



SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES QUE PERMITAN DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA 'ESTRUCTURA Y FUNCIÓN' DE LOS TIPOS DE HÁBITAT HIPÓGEOS CONTINENTALES

Pedro A. Robledo
Juan José Durán
Eulogio Pardo-Igúzquiza





SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES QUE
PERMITAN DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE
CONSERVACIÓN DE LA 'ESTRUCTURA Y FUNCIÓN'
DE LOS TIPOS DE HÁBITAT HIPÓGEOS
CONTINENTALES





Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo² y Juan Carlos Simón Zarzoso²

Coordinación científica

Pedro A. Robledo Ardila³

Autores

Pedro A. Robledo Ardila³

Juan José Durán Valsero³

Eulogio Pardo-Igúzquiza³

Coordinación y revisión editorial

Jara Andreu Ureta²

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan²

¹ Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec, Grupo Tragsa

³ Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Robledo P A, Durán J J & Pardo-Igúzquiza E. 2019. Selección y descripción de variables que permitan diagnosticar el estado de conservación de la 'Estructura y función' de los tipos de hábitat hipógeos continentales. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 15 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. VARIABLES Y TIPO DE ANÁLISIS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL PARÁMETRO 'ESTRUCTURA Y FUNCIÓN'	8
3. BIBLIOGRAFÍA DE INTERÉS.....	11



1. INTRODUCCIÓN

El seguimiento del estado de conservación de las cuevas viene determinado, fundamentalmente, por el mantenimiento del microclima de la cavidad. La alteración de parámetros como la temperatura, humedad, ventilación, CO₂, radón, fisicoquímica de las aguas (si las hubiera), entre otros, puede afectar al desarrollo de la cavidad en sus formas y productos. Los factores que controlan el ambiente de una cavidad están directamente relacionados con la presencia o ausencia de fauna cavernícola, y la aparición de organismos que pueden alterar algunos aspectos de la cavidad, como el mal verde o el *moonmilk*. Otros aspectos son más difíciles de precisar ya que actúan de manera conjunta sin que todavía se haya resuelto la forma y el modo en el que condicionan el estado de conservación de la cavidad. También es importante, en algunos sistemas endokársticos, la relación cueva-acuífero, ya que una explotación intensiva, la contaminación o cualquier modificación en el sistema hidrodinámico se verá reflejada en la cavidad, pues esta es la zona vadosa del acuífero.

La formación de cavidades depende, fundamentalmente, de las propiedades fisicoquímicas del agua y el ambiente en el que estas se desarrollan (formas y productos). Por ello, es esencial el seguimiento y control de los parámetros microambientales y de la composición y calidad de las aguas de infiltración y el mantenimiento del caudal natural.

La participación de la vegetación en la disolución o precipitación química requiere también su conservación, ya que la disminución o desaparición rápida de la cobertura vegetal determinará el desarrollo natural de los procesos.

De esta manera, algunos de los factores que más influyen en la alteración y modificación de estos ambientes son:

- **Contaminación de las aguas de infiltración (nitratos, pesticidas y otros):** provoca la alteración del equilibrio químico, control fundamental de la disolución o precipitación. Además, el aporte de determinadas sustancias puede provocar la desaparición de la fauna cavernícola.
- **Cambios en la temperatura del interior de la cavidad:** este factor alterará tanto los fenómenos de disolución como de precipitación, así como la pervivencia de la fauna endémica.
- **Cambio en la concentración de CO₂,** que puede alterar la química de las aguas y los procesos derivados de ellas.
- **Modificaciones de la ventilación de la cavidad:** la apertura antrópica de bocas en la cueva puede alterar los parámetros ambientales y, consecuentemente, a la fauna que subsista en la cavidad.
- **Modificaciones en el caudal y aporte de agua:** provocado por la desaparición de la cobertura vegetal, la construcción urbana o actuaciones que se desarrollen en la zona de infiltración y modifiquen el volumen de agua que se infiltra a la cavidad.

Algunos indicadores que pueden ser tenidos en cuenta para detectar modificaciones en el sistema son:

- Existencia de superficie recubierta o grado de cobertura vegetal de la superficie de la cavidad.



