



ANAIS do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Eldorado SP, 15-19 de julho de 2015 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/33cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

MORAIS, F.; SORIANO, M.A.. Dolinas na Bacia do Ebro, Espanha: meio século de investigações. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais... Campinas: SBE, 2015. p.505-512. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_505-512.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

DOLINAS NA BACIA DO EBRO, ESPANHA: MEIO SÉCULO DE INVESTIGAÇÕES

DOLINES IN THE EBRO BASIN, SPAIN: HALF CENTURY OF RESEARCH

Fernando de MORAIS (1); Maria Asunción SORIANO (2)

(1) Universidade Federal do Tocantins - UFT, Porto Nacional TO.

(2) Universidad de Zaragoza - Zaragoza Espanha.

Contatos: morais@uft.edu.br; asuncion@unizar.es.

Resumo

O relevo da Bacia Ebro na região de Zaragoza, Espanha, apresenta uma grande quantidade de dolinas de variados tipos, e constitui uma das zonas mais afetadas por processos cársticos na Península Ibérica. Há várias décadas esta região tem sido estudada desde várias óticas da Geomorfologia, tais como planejamento ambiental e análise de riscos. O presente trabalho constitui um levantamento destas abordagens realizadas nos últimos cinquenta anos do século XX e os primeiros quinze anos deste século, visando entender a evolução do conhecimento sobre as dolinas e sua correlação com o contexto histórico da ciência geomorfológica em que estão inseridas as pesquisas nesta região. Os resultados apontaram uma clara harmonia entre as abordagens adotadas pelas pesquisas na Bacia do Ebro e a evolução da Geomorfologia Pós-segunda Guerra Mundial. A cartografia, a partir de fotografias aéreas, os Sistemas de Informações Geográficas, com imagens de satélite, as datações absolutas e a aplicação de métodos geofísicos dominam os procedimentos metodológicos em ordem evolutiva desde a primeira década analisada. No tocante aos temas, nota-se claramente uma mudança de levantamentos para fins de mapeamento geomorfológico para uma abordagem mais aplicada ao planejamento de uso e ocupação, com um significativo aumento de trabalhos realizados em áreas urbanas.

Palavras-Chave: Dolinas; Bacia do Ebro; Geomorfologia Cárstica.

Abstract

The Ebro Basin Relief in the region of Zaragoza, Spain, has many sinkholes of varying types, and is one of the areas most affected by karst processes in the Iberian Peninsula. For several decades this region has been studied from various points of view of the Geomorphology, such as environmental planning and risk analysis. This study is a survey of these approaches carried out in the last fifty years of the twentieth century and the first fifteen years of this century in order to understand the evolution of knowledge about the sinkholes and its correlation with the historical context of geomorphological science research. The results showed a clear harmony between the approaches taken by research in the Ebro Basin and the evolution of Geomorphology Post-World War II. The mapping from aerial photographs, Geographic Information Systems, with satellite images, the absolute dating and application of geophysical methods dominate the methodological procedures in evolutionary order from the first decade analyzed. Regarding the issues, there is clearly a change of surveys for geomorphological mapping purposes for an approach more applied to the planned usage and occupation, with a significant increase in work carried out in urban areas.

Key-words: Doline; Ebro Basin; Karst Geomorphology.

1. INTRODUÇÃO

As dolinas são consideradas feições diagnósticas do exocarste, sendo, por vezes, entendidas como formas diagnósticas para distinção deste ambiente geomorfológico (CHRISTOFOLETTI, 1980, FORD; WILLIAMS, 1989; SUMMERFIELD, 1991; SAURO, 2003). Na literatura internacional, o termo *sinkhole* é utilizado como sinônimo de dolina, sendo este último preferido pelos geomorfólogos, enquanto o primeiro

é mais adotado por engenheiros, principalmente pelos norte-americanos (WALTHAM, 2009).

As dolinas apresentam-se em cinco principais tipos: a) dolinas de dissolução caracterizadas por se formarem a partir das fraturas nas rochas, ocorrendo a dissolução e, conseqüentemente, aumentando sua dimensão; b) dolinas de colapso, normalmente geradas a partir de intempéries físicas por desabamento de tetos das cavernas; c) dolinas de subsidência, compostas por coberturas que

colapsaram depositando-se sobre o calcário; d) dolinas de colapso devido ao carste subjacente, formadas por rochas carbonáticas que sofreram dissolução sobreposta a rochas carbonáticas; e) dolinas aluviais, que são caracterizadas por apresentarem solo ou depósito superficial de rochas carbonáticas (JENNINGS, 1987).

