realidad agrícola de España. El origen de esta iniciativa fue otro SIG desarrollado en 1998-1999 para el seguimiento de los olivares en parcelas agrícolas y la gestión de las ayudas comunitarias (conocido como SIG Oleícola Español). El fondo fotográfico del SIG Oleícola será el primero que será servido como ortofotografías a través de la web, basándose su difusión en la tecnología Wep Map Services (WMS). Más recientemente, como resultado de la implantación en España de las leyes derivadas de la iniciativa europea para la información espacial (INSPIRE), el Instituto Geográfico Nacional (IGN) creó el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, conocido como PNOA.

Tabla 1. Principales características de las fotografías-ortofotografías aéreas disponibles en España.

Vuelo	Fecha	Escala (aprox.) o tamaño de pixel	Formato	Distribuidor
Vuelo Americano A	1945	1:45,000	Copia digital (escala de grises)	CECAF
Vuelo Americano B	1956- 1957	desde 1:30,000 a 1:35,000	Copia digital (escala de grises)	CECAF
Vuelo IRYDA	1977- 1983	1:18,000	Copia digital o analógica (escala de grises)	CNIG
Vuelo Nacional TRAGSA	1983- 1985	1:30,000	Copia digital o analógica (escala de grises)	CNIG
Vuelo Catastral	1987- 1989	1:20,000	Copia digital o analógica (escala de grises)	Gobierno de España
Vuelo SIG Oleícola	1997- 1998	1.0 m	Ortofotografía (escala de grises)	Gobierno de España
Vuelo SIGPAC	2002	0.5 m	Ortofotografía (RGB)	Gobierno de España
Vuelo PNOA	2006	0.5 m	Ortofotografía (RGB)	CNIG

IDONEIDAD DE LAS FOTOGRAFÍAS Y ORTOFOTOGRAFÍAS AÉREAS DISPONIBLES PARA EL SEGUIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN OCASIONADA POR FLUJO CONCENTRADO

Los errores posicionales en las bases de datos espaciales son bien conocidos (Chrisman 1991). Los errores en las ortofotografías están relacionados, generalmente, con la calidad y la cantidad de puntos de control utilizados durante el proceso de ortorectificación, la escala del vuelo, la topografía el área de estudio y las características técnicas de los materiales. Tradicionalmente, los cartógrafos asumen que el error cometido sobre una determinada cartografía viene dado por 0.2 mm multiplicados por el denominador del cociente que es la escala. Esta hipótesis está basada en la capacidad mínima de discriminación del ojo humano. Siguiendo este criterio, la precisión de las fotografías que se tratan en este trabajo variará de 3.6 m a 9.0 m. Sin embargo, este error puede ser reducido a 0.02 mm por el denominador de la escala cuando se emplean instrumentos ópticos de ampliación, dando lugar a precisiones que van desde los 0.36 m a los 0.90 m. Conforme a estos valores, las fotografías presentadas en el apartado anterior serían apropiadas, tan sólo, para su aplicación en grandes cárcavas permanentes o zonas de badlands. Sin embargo, en ocasiones, la localización no es el elemento que interesa a los investigadores que analizan la erosión del suelo, de forma alternativa, la longitud, el área o el volumen de los elementos resultado de los procesos erosivos son parámetros de gran interés. En esta línea, Gómez Gutiérrez *et al.* (2009) analizaron la calidad geométrica de gran parte de las fotografías-ortofotografías presentadas en el apartado anterior. El análisis se centro en ortofotografías de los años 1998, 2002 y 2006. Para las fotografías de los años 1945, 1956 y 1989 se llevó a cabo una digitalización con escáner fotogramétrico y posteriormente un proceso de ortorectificación. El test consistió en la comparación de longitudes y áreas de algunos elementos presentes en las fotografías (construcciones, vallados, caminos, etc.) y el valor de dichos parámetros registrados mediante la medición directa en campo. El error cuadrático medio para la medición de longitudes fue de 0.75 m con un máximo de 1.20 m para las ortofotografías de 1998, mientras que el error cuadrático medio para la medición de áreas fue de 4.67 m², con un máximo de 15.82 m² para las ortofotografías de 1945 (Figura 1).