- Cambios en el volumen y regularidad de los caudales de infiltración, consecuencia de acciones antrópicas en la superficie de la cavidad.
- Modificaciones del nivel piezométrico del acuífero debido a la explotación intensiva de este.
- Presencia de mal verde o *moonmilk*.
- Evidencia de procesos de alteración por cambios ambientales o degradación por acción directa en la cavidad debido a la entrada furtiva de personas: rotura de formaciones de precipitación química, contaminación de las aguas de tours, habilitación incontrolada de caminos en la cavidad, pintadas en el techo o las paredes, entre otras.
- Cambios en la ventilación de la cavidad debido a modificaciones para el acceso: obertura de nuevas bocas, senderos y otros.
- Presencia de desechos, vertidos y basuras.

Finalmente, hay que tener en cuenta las peculiaridades específicas de los acuíferos kársticos, que son los que albergan mayor número de cuevas y de mayor singularidad:

- La evolución del acuífero.
- La heterogeneidad espacial respecto a la distribución de cinturones de facies, si las hay.
- El posible efecto de la intrusión marina en la zona de mezcla si es una cueva litoral.
- La variabilidad del tipo de porosidad, el flujo y el almacenamiento.
- La variabilidad temporal.

Además, otro elemento determinante en cualquier cueva en carbonatos o evaporitas, es la relación entre el medio físico y el contexto hidrogeológico del área kárstica. El contexto tiene la capacidad de condicionar, determinar y/o configurar las características hidráulicas intrínsecas del propio acuífero y, por tanto, dichas características pueden ser variables y evolucionar en el tiempo y en el espacio.

2. VARIABLES Y TIPO DE ANÁLISIS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL PARÁMETRO 'ESTRUCTURA Y FUNCIÓN'

Para el seguimiento de este proyecto se identifican las siguientes variables agrupadas por tipo de análisis (en la Tabla 1 se presenta un resumen de las mismas y su periodicidad de medición recomendada):

1. Seguimiento de la evolución del acuífero:

Esta información es pública y se puede obtener de las bases de datos de las CCAA, Confederaciones Hidrográficas o Planes Hidrológicos. Se basa en ver si existen cambios importantes en la Masa de Agua Subterránea o acuífero concreto.



2. Análisis del medio microclimáticos de la cavidad:

- a) Determinar la media de CO₂ anual y estacional (cuatro medidas al año).
- b) Determinar la temperatura anual y estacional (cuatro medidas al año).
- c) Determinar la humedad relativa (cuatro medidas al año).

3. Análisis del estado del agua en cuevas con lagos endokársticos:

- a) Determinar la base fisicoquímica del agua, pH, conductividad y temperatura (cuatro medidas al año).
- b) Determinar la química iónica y catiónica del agua mediante componentes importantes como Ca, Mg, Cl, NO₃, etc. (dos medidas al año, si la superficie del agua endokárstica es importante se tomarán en dos partes diferentes de la cueva).
- c) Determinar la química de metales pesados como As, Hg, Ar, Pb, Cd, etc. (dos medidas al año, si la superficie del agua endokárstica es importante se tomarán en dos partes diferentes de la cueva).
- d) Microbiológicos (coliformes fecales, nematodos, etc.).
- e) Determinar las variaciones de los niveles piezométricos (cuatro medidas al año).

4. Seguimiento del sistema endokárstico: análisis de la distribución y tipología de la planta de la cueva mediante:

- a) Exploración directa.
- b) Análisis de las formas de disolución y espeleotemas en el interior de la cavidad y catálogo de las mismas, de acuerdo con el tipo genérico.
- c) Implementar desarrollo de cartografías geomorfológicas en planta y perfiles transversales y longitudinales.
- d) Análisis del sistema endokárstico mediante métodos indirectos:
 - i. Georradar.
 - ii. Tomografías eléctricas.
 - iii. Sondeos con testificación.



Tabla 1 Cuadro resumen de los parámetros y periodo de seguimiento del interior de las Cuevas no explotadas por el turismo (tipo de hábitat de interés comunitario 8310). Fuente: elaboración propia.

TIPOS DE ANÁLISIS GENERAL	TIPOS DE ANÁLISIS CONCRETOS	PERIODO DE SEGUIMIENTO	TIPO DE CAVIDAD
Análisis microclimático	CO ₂	4 medidas al año	Todas
	Temperatura	4 medidas al año	Todas
	Humedad	4 medidas al año	Todas
Análisis del agua de la cavidad	Fisicoquímicos	4 medidas al año	Continental o litoral con agua
	Iónico y catiónico	2 medidas al año	Continental o litoral con agua
	Metales pesados	2 medidas al año	Continental o litoral con agua
	Microbiológicos	2 medidas al año	Continental o litoral con agua
	Pizometría	4 medidas al año	
Seguimiento del sistema endokárstico	Exploración directa	Permanente	Todas
	Espeleotemas y formas de disolución	Permanente	
	Métodos indirectos	1 vez cada 2 años	
Seguimiento del acuífero	Consulta Base de Datos de CCAA y Confederaciones	Permanente	Todas las que estén sobre un acuífero