As dolinas podem ocorrer numa variada gama de contextos geológicos, como terrenos lateríticos, areníticos, calcários e gessíferos, entre outros (TWIDALE, 1987; SORIANO et al., 1994; DENIZMAN, 2003; SALLUN-FILHO; KARMANN, 2007).

“*Small but deadly*”, é como são vistas estas feições geomorfológicas em vários lugares, onde terrenos cársticos são ocupados por força da expansão urbana e/ou agrícola, constituindo um risco geológico iminente (WALTHAM, 2009, BRINKMANN et al., 2008). Quando comparado às rochas carbonáticas, os sedimentos evaporíticos apresentam riscos de subsidência muito maior em função de sua elevada solubilidade. Enquanto a calcita e a dolomita, principais componentes das rochas carbonáticas, apresentam taxas de dissolução inferiores a $0,1\text{g/l}^{-1}$, a gipsita se solubiliza a uma taxa de $2,4\text{g/l}^{-1}$ (GUTIÉRREZ; COOPER, 2013). Somadas à solubilidade, sua elevada erodibilidade e

a pouca resistência mecânica, são características que fazem deste tipo de terreno os mais propícios à formação de dolinas. Assim, enquanto nos terrenos carbonáticos são, frequentemente, requeridos milhares de anos para a formação de dolinas, nos sedimentos evaporíticos a escala cambia do tempo geológico para o tempo histórico/humano (WALTHAM, 2009).

A Bacia do rio Ebro (Figura 1) constitui uma das zonas mais afetadas por colapsos cársticos na Península Ibérica (GIL et al., 2012). Esta região tem sido estudada desde meados do século XX, com distintas abordagens, buscando-se entender a gênese e dinâmica das dolinas para fins evolução do conhecimento geológica acerca do tema, ademais de planejamento ambiental e análises de riscos, dentre outras abordagens (BENITO, 1987; SORIANO; SIMÓN, 1995; SORIANO et al., 2008; LUZÓN et al., 2008 e 2012, PUEYO ANCHUELA et al., 2010). Neste contexto o presente trabalho, constitui um levantamento dos principais enfoques e metodologias adotados no estudo das dolinas da Bacia do Ebro e suas contribuições para o entendimento da gênese e dinâmica geomorfológica destas feições ao longo da segunda metade do século XX e início do século XXI.