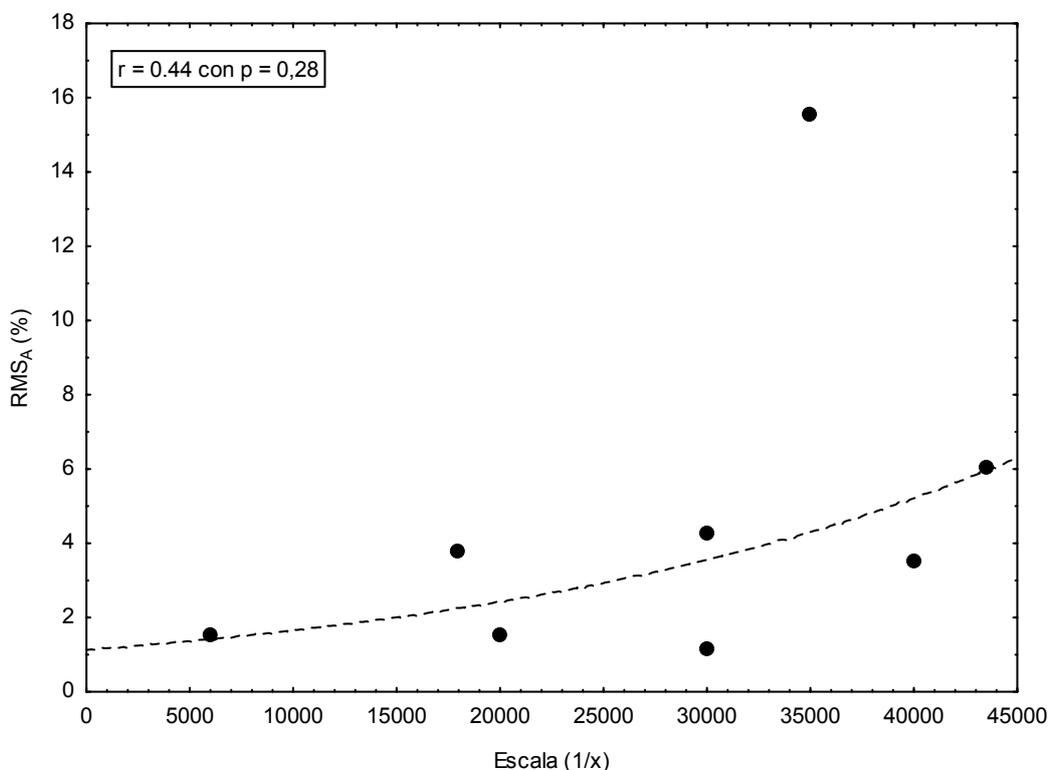


Figura 44. Relación entre el error cuadrático medio para la medición de áreas (RMSA) sobre las ortofotografías presentadas en la tabla 1, después de Gómez Gutiérrez *et al.* (2009).

La tabla 2 muestra los resultados del análisis comparado entre el tamaño medio de diferentes formas erosivas ocasionadas por flujo concentrado y la escala, el tamaño de pixel, el intervalo temporal entre fotografías consecutivas (comparado con la escala temporal del proceso, por ejemplo, varios eventos de precipitación o semanas para los regueros y varias centurias para las zonas de *badlands*), la resolución radiométrica y los resultados previos del estudio llevado a cabo por Gómez Gutiérrez *et al.* (2009) sobre la viabilidad de las fotografías y ortofotografías aéreas en España. De acuerdo con este análisis, ninguna de las fotografías fue idónea para la estimación de la superficie afectada por regueros u otras variables relacionadas con la erosión causada por regueros (longitud o volumen). Además, el lapso temporal entre fotografías consecutivas supera la escala temporal asociada para la ocurrencia y desarrollo de regueros. Respecto a las cárcavas efímeras, sólo las ortofotografías más recientes (2002, 2006 y previsiblemente el PNOA 2008) parecen ser apropiados para su utilización. Sin embargo, el intervalo entre fotografías hace que no sean del todo apropiadas para su utilización en trabajos relacionados con la erosión por cárcavas efímeras que aparecen y desaparecen con frecuencia anual. Respecto a las cárcavas permanentes, la mayor parte de los fondos fotográficos existentes podrían ser utilizados, especialmente aquellos que presentan las mayores escalas o el menor tamaño de pixel en el caso de las ortofotografías (este es el caso de las series de los años 1977-1983, 2002, 2006 y previsiblemente 2008).

