

## EL KARST DE MÉXICO (NA III 3)

Ramón Espinasa-Pereña<sup>1</sup>

Aproximadamente 20% del territorio nacional está subyocado por rocas solubles, principalmente calizas y en menor proporción yesos. La mayoría de estas rocas están distribuidas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur, Chiapas y la Península de Yucatán. Las diferencias en estructura geológica y el clima en estas áreas ha resultado en una gran variedad de formas y tipos kársticos que, desafortunadamente, han sido poco estudiadas por geólogos y geomorfólogos. Los primeros trabajos acerca del karst de México se concentran en la península de Yucatán (Mercer, 1896; Casares, 1905; Cole, 1910), o se trata de descripciones de cavernas turísticas (Barcena, 1874; Salazar Salinas, 1922). En 1952 se crea un Departamento de Espeleología en el Instituto de Geología de la UNAM, a cargo del Dr. Federico Bonet. Desafortunadamente tuvo una vida corta y solo se publicaron tres artículos (Bonet, 1953a, 1953b, 1971). Lazzano (1983, 1986) fue el primero en intentar una regionalización del karst de México, pero solamente se publicó un resumen.

La espeleología, como deporte y como ciencia, ha sido realizada en México desde la década de los sesenta del siglo pasado, por un número cada vez mayor de espeleólogos de diversas nacionalidades, que han realizado numerosos descubrimientos importantes. El tiro libre más grande del mundo, algunas de las salas subterráneas de mayores dimensiones del planeta, ocho de las más profundas cavernas, y el sistema hidrológico de mayor desnivel son algunos de los resultados más importantes. Junto con la exploración de cavernas, estos grupos han realizado numerosos estudios acerca de la geomorfología kárstica, que han sido publicados en revistas de divulgación o de circulación restringida y no referenciadas, en particular las publicaciones de la Association for Mexican Cave Studies y de la Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas.

### Metodología

Se analizaron todos los mapas escala 1:50,000 editados por el INEGI que cubren afloramientos de calizas y/ con yesos, y se clasificó el relieve de acuerdo con las características arriba mencionadas (Espinasa-Pereña, 1990a, 1990b). Mediante trabajo de campo se verificaron las condiciones de áreas selectas, apoyado también en el estudio detallado de toda la bibliografía acerca de las cuevas de México. Debido a la obvia diferencia entre el karst de la Península de Yucatán, desarrollado en una extensa plataforma calcárea prácticamente sin deformar, y el del resto del país, desarrollado en sierras sumamente pegadas y afiladas, se analizaron de forma independiente.

### Tipos de karst

De acuerdo con Ford y Williams (1989), las formas kársticas subterráneas (las cuevas) no son controladas climáticamente, si se menosprecia hasta cierto punto el tamaño de las mismas. En contraste, la relación entre las formas kársticas superficiales y el clima bajo el que se desarrollan fue establecida desde muy temprano (Lehmann, 1936; Roglic, 1972; Jennings, 1987; White, 1988). Los riesgos de establecer una clasificación climática de formas kársticas son bien conocidos (las variaciones climáticas durante el Cuaternario son las más evidentes), pero la clara relación que guardan las formas kársticas de México con el clima actual facilitan una clasificación de ese tipo. Debe insistirse en que las formas kársticas actualmente presentes en una cierta región pueden, y en algunos casos deben, haberse desarrollado bajo regímenes climáticos distintos al actual, pero relativamente pocos casos han sido documentados en México. La mayoría de los autores reconocen cuatro tipos de desarrollo kárstico en relación con el clima (Jennings, 1987):

El que se desarrolla en climas templados, caracterizado por presentar campos de dolinas que perforan una superficie geomórfica, pero de la que dejan suficiente para que las dolinas no interfirieran entre sí, será denominado aquí karst subhúmedo, y suele desarrollarse en las partes altas y planas de cerros calcáreos convexos con laderas bastante empinadas. Suele tomarse como parámetro de comparación con los otros tipos de carso.

El karst tropical se encuentra en regiones cálidas y húmedas, y se caracteriza por conspicuos cerros residuales de forma cónica, de cúpula, mogote o torre, separados por grandes dolinas tipo *cockpit* o planicies aluviales (Slagmolen, 1988). En México las formas más típicas son los conos (*keggelkarst*) y las dolinas (*cockpit karst*). En las partes más elevadas de las sierras, en condiciones climáticas frías y húmedas, se desarrolla el karst de bosque lluvioso (*Rain-forest karst*), que presenta dolinas tipo *cockpit* similares a las del karst tropical, pero separadas por aristas estrechas y afiladas. El karst alpino, desarrollado en condiciones periglaciales y caracterizado por pequeñas dolinas embudiformes, glificación de los afloramientos rocosos y una escasez generalizada de suelos, se encuentra en México únicamente en las regiones cumbreales de picos aislados de caliza que alcanzan altitudes superiores a los 3,000 metros, por lo que en éste estudio se cartografió junto con el karst de bosque lluvioso.