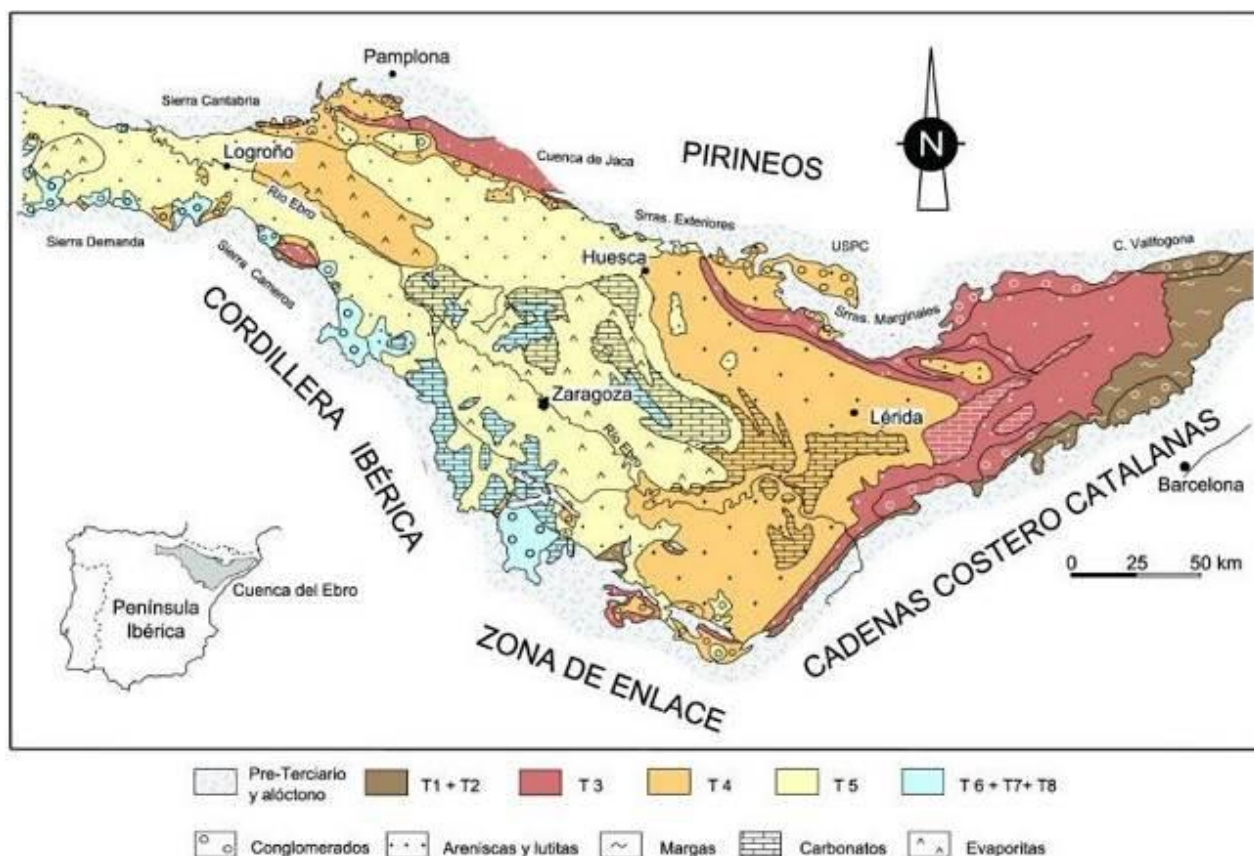


Figura 1. Unidades Tectosedimentares da Bacia do Ebro (VERA, 2004).

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto “*Estudo dos fluxos hídricos subsuperficiais no carste da bacia do rio Ebro, Zaragoza, Espanha*”, como estágio de pós-doutorado do primeiro autor na Universidad de Zaragoza. Assim, a metodologia empregada para o levantamento das informações baseou-se em revisão bibliográfica acerca do tema estudado, com leitura e fichamento de artigos científicos e teses publicados entre os anos de 1950 e 2015.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir análise de mais de uma centena de trabalhos relacionados às dolinas da Bacia do Ebro, é possível ter-se um esboço da distribuição/evolução temporal dos métodos e abordagens adotados para o entendimento da gênese e dinâmica destas feições geomorfológicas. Para tal, assumiu-se que a Geomorfologia (Cárstica, ou não) constitui uma disciplina integradora, que possibilita a melhor compreensão possível da “epiderme terrestre” (Figura 2). Por se tratar de um evento de Espeleologia, vale ressaltar que a visão sistêmica é, atualmente, a mais profícua para o entendimento do relevo. Assim, ainda que o foco seja dado às dolinas, o propósito é o entendimento do sistema cárstico em sua totalidade.

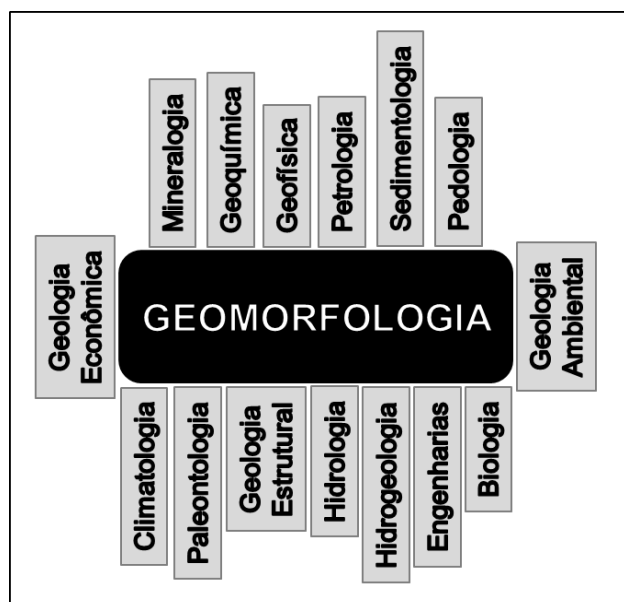


Figura 2 – Relação de disciplinas afins à Geomorfologia (Baseado em SUMMERFIELD, 1991).