3. BIBLIOGRAFÍA DE INTERÉS

- Alonso J A, González J J, Ferreras R, Navarro F & Algaba. 1996. Estudio topográfico-espeleológico de la Cueva de Ribadesella y su relación con la Cueva de Tito Bustillo. Informe inédito. En: Blas Cortina M. A. Cuevas prehistóricas de Asturias. Arte rupestre paleolítico. Ediciones Trea, S. L. Consejería de Cultura del principado de Asturias. Gijón. 91 pp.
- Alonso J L, García-Ramos J C & Gutiérrez M. 1999. Control estructural de la cavidad kárstica "La Cueva" (Ribadesella, Asturias). pp. 65-76. En: Andreo B, Carrasco F & Durán J J (eds.) Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico. Patronato de la Cueva de Nerja. Instituto de Investigación.
- Alonso V & González J J. 1998. Presencia de hielo glacial en los Picos de Europa (cordillera Cantábrica). El helero del Jou Negro. Cuaternario y Geomorfología. 12(1-2): 35-44.
- Ayala F J, Rodríguez-Ortiz J M, del Val J, Durán J J, Prieto C & Rubio J. 1986. Memoria del mapa del karst de España. Instituto Geológico y Minero de España. 68 pp.
- Benavente J, Pulido A & Fernández R. 1986. Les grands caractères de l'hydrogéologie karstique dans les Cordillères Bétiques. Karstologia mémoires. 1: 87-99.
- Calaforra J M. 1996. Contribución al conocimiento de la karstología de yesos. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Cañaveras J C, Sánchez-Moral S, Bedoya J, Soler V & Lario J. 2002. Estudios geomicrobiológicos en la Cueva de Altamira (Cantabria, N España). pp. 515-521. En: Carrasco F, Durán J J & Andreo B. (eds.) Karst and Environment. Fundación Cueva de Nerja, Málaga.
- Carcavilla L, Belmonte Á, Durán J J & Hilario A. 2011. Geoturismo: concepto y perspectivas en España. Revista de enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 19-1: 81-94.
- Carcavilla L, López-Martínez J & Durán J J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. IGME. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, Madrid. 360 pp.
- Cendrero A & Díaz de Terán J R (coordinadores). 1987. Guía de Excursiones. VII Reunión sobre el Cuaternario. Santander. 115 pp.
- Corrín J. 1992. Las cavidades principales en los montes alrededor de Matienzo (Ruesga, Cantabria). pp. 345-355. En: Actas del V Congreso Español de Espeleología. Camargo, Santander.
- Dabrio C, Zazo C & Goy J. 1987. Pleistocene sealevel changes in the bay of Cádiz (SW Spain). En: Zazo C (ed.) Late Quaternary sealevel changes in Spain. Trabajos sobre neógenocuaternario. 10: 265-282.
- Davis R L & Johnson C R. 1989. Karst hydrology of San Salvador. pp. 118-136. En: Mylroie J E (eds.) Fourth Symposium on Geology of Bahamas. Bahamas, USA.
- Davis S N & Weist R. 1971. Hidrogeología. Barcelona: Editorial Ariel. 325 pp.
- Del Val J & Hernández M. 1989. El karst en el macizo hespérico. pp. 217-229. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Delannoy J J & Díaz del Olmo F. 1986. La serranía de Grazalema (Málaga Cádiz). Karstologia Mémoires. 1: 55-70.