El clima árido no es favorable para el desarrollo kárstico, con algunas excepciones. En regiones áridas el relieve consiste en grandes montañas calizas de pendientes abruptas y erosionadas. Como en ellas se

encuentran evidencias de desarrollo kárstico, principalmente cuevas fósiles, en condiciones climáticas distintas a las actuales, se le ha denominado en éste estudio karst fósil.

Karst de las sierras. Ya que el patrón climático en las sierras de México está esencialmente relacionado con cambios altitudinales, es lógico esperar franjas estrechas de tipos kársticos paralelas al patrón de las mismas sierras. Así, encontramos que en la Sierra Madre Oriental, las serranías frontales que miran hacia el Golfo de México presentan un karst tropical; al ganar en altura, las crestas de las sierras presentan un desarrollo kárstico de bosque tropical. Una vez pasado el parateguas y en la sombra pluvial de éste, prevalece el karst subhúmedo, y la abundancia de formas kársticas disminuye progresivamente hacia el oeste y norte, donde las condiciones subáridas, así como el menor número de afloramientos de caliza, resultan en una ausencia casi total de rasgos kársticos (Espinasa-Pereña, 1990a, 1990b). Este patrón es observable tanto en la Sierra Madre Oriental como en las Sierras Orientales de Oaxaca. En la Sierra Madre del Sur los afloramientos calcáreos están más aislados y son perpendiculares a la costa, por lo que el patrón no es tan claro, aunque sigue siendo visible, con la humedad procedente del Océano Pacífico desde el sur. Como las Sierras de Chiapas están localizadas entre el Golfo y el Pacífico, reciben grandes cantidades de humedad tanto del norte como del sur, por lo que los karst tropicales y de bosque lluvioso prevalecen, aunque una banda delgada en la Depresión Central de Chiapas presenta karst subhúmedo a lo largo del valle del Río Grijalva.

En todas las sierras se han encontrado rasgos que indican la presencia de un desarrollo kárstico en al menos una fase anterior, de posible edad Pliocénica. En Coahuila y las Sierras Transversales esta etapa está evidenciada por la presencia de grandes cavidades de origen freático, fósiles, colgadas a mucha altura sobre los fondos de los valles, y ha sido preservada gracias al clima árido. Al sur del Río Purificación, Tamaulipas, la presencia de formas kársticas activas ha prácticamente borrado la evidencia de formas anteriores. La región de Purificación es particularmente interesante, pues muestra claramente la reactivación de galerías freáticas fósiles por nuevos arroyos vadados activos.

El desarrollo kárstico moderno está controlado, además del clima, por la estructura y la litología, y la mayoría de los conductos kársticos (cuevas activas) siguen áreas de mayor fracturamiento o intervalos litológicos particularmente solubles. El relieve existente entre las zonas de captación (sumideros) y las resurgencias crean una gran zona vadosa en la mayoría de las áreas, por lo que la inmensa mayoría de las cavidades exploradas son de origen vadoso, tanto de invasión como de abatimiento del nivel freático (Ford y Williams, 1989); aunque el gran espesor de calizas existente en muchos lugares garantiza una zona freática bien desarrollada, por el momento las exploraciones de cavernas en dichas zonas están apenas comenzando. Las formas kársticas superficiales son claramente condicionadas por el clima existente, lo cual puede indicar un ajuste rápido de dichas formas a cambios climáticos, o por otro lado indicar condiciones climáticas relativamente estables durante el Cuaternario en México. Este es un punto que requiere mayor investigación.