Com base na bibliografia consultada, é possível notar que nas décadas de 1950, 60 e 70 as dolinas eram abordadas como mais uma forma geomorfológica nos levantamentos e cartografia do

relevo da Bacia do Ebro. Neste período foram feitos diversos estudos com uso de fotografias aéreas, e as descrições das feições se pautavam no controle estrutural e na classificação morfogenética. Ferrer e Mensua (1956), Llamas Madurga (1962) e Van Zuidan (1976), são alguns exemplos de trabalhos deste período, que foi pautado pela análise fotogramétrica e trabalhos de campo.

O final da década de 1970 foi marcado por uma franca expansão urbana, principalmente na província de Zaragoza. Isso se refletiu nas abordagens dos estudos realizados na década seguinte (1980), quando trabalhos de mapeamento geomorfológico e abordagens, tanto puramente geológica quanto ambiental, visavam dar mais subsídios para um melhor ordenamento do território frente às rápidas mudanças pelas quais este vinha passando.

Destarte a fotogrametria e as observações em campo terem assumido o protagonismo em termos de arcabouço metodológico nos estudos da década de 1980, as imagens de satélite já começariam a apresentar sua potencialidade para este tipo de estudo, permitindo que fossem estudadas áreas mais abrangentes, e ressaltando detalhes só possíveis de serem observados a partir de processamento digital de imagens, hoje corriqueiramente utilizados na elaboração de base cartográfica “pré-campo”, ou com uma ampla campanha de campo.

Outra característica desta década é que, ainda que com um atraso de quase um decênio, os trabalhos realizados na década de 1980 começaram a fazer uso da análise morfométrica das “dolinas como uma ferramenta morfogenética” [parafrazeando Jennings (1975)]. A título de exemplos, Gutiérrez et al. (1985) e Benito (1987) abordaram a carstificação e os colapsos cársticos em terrenos gessíferos no setor central da bacia hidrográfica do rio Ebro, enquanto Soriano (1986) fez uso das informações acerca dos sistemas de fraturas geológicas para explicar os resultados encontrados com uso da análise morfométrica de dolinas normais e aluviais nos terrenos terciários das imediações de Zaragoza. Esta mesma autora enfatizou a relação da ocorrência de dolinas com as zonas de irrigação, além de sua indução aos problemas de engenharia civil. Outro trabalho que também buscou abordar as dolinas no contexto de impactos ambientais foi desenvolvido por Benito e Gutiérrez (1988), que apontam danos a edificações consequentes de processos na planície do rio Ebro.

A década de 1990 foi marcada pela realização de “trabalhos aplicados” que, mais do que

compreender a gênese das dolinas da Bacia do Ebro, buscavam explicitar os impactos ambientais relacionados às mesmas. Soriano (1990) e Soriano et al. (1994) discutem as características fundamentais das dolinas, chamando atenção para a ação antrópica no desenvolvimento dessas formas, que causam grandes perdas econômicas, principalmente através da degradação de áreas agricultáveis. Soriano (1995) e Soriano e Simón (1995) propõe uma metodologia simplificada para elaboração de mapas de “peligrosidad de dolinas”, levando-se em consideração diversos fatores geomorfológicos, tais como a variação do lençol freático, cartografia histórica das dolinas, modelos experimentais em escala reduzida, espessura da cobertura aluvial, dentre outras informações importantes para a elaboração de modelos de risco.

Com o objetivo de popularizar as formas de reconhecimento dos modelados cársticos entre os estudantes de áreas como a Hidrogeologia e a Engenharia Geológica, entre outras, Soriano et al. (1997) elaboraram uma tipologia simplificada dos principais modelados exocársticos como chave para facilitar sua aprendizagem, a partir da qual é possível fazer um reconhecimento das dolinas sem a necessidade de uma exaustiva classificação, como aquelas recorrentes em livros-textos e tratados de Geomorfologia.