- Delannoy J J & Guendon J L. 1986. La sierra de las Nieves (Málaga). La Sima G.E.S.M. Etude géomorphologique et spéléologique. Karstologia Mémoires. 1: 71-85.
- Díaz del Olmo F & Delannoy J J. 1989. El karst en las cordilleras béticas: subbético y zonas internas. pp. 175-185. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Díaz del Olmo F, Baena R, Ruiz B & Álvarez G. 1992. La sequence tardiglaciaire-holocene du travertin de Priego de Córdoba. pp. 177-190. En: Karst et evolutions climatiques. Hommage a J. Nicod. Bordeaux: Presses Universitaires.
- Durán J J & López-Martínez J. 1989. Perspectiva general del karst en España. pp. 13-28. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) El karst en España. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Durán J J & Molina J A. 1986. Karst en los yesos del triás de Antequera (Cordilleras Béticas). Karstologia Mémoires. 1: 37-46.
- Durán J J & Robledo P A. 2002. Karst y Patrimonio Natural. pp. 261-266. In: Carrasco F, Durán J J & Andreo B (eds.) Karst and Environment. Fundación Cueva de Nerja, Málaga.
- Durán J J (coord.). 2006a. Guía de las cuevas turísticas españolas. Asociación de Cuevas turísticas Españolas e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 104 pp.
- Durán J J (coord.). 2006b. Islas de Agua. Patrimonio Geológico e Hidrogeológico de las Islas Baleares. Instituto Geológico y Minero de España; Conselleria de Medi Ambient de les Illes Balears. 256 pp.
- Durán J J. 1994. Cuevas habilitadas de la provincia de Málaga. Una introducción al turismo subterráneo. Diputación Provincial de Málaga. 58 pp.
- Durán J J. 1996. Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: contribución al conocimiento paleoclimático del cuaternario en el Mediterráneo occidental. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 409 pp.
- Fernández A, Calaforra J M, Martín W & González M J. 2008. Cavidades turísticas de Andalucía. pp. 105-115. En: Calaforra J M & Berrocal J A (coord.) El Karst de Andalucía (geoespeleología, biospeleología y presencia humana). Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla.
- Fernández F & Valls M C. 1998. Los colores de la Oscuridad. Cantabria, paraíso subterráneo. Santander. 206 pp.
- Ford D C & Williams P W. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. 562 pp.
- García-Cortés A (ed.). 2008. Contextos Geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 235 pp.
- García-Rossell I & Pezzi M C. 1975. Un karst mediterráneo supraforestal en sierra Mágina (Jaén). Condicionamientos geológicos y geomorfológicos. Cuadernos de geografía de la universidad de Granada, Serie monográfica, nº 1: 19-57.
- Ginés J & Ginés A. 1995. Speleochronological aspects of karst in Mallorca. Endins. 20: 99-112.



- González M J. 1996. Grandes cavidades de Andalucía. Las cuevas con más desarrollo. *Subterránea*. 6: 38-48.
- Junta de Andalucía. 1999. Decreto 225/1999, de 9 de noviembre, de regulación y desarrollo de la figura de Monumento Natural de Andalucía. BOJA 146/1999, de 16 de diciembre, 16.177-16.181. Sevilla.
- León J. 1997. Cantabria subterránea. Catálogo de las grandes cavidades, 2 Vol. Santander. 777 pp.
- Lhènaff R. 1986. Répartition des massifs karstiques et conditions générales d'évolution. *Karstologia Mémoires*. 1: 5-24.
- López F & López B. 1989. Geomorfología del karst Prebético. Cordilleras Béticas. pp. 187-200. En: Durán J J & López-Martínez J (eds.) *El karst en España*. Monografías nº 4. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- Lores B, Robledo P A & Durán J J. 2012. Algunos aspectos de interés de las relaciones entre el dominio público marítimo-terrestre y los acuíferos costeros. El caso de la isla de Mallorca, Baleares, España. pp. 321-333. En: López-Geta J A, Fernández M, Ramos G, Rodríguez L (eds). *Nuevas aportaciones al conocimiento de los acuíferos costeros*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 20. 2 vol.
- Murillo J M (ed.). 2013. *Las Aguas Subterráneas y la red Natura 2000*. Instituto Geológico y Minero de España. 416 pp.
- Palmer A N & Palmer M V. 1995. The Kaskaskia paleokarst of the Northern Rocky Mountains and Black Hills, northwestern USA. *Carbonates and Evaporites*. 10: 148-160.
- Palmer A N. 1984a. Geomorphic interpretation of karst features. pp. 173-209. In: LaFleur R G (ed.) *Groundwater as geomorphic agent*. Boston: Allen and Unwin.
- Palmer A N. 1984b. Recent trends in karst Geomorphology. *Journal of Geological Education*. 32: 247-253.
- Palmer A N. 1987. Cave levels and their interpretation. *National Speleological Society Bulletin*. 49: 50-66.
- Palmer A N. 1991. Origin and morphology of Limestone caves. *National Speleological Society Bulletin*. 103: 1-21.
- Palmer A N. 1995. Geochemical models for the origin of macroscopic solution porosity in carbonate rocks. pp. 77-102. In: Budd D A, Saller A H & Harris P M (eds.) *Unconformities and porosity in carbonate strata*. American Association of Petroleum Geologist Memoir series, num. 63.
- Palmer R J & Williams D. 1984. Cave development under Andros Island, Bahamas. *Cave Science*. 11(1): 50-52.
- Palmer R J. 1986. Hydrology and speleogenesis beneath Andros Island. *Cave Science*. 13(1): 7-12.
- Puch C. 1998. *Grandes cuevas y simas de España*. Federación española de Espeleología. Madrid. 794 pp.
- Pulido A. 1986. Le karst dans les gypses de sorbas (Almería). Aspects morphologiques et hydrogéologiques. *Karstologia Mémoires*. 1: 27-36.
- Ramírez F. 1992. Espacios naturales protegidos y karst en Andalucía. Estado de la cuestión. *Actas del VI congreso nacional de espeleología*. 257-270.