Tabla 2. Idoneidad de las fotografías-ortofotografías aéreas disponibles para el seguimiento y la cuantificación de los procesos erosivos por flujo concentrado.

Vuelo	Fecha	Regueros	Cárcavas efímeras	Cárcavas permanentes	Badlands
Vuelo Americano A	1945	Inapropiado	Inapropiado	Inapropiado	Apropiado
Vuelo Americano B	1956-1957	Inapropiado	Inapropiado	Apropiado	Bueno
Vuelo IRYDA	1977-1983	Inapropiado	Inapropiado	Bueno	Excelente
Vuelo Nacional TRAGSA	1983-1985	Inapropiado	Inapropiado	Apropiado	Bueno
Vuelo Catastral	1987-1989	Inapropiado	Inapropiado	Bueno	Excelente
Vuelo SIG Oleícola	1997-1998	Inapropiado	Inapropiado	Apropiado	Bueno
Vuelo SIGPAC	2002	Inapropiado	Inapropiado	Bueno	Excelente
Vuelo PNOA	2006	Inapropiado	Inapropiado	Bueno	Excelente

CONCLUSIONES

Un total de 8 series de fotografías y ortofotografías aéreas fueron localizadas cubriendo el territorio peninsular español. Sus características son muy diversas, difiriendo en escalas, formatos y resolución. Las entidades que dispensan dichos fondos son a su vez variadas, generalmente dependientes de la administración pública española: el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército Español (CECAF: <http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag>), el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG: <http://www.cnig.es/>) y otras agencias públicas relacionadas con la información espacial (tales como el Catastro o el Ministerio de Agricultura: <http://www.catastro.meh.es/> y <http://www.marm.es/> respectivamente). Ninguna de las ortofotografías resultó idónea para el seguimiento y análisis de regueros y cárcavas efímeras. Además, la resolución temporal de la serie resultó menor que la escala temporal de dichos fenómenos. La mayor parte de las fotografías y ortofotografías resultó, al menos, idónea para su uso en los estudios de cárcavas permanentes, permitiendo el seguimiento y estimación de tasas de erosión a media y larga escala temporal desde 1945.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la aportación de los proyectos CGL2008-01215/BTE financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y RITECA de la Junta de Extremadura

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benito, G., M. Gutiérrez and C. Sancho (1991). "Erosion patterns in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin, (NE Spain)." *Soil erosion studies in Spain*, pp. 41-54.
- Betts, H. D. and R. C. DeRose (1999). "Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion." *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **1**(2): 91-101.
- Betts, H. D., N. A. Trustrum and R. C. DeRose (2003). "Geomorphic changes in a complex gully system measured from sequential digital elevation models and implications for management." *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**, pp. 1043-1058.
- Campo, M. A., J. Álvarez-Mozos, J. Casalí and R. Giménez (2007). Effect of topography on retreat rate of different gully headcuts in Bardenas Reales area (Navarre, Spain). *Progress in gully erosion research*. J. Casalí and R. Giménez. Pamplona, Public University of Navarra, pp. 24-25.
- Capra, A., P. Porto and B. Scicolone (2009). "Relationships between rainfall characteristics and ephemeral gully erosion in a cultivated catchment in Sicily (Italy)." *Soil & Tillage Research*, **105**(1), pp. 77-87.
- Casalí, J., J. J. López and J. V. Giráldez (1999). "Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain)." *Catena*, **36**, pp. 65-84.
- Crouch, R. J. (1990). "Erosion processes and rates for gullies and granitic soils Bathurst, New South Wales, Australia." *Earth Surface Processes & Landforms*, **15**(2), pp. 169-173.
- Chrisman, N. R. (1991). "The error component in spatial data." *Geographical information systems*. Vol. 1: principles, pp. 165-174.
- De Luna, E., A. M. Laguna, J. Poesen and J. V. Giráldez (2004). "Evolución de un sistema de cárcavas activas en el sureste español." *Ingeniería del agua*, **11**, pp. 65-73.
- Desmet, P. J. J. and G. Govers (1996). "Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies." *International Journal of Geographical Information Systems*, **10**, pp. 311-331.
- Faulkner, H. (1995). "Gully erosion associated with the expansion of unterraced almond cultivation in the coastal Sierra de Lújar, S. Spain." *Land Degradation & Rehabilitation*, **9**, pp. 179-200.
- Gómez Gutiérrez, Á., S. Schnabel and J. F. Lavado Contador (2009). "Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain." *Land Degradation & Development*, **20**, pp. 535-550.