O início do milênio atual é marcado pela disseminação dos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs e pela utilização de métodos geofísicos nos estudos sobre a gênese e dinâmica geomorfológica das dolinas da Bacia do Ebro. Há um significativo incremento no quantitativo de publicações, envolvendo técnicas de datação absoluta, utilização de eletrorresistividade (principalmente tomografia elétrica) e radar de penetração no solo – GPR para estudos tanto das dolinas ativas como de paleodolinas. Luzón et al. (2008) utilizaram datações OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) associadas às técnicas estratigráficas analisaram os sedimentos de preenchimento de dolinas em depósitos fluvio-lacustres pleistocênicos nas proximidades de Zaragoza, propondo que o desenvolvimento natural destas feições compreenderam vários milhares de anos. A relação de feições deformacionais sinsedimentares, observadas em paleodolinas, com o ambiente fluvial contemporâneo, e também o uso de datações OSL, levou Soriano et al. (2008) a inferir que a taxa atual de dolinamento é maior que aquelas assumidas para o Pleistoceno tardio. Um exemplo de taxa de rebaixamento de dolinas em área urbanizada é dado por Soriano et al. (2004), que

encontraram uma variação de subsidência de 12 a 120 mm/ano, apontando a influência da ocupação do solo nas áreas de expansão urbana na deflagração destes colapsos.

No tocante ao uso de Sistemas de Informações Geográficas, os maiores avanços foram dados nas modelagens probabilísticas de ocorrência de colapsos, principalmente em zonas de grandes estruturas, como a linha do trem de alta-velocidade Madri-Barcelona, além de rodovias e estruturas industriais (LAMELAS, 2007, GALVE et al., 2008, GALVE et al., 2009a, b, c, d, GUERRERO et al., 2004, GUERRERO et al., 2008a,b, GUTIÉRREZ et al., 2008). Trabalhos de classificação tipológica das dolinas e sua relação com riscos geológicos continuam sendo feito neste período (GUTIÉRREZ et al., 2005, 2007 e 2008).

Ainda na primeira década dos anos 2000, os métodos geofísicos começaram a ganhar representatividade no arcabouço metodológico para a compreensão tanto das morfologias quanto da dinâmica das feições cársticas na Bacia do Ebro (MOCHALES et al., 2007, MOCHALES et al., 2008). Neste sentido, Pueyo-Achuela et al. (2010) realizaram uma análise das respostas de diversos métodos geofísicos para a detecção de cavidades nas proximidades de Zaragoza, buscando propor uma rotina de levantamentos para o estudo de dolinas. Estes autores asseveram não haver um único método capaz de ressaltar com precisão todas as características das dolinas, sendo necessária a utilização de técnicas combinadas para um melhor entendimento destas feições. Para mais exemplos de aplicação do Radar de Penetração no Solo ao estudo de dolinas na área em questão, ver Pueyo-Achuela et al. (2011, 2013, 2014 e 2015).

Uma nova técnica que vem sendo utilizada desde 2009, mas que ganhou força neste primeiro lustro da segunda década do século XXI refere-se à escavação de trincheiras, da borda para o centro, para descrição de feições deformacionais, análise cinemática e caracterização estratigráfica do preenchimento sedimentar das dolinas (GUTIÉRREZ et al., 2009, GUTIÉRREZ et al., 2011, CARBONEL et al., 2014). A partir das descrições feitas em campo, associadas a datações de material orgânico, é possível tanto inferir a origem quanto modelar os episódios/estágios evolutivos das feições. Segundo Gutiérrez et al. (2014), este método possibilita uma análise longo-termo das taxas de subsidência, além de dar maior precisão à determinação da idade das dolinas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos de análise histórica das discussões acerca de um determinado tema têm, entre outras, a função de apontar as vias tomadas por pesquisadores em busca de uma evolução da ciência ao longo do tempo. A partir deste tipo de estudo é possível analisar a conexão das abordagens adotadas com o contexto histórico da Geomorfologia, quando da execução de tais estudos. Neste viés, as pesquisas sobre dolinas na Bacia do Ebro – Espanha sempre (ou pelo menos para o período analisado) apresentam uma consonância com as discussões de vanguarda da Geomorfologia.

Ademais, a integração de diferentes áreas do saber tem possibilitado uma compreensão mais abrangente deste tipo de relevo, notando-se claramente um predomínio da abordagem sistêmica,

seguida da paisagem como modo de prática desta interdisciplinaridade.

O presente levantamento não teve, nem tem a prepotência de apontar estudos melhores e piores desenvolvidos na Bacia do Ebro, mas tão somente a intenção de fazer um apanhado histórico dos estudos realizados nesta que é uma das áreas mais atingidas por processos de dolinamento na Europa, podendo servir de base para a compreensão do sistema cárstico em outras regiões do globo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela CAPES, através de bolsa de Pós-doutorado no Exterior, Programa Ciência Sem Fronteiras, processo número 1079-01-3.