- Robledo P A & Durán J J. 2010. Evolución del turismo subterráneo en las Islas Baleares y su papel en el modelo turístico. pp. 305-323. En: Durán J J & Carrasco F (eds.) Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo. Madrid. España Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.
- Robledo P A & Durán J J. 2011. Geoturismo y cavidades: perspectiva en las Islas Baleares, España. ANAIS do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia Ponta Grossa-PR, 21-24 de julho de 2011 – Sociedade Brasileira de Espeleologia.
- Robledo P A, Durán J J & Mateos R. 2009a. Las cuevas de Mallorca como parte del patrimonio geológico y natural de las Islas Baleares. Hacia una ordenación turística sostenible. pp. 305-317. En: Durán J J & López J (eds.) Cuevas Turísticas, Cuevas Vivas. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid.
- Robledo P A, Durán J J & Tienda T. 2014. Análisis de espeleotemas mixtos y su relación con paleoniveles eustáticos en la Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca, España. Actas del 1er Congreso Iberoamericano y 5º Congreso Español sobre Cuevas Turísticas. Arcena, España.
- Robledo P A, Durán J J, Garay P & García J. 2009b. 8310 Cuevas no explotadas por el turismo. 53 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Robledo P A. 2010. Informe sobre la instalación de una red sensores en la Cova des Pas de Vallgornera (T.M. Lluçmajor, Mallorca) para el control de los parámetros ambientales frente a la futura construcción de la red de alcantarillado en las urbanizaciones de es Pas y Vallgornera. Instituto Geológico y Minero de España. Informes técnicos. 10 pp.
- Robledo P A. 2013. Estudio científico-técnico del sector oeste de las minas de Galdent, Lluçmajor, Mallorca. Informe técnico inédito. Instituto Geológico y Minero de España. 65 pp.
- Robledo P A. 2014. Informe científico-técnico sobre los perímetros de protección en torno a la Cova des Pas y Vallgornera. Instituto Geológico y Minero de España. Informes técnicos. 78 pp.
- Robledo P A. 2015. Una panorámica de las mayores redes kársticas del Planeta. Conferencia en el Club del Agua Subterránea. Madrid.
- Rodríguez I J & Díaz del Olmo F. 1989. Sierra Morena. pp. 201-208. En: Mapa del cuaternario de España. ITGE, Madrid.
- UNESCO. 2004. Network of National Geoparks seeking UNESCO's assistance. Unpublished report, Paris.
- UNESCO. 2008. Global network of national Geoparks. Unpublished report. www.unesco.org/science/earth/geoparks.shtml. Paris. 2008.
- VV.AA. 1985. Cuevas de España. León: Editorial Everest. 308 pp.
- VV.AA. 1997. El Mundo subterráneo en Euskal Herria. Geografía del Karst. Cultura. Criptopaisajes. Lasarte: Taxomin Ugalde. 308 pp.
- Whitaker F F & Smart P L. 1998. Hydrology, geochemistry and diagenesis of fracture blue holes, South Andros, Bahamas. Cave and Caves Research. 25: 75-82.
- White E L & White W B. 1969. Processes of cavern breakdown. National Speleothem Society Bulletin. 30: 115-129.
- White W B. 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. University Press. New York. 464 pp.



Wigley T M & Plummer L N. 1976. Mixing of carbonate waters. *Geochemical and Geochemistry Acta*. 40: 989-995.

Williams P. 2008. *World Heritage Caves and Karst. A thematic Study*. IUCN Report. 34 pp.