- James, L. A., D. G. Watson and W. F. Hansen (2007). "Using LIDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA." *Catena*, **71**(1), pp. 132-144.
- Martínez-Casasnovas, J. A. (2003). "A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion." *Catena*, **50**, pp. 293-308.
- Martínez-Casasnovas, J. A., C. Anton-Fernández and M. C. Ramos (2003a). "Sediment production in large gullies of the Mediterranean area (NE Spain) from high resolution digital elevation models and geographical information systems analysis." *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**(5), pp. 443-446.
- Martínez-Casasnovas, J. A., M. C. Ramos and J. Poesen (2003b). "Assessment of sidewall erosion in large gullies using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis." *Geomorphology*, **58**, pp. 305-321.
- Marzloff, I. and J. Poesen (2009). "The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system." *Geomorphology*, **111**(1-2), pp. 48-60.
- Nachtergaele, J. and J. Poesen (1999). "Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs." *Earth Surface Processes and Landforms*, **24**, pp. 693-706.
- Nogueras, P., F. Burjachs, F. Gallart and J. Puigdefábregas (2000). "Recent gully erosion in the El Cautivo badlands (Tabernas, SE Spain)." *Catena*, **40**(2), pp. 203-215.
- Parkner, T., M. J. Page, T. Marutami and N. A. Trustrum (2006). "Development and controlling factors of gullies and gully complexes, East coast, New Zealand." *Earth Surface Processes and Landforms*, **31**(2), pp. 187-199.
- Ries, J. B. and I. Marzloff (2003). "Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp." *Catena*, **50**, pp. 309-328.
- Santisteban, L. M., J. Casalí and J. J. López (2005). "Evaluation of rill and ephemeral gully erosion in cultivated areas of Navarre (Spain)." *International Journal of Sediment Research*, **20**(3), pp. 270-280.
- Schnabel, S. and D. Gómez Amelia (1993). "Variability of gully erosion in a small catchment in south-west Spain." *Acta Geológica Hispánica*, **28**(2-3), pp. 27-35.
- Stankoviansky (2003). "Historical evolution of permanent gullies the Myjava Hill Land, Slovakia." *Catena*, **51**, pp. 223-239.
- Thorne, C. R. (1986). Ephemeral gullies as sources of sediment. *Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference*, Las Vegas.
- Torri, D., M. Sfalanga and G. Chisci (1987). "Threshold conditions for incipient rilling." *Catena Supplement*, **8**, pp. 94-106.
- Valcárcel, M., M. T. Taboada, A. Paz and J. Dafonte (2003). "Ephemeral gully erosion in northwestern Spain." *Catena*, **50**, pp. 199-216.

- Vandekerckhove, L., B. Muys, J. Poesen, B. De Weerdts and N. Coppé (2001). "A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates." *Catena*, **45**(2), pp. 123-161.
- Vandekerckhove, L., J. Poesen and G. Govers (2003). "Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements." *Catena*, **50**, pp. 329-352.
- Vandekerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoud Wijdenes, J. Nachtergaele, C. Kosmas, M. J. Roxo and T. De Figueiredo (2000). "Thresholds for gully initiation and sedimentation in mediterranean Europe." *Earth Surface Processes and Landforms*, **25**, pp. 1201-1220.
- Watson, A. and R. Evans (1991). "A comparison of estimates of soil erosion made in the field and from photographs." *Soil and Tillage Research* **19**, pp. 17-27.
- Wu, Y. and H. Cheng (2005). "Monitoring of gully erosion on the Loess Plateau of China using a global positioning system." *Catena* **63**, pp. 154-166.