BIBLIOGRAFIA

- BENITO, G. Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro. **Cuaternario y Geomorfología**, v.1, p.61-76, 1987.
- BENITO, G.; GUTIÉRREZ, M. Karst in Gypsum and its Environmental Impact on the Middle Ebro Basin, Spain. **Environmental Geology Water Science**, v.12, n.2, p.107-111, 1988.
- BRINKMANN, R.; PARISE, M.; DEY, D. Sinkhole distribution in a rapidly developing urban environment: Hillsborough County, Tampa Bay area, Florida. **Engineering Geology**, v.99, n.3-4, p.169-184, 2008.
- CARBONEL, D.; RODRÍGUEZ, V.; GUTIÉRREZ, F.; MCCALPIN, J. P.; LINARES, R.; ROQUÉ, C.; ZARROCA, M.; GUERRERO, J.; SASOWSKY, I. Evaluation of trenching, ground penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) for sinkhole characterization. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.39, n.2, p.214-227, 2014.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª edição. São Paulo: Edgar Blücher Ltda. 1980.
- DENIZMAN, C. Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, lower Suwannee River Basin, Florida. **Journal Cave Karst Studies**, v.65, n.1, p.29-35, 2003.
- FERRER, M.; MENSUA, S. Las formas de relieve del centro de la Depresion del Ebro. *Geographica*, v.111, n.9-12., p.107-109, 1956.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst geomorphology and hydrology**. London, Unwin Hyman, 1989. 320 p.
- GALVE, J. P.; BONACHEA, J.; REMONDO, J.; GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J.; LUCHA, P.; CENDRERO, A.; GUTIÉRREZ, SÁNCHEZ, M. J.A. Development and validation of sinkhole susceptibility models in mantled karst settings. A case study from the Ebro valley evaporite karst (NE Spain). **Engineering Geology**, v.99, p.185-197, 2008.
- GALVE, J. P.; GUTIÉRREZ, F.; CENDRERO, A.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; GUERRERO, J.; LUCHA, P. Predicting sinkholes by means of probabilistic models. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v.42, p.1-7, 2009.

- GALVE, J. P.; GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P.; BONACHEA, J.; CENDRERO, A.; GIMENO, M. J.; GUTIÉRREZ, M.; PARDO, G.; REMONDO, J.; SÁNCHEZ, J. A. Sinkholes in the salt-bearing evaporate karst of the Ebro River valley upstream of Zaragoza city (NE Spain): Geomorphological mapping and analysis as a basis for risk management. **Geomorphology**, v.108, n.3-4, p.145-158, 2009.
- GALVE, J. P.; GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P.; GUERRERO, J.; BONACHEA, J.; REMONDO, J.; CENDRERO, A. Probabilistic sinkhole modelling for hazard assessment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.34, p.437-452, 2009.
- GALVE, J. P.; GUTIÉRREZ, F.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; LUCHA, P.; CENDRERO, A. Evaluating and comparing methods of sinkhole susceptibility mapping in the Ebro Valley evaporite karst (NE Spain). **Geomorphology**, v.111, p.160–172, 2009.
- GIL, H.; LUZÓN, A.; SORIANO, M.A.; PUEYO, O.; POCOVÍ, A.; PÉREZ, A. Ejemplos de formas paleokársticas y depósitos asociados en los materiales detríticos de terraza del río Ebro. **Geogaceta**, v.52, p.97-100, 2012.
- GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F.; BONACHEA, J.; LUCHA, P. A sinkhole susceptibility zonation based on paleokarst analysis along a stretch of the Madrid–Barcelona high-speed railway built over gypsum- and salt-bearing evaporites (NE Spain). **Engineering Geology**, v.102, p.62–73, 2008.
- GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P. Impact of halite dissolution subsidence on Quaternary fluvial terrace development: Case study of the Huerva River, Ebro Basin, NE Spain. **Geomorphology**, v.100, p.164–179, 2008.
- GUERRERO, J.; GUTIÉRREZ, F.; LUCHA, P. Paleosubsidence and active subsidence due to evaporite dissolution in the Zaragoza area (Huerva River valley, NE Spain): processes, spatial distribution and protection measures for transport routes. **Engineering Geology**, v.72, p.309–329, 2004.
- GUTIÉRREZ, F., COOPER, A. H. Surface morphology of gypsum karst. In: Frumkin, A. (Ed.). **Treatise on Geomorphology. Karst Geomorphology**. Elsevier, vol.6, p.425-437, 2013.
- GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P.; GUERRERO, J.; LUCHA, P.; CENDRERO, A.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; GUTIERREZ, M.; SANCHEZ, J. A. The origin, typology, spatial distribution and detrimental effects of the sinkholes developed in the alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream of Zaragoza City (NE Spain). **Earth Surface Processes and Landforms**, v.32, n.6, p.912-928, 2007.
- GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P.; LUCHA, P.; BONACHEA, J.; JORDÁ, L.; JORDÁ, R. Investigation of a large collapse sinkhole affecting a multi-storey building by means of geophysics and the trenching technique, Zaragoza city, NE Spain. **Environmental Geology**, v.58, p.1107–1122, 2009.
- GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P.; LUCHA, P.; CASTAÑEDA, C.; BONACHEA, J.; GUERRERO, J. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes in the mantled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain). **Geomorphology**, v.134, p.144–156, 2011.
- GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J.; LUCHA, P. A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain; Karst processes, landforms, and environmental problems. **Environmental Geology**, v.53, n.5, p. 993-1006, 2008.
- GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J.; LUCHA, P. Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain). **Natural Hazards**, v.45, n.2, p.211-233, 2008.

- GUTIÉRREZ, F.; GUTIÉRREZ, M., MARÍN, C.; MALDONADO, C.; DESIR, G. Spatial distribution, morphometry and activity of La Puebla de Alfindén sinkhole field in the Ebro river valley (NE Spain): applied aspects for hazard zonation. **Environmental Geology**, v.48, n.3, p.360-369, 2005.
- GUTIÉRREZ, F.; PARISE, M.; DEWAELE, J.; JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth-Science Reviews**, v.138, p.61–88, 2014.
- GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M. J.; PEÑA, J. L.; RODRÍGUEZ, J.; SORIANO, A. Quelques exemples de karst sur gypse dans la dépression de l'Ebre. **Karstologia**, v.6, p.29–36, 1985.
- JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. 2 Ed., Oxford: Basil Blackwell. 1987. 293p.
- JENNINGS, J. Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand example. **New Zealand Geographer**, v.31, n.1, p.6-28, 1975.
- LAMELAS, M. T. Geo-resources and geo-hazards in the context of a sustainable development in the periphery of urban areas, exemplary of a part of the Ebro Basin in the surroundings of Zaragoza (Spain). Tesis de Doctorado, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2007.
- LLAMAS MADURGA, M. R. Estudio geológico-técnico de los terrenos yesíferos de la cuenca del Ebro y de los problemas que plantean en los canales. Serv. Geológico, Boletín 12, Informaciones y Estudios, 192p, 1962.
- LUZÓN, A.; PÉREZ, A.; SORIANO, M. A.; POCOVÍ, A. Sedimentary record of Pleistocene paleodoline evolution in the Ebro basin (NE Spain). **Sedimentary Geology**, v.205, n.1-2, p.1-13, 2008.
- LUZÓN, A.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. P.; PÉREZ, A.; SORIANO, M. A.; GIL, H.; POCOVÍ, A. Karst subsidence as a control on the accumulation and preservation of aeolian deposits: A Pleistocene example from a proglacial outwash setting, Ebro Basin, Spain. **Sedimentology**, v.59, n.7, p.2199-2225, 2012.
- MOCHALES, T.; CASAS, A. M.; PUEYO, E. L.; PUEYO ANCHUELA, Ó.; ROMÁN, M. T.; POCOVÍ, A.; SORIANO, M. A.; ANSÓN, D. Detection of underground cavities by combining gravity, magnetic and ground penetrating radar surveys: a case study from the Zaragoza area, NE Spain. **Environmental Geology**, v.53, p.1067-1077, 2008.
- MOCHALES, T.; PUEYO, E. L., CASAS, A. M.; SORIANO, M. A.; POCOVÍ, A. Magnetic prospection as an efficient tool for doline detection. A case study in the central Ebro basin (northern Spain). In: Parise, M., Klimchouk, A., Gunn, J. (Eds.), *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Geological Society of London, Special Publication*, v.279, pp. 73-84, 2007.
- PUEYO ANCHUELA, O.; CASAS-SAINZ, A. M.; POCOVÍ, A.; GIL, H. **Assessing karst hazards in urbanized areas. Case study and methodological considerations in the mantle karst from Zaragoza city (NE Spain)**. **Engineering Geology**, v.184, p.29-42, 2015.
- PUEYO ANCHUELA, Ó.; CASAS-SAINZ, A. M.; SORIANO, M. A.; POCOVÍ-JUAN, A. Geophysical techniques applied to urban planning in complex near surface environments. Examples of Zaragoza, NE Spain. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.36, p.1211-1227, 2011.
- PUEYO ANCHUELA, O.; LUZÓN, A.; GIL, H.; PÉREZ, A.; POCOVÍ, A.; SORIANO, M. A. Combination of electromagnetic, geophysical methods and sedimentological studies for the development of 3D models in alluvial sediments affected by karst (Ebro Basin, NE Spain). **Journal of Applied Geophysics**. v.102, p.81–95, 2014.
- PUEYO ANCHUELA, O.; POCOVÍ, A.; CASAS-SAINZ, A. M.; ANSÓN-LÓPEZ, D.; GIL, H. Actual extension of sinkholes: Considerations about geophysical, geomorphological, and field inspection

- techniques in urban planning projects in the Ebro basin (NE Spain). **Geomorphology**, v.189, p.135-149, 2013.
- PUEYO-ANCHUELA, O.; CASAS-SAINZ, A. M.; SORIANO, M. A.; POCOVÍ, A. A geophysical survey routine for the detection of doline areas in the surroundings of Zaragoza NE Spain. **Engineering Geology**, v.114, n.3-4, p.382-396, 2010.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p.551-564, 2007.
- SAURO, U. Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification. **Acta Carsologica**, v.32, n.2, p.41-52, 2003.
- SORIANO, M. A. Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. **Boletín Geológico y Minero**, v.97, n.3, p.328-337, 1986.
- SORIANO, M. A. **Geomorfología del sector centro-meridional de la Depresión del Ebro**. Publicación 1231, Institución Fernando el Católico, Zaragoza. 1990.
- SORIANO, M. A. Metodología para la elaboración de un mapa de peligrosidad de dolinas. **Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v.3, n.3, p.184-190, 1995.
- SORIANO, M. A.; ARLEGUI, L. E.; LIESA, C. L. Tipología simplificada de los principales modelados exokársticos como clave para facilitar su aprendizaje. **Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v.5, n.1, p.32-36, 1997.
- SORIANO, M. A.; LUZÓN, A.; PÉREZ, A.; POCOVÍ, A.; SIMÓN, J. L. Evolution patterns of synsedimentary Pleistocene dolines: clues for present doline evolution? **Geophysical Research Abstracts**, v.10, EGU2008-A-05402, 2008.
- SORIANO, M. A.; SIMÓN, J. L. Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. **Geomorphology**, v.11, n.4, p.295-309, 1995.
- SORIANO, M. A.; SIMON, J. L.; ARLEGUI, L. E.; LIESA, C. L.; POCOVÍ, A. Problemas causados por el karst aluvial en el centro de la cuenca del Ebro. Actas del workshop: Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. p. 651-663, 2004.
- SORIANO, M. A.; SIMÓN, J. L.; GRACIA, J.; SALVADOR, M. Alluvial sinkholes over gypsum in the Ebro basin (Spain): genesis and environmental impact. **Hydrological Sciences Journal**, v.39, n.3, p.257-268, 1994.
- SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms**. Harlow – England: Pearson Prentice Hall, 1991. 537p.
- TWIDALE, C. R. Sinkholes (Dolines) in lateritised sediments, western Sturt plateau, Northern Territory, Australia. **Geomorphology**, v.1, n.1. p.33-52, 1987.
- VAN ZUIDAM, R. A. Geomorphological development of the Zaragoza Region, Spain: processes and land forms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) - Enschede-The Netherlands, 211 pp., 1976.
- VERA, J. A. **Geología de España**. SGE-IGME, Madrid, 2004. Não paginado.
- WALTHAM, T. Sinkhole geohazards. **Geology Today**, v.25, n.3, p.112-116, 2009.