Karst de la Península de Yucatán. La Península de Yucatán representa el afloramiento continuo de caliza más extenso del país. Los principales estudios sobre este karst son los de Isphording (1975), Reddell (1977), y Lugo-Hubp *et al.* (1992). La geología estructural de la Península permite separarla en dos regiones distintas. La planicie del norte es una plataforma recientemente emergida sin prácticamente alguna deformación, a excepción de fallas de orientación noreste a susuroeste. En contraste, los lomeríos y planicies de la porción sur presentan deformación, con echados de hasta 40 grados en la Sierrita de Ticul. La planicie del norte está perforada en numerosos lugares por cenotes, es decir, depresiones kársticas de paredes verticales y que alcanzan el nivel freático local, formados por colapso de galerías subterráneas epifreáticas (Gaona-Vizcaino *et al.*, 1980). Una serie de depresiones mayores están alineadas hacia el este-noreste desde la Sierrita de Ticul hasta la costa frente a la isla de Cozumel. Exploraciones realizadas en los últimos 20 años han llevado al descubrimiento de más de 500 kilómetros de galerías subterráneas inundadas en la costa oriental del estado de Quintana Roo, incluyendo las tres más extensas cavernas subacuáticas del mundo, una de las cuales es también la más larga cavidad de México, con más de 150 kilómetros de galerías interconectadas (Coke, 2004; Meacham, 2005). Estas cavidades representan las resurgencias, en forma de un extenso delta distributivo subterráneo, de un inmenso sistema kárstico, en su mayor parte epifreático, cuya cuenca de captación pudiera extenderse hasta las porciones centrales y sur de la Península. La presencia de estalactitas y estalagmitas, e incluso de restos arqueológicos pre-mayas, indican que estas cavidades estaban secas durante la última era glacial, cuando el nivel del mar se encontraba hasta 100 metros bajo el nivel actual. Se han encontrado también numerosos cenotes de gran extensión vertical, incluso superior a los 100 metros, particularmente en el centro de la Península en los alrededores de Valladolid (Lazzano, 1985). Lugo Hubp *et al.* (1992) han propuesto que dichos cenotes pudieran haberse desarrollado por disolución de brechas de colapso por encima de diapiros de evaporitas que han sido disueltas intraterralmente. En la porción oriental de la Península, depresiones alargadas y algunos lagos pudieran haberse desarrollado como *pojes* asociados a fallamiento normal. Los lomeríos y planicies del sur presentan en su mayor parte un relieve de karst tropical de cúpulas (*Kuppenkarst*) de hasta 100 metros de altitud, con los cerros rodeados de planicies. En la porción norte (Sierrita de Ticul) no presenta drenaje superficial y todas las precipitaciones son captadas de forma difusa por el lapiaz hacia el acuífero kárstico. Se conocen cientos de cavernas de origen freático, fósiles, sin relación con el drenaje actual. En cambio, hacia el sur (Sierra de Bolonchén) se encuentran numerosos cauces de arroyos temporales que suelen terminar en sumideros, los cuales dan paso a cavidades de tipo vadoso de invasión, con tiros verticales y pasajes subhorizontales que rápidamente transmiten el agua captada hasta el nivel freático, donde las exploraciones se han detenido frente a pasajes totalmente inundados. Se considera que estas cavidades pudieran representar las formas de captación de los sistemas kársticos que desembocan en la costa de Quintana Roo.

### Referencias bibliográficas:

Barcena, M. (1874). *Viaje a la caverna de Cacahuamilpa. Datos para la geología y la flora de los estados de Morelos y Guerrero*; La Naturaleza (1a serie), 3, México.

Bonet, F. (1953\*). "Cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla", *Boletín 57*, Instituto de Geología, UNAM, México.

Bonet, F. (1953b). "Datos sobre las cavernas y otros fenómenos erosivos de la Sierra de El Abra", *Memoria del Congreso Científico Mexicano*, 5.

Bonet, F. (1971). "Espeleología de la región de Cacahuamilpa, Gro", *Boletín 90*, Instituto de Geología, UNAM, México.

Casares, D. (1905). "A Notice of Yucatán with some remarks on its water supply", *Am. Antiquarian Soc.*, n. ser., 17.

Coke, J. (2004). "Geography of Caves in Quintana Roo", *Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter* No. 27.

Cole, L.J. (1910). "The caverns and people of northern Yucatán", *Bull. American Geogr. Soc.* 42.

Espinasa-Pereña, R. (1990\*). *Propuesta de clasificación del karst de la República Mexicana*; Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis profesional, 131 p. (inédita).

Espinasa-Pereña, R. (1990b). "Carso", en Ana García de Fuentes, coord., *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Ford, D.C.; P. Williams (1989). *Karst geomorphology and hydrology*, Unwin Hyman, London.

Gaona-Vizcaino, S.; T. Gordillo-de Anda; M. Villasuso-Pino (1980). "Cenotes, karst característico: mecanismos de formación", *Revista del Instituto de Geología* Vol. 4, No. 1, UNAM, México.

Isphording, W.C. (1975). "The physical geology of Yucatán", *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.* 25.

Jennings, J.N. (1987). *Karst Geomorphology*, Basil Blackwell Inc., USA.

Lazzano, S.C. (1983). "Regionalización de los karst de México", *Memorias Primer congreso interno del Instituto de Geografía*, UNAM, México.

Lazzano, S.C. (1985). "Deep Cenotes", *AMCS Activities Newsletter No 15*, Austin, Texas, USA.

Lazzano, S.C. (1986). "Las regiones karstificadas de México", *Comunicaciones*, 9o Congreso Internacional de Espeleología, Barcelona, España.

Lehmann, H. (1936). "Morfologische studien auf Java", *Geog. Abhandlungen* 9 (series 3).

Lugo-Hubp, J.; J.F. Aceves-Quesada; R. Espinasa-Pereña (1992). "Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán", *Revista del Instituto de Geología*, vol. 10, No. 2, UNAM, México.

Meacham, S. (2005). "Jade Pearl Exploration Project, Sistema Ox Bel Ha, Quintana Roo", *Association for Mexican Cave Studies Activities Newsletter* No. 28.

Mercer, H.C. (1896). *The hill-caves of Yucatán*; J.B. Lippincot Co., Philadelphia, USA.

Reddell, J.R. (1977). "A preliminary survey of the caves of the Yucatán peninsula"; *AMCS Bul.* 6, Austin, Texas, USA.

Roglic, J. (1972). *Historical review of morphological concepts; in Important karst regions of the northern hemisphere*, Edited by M. Herak and V.T. Stringfield, Elsevier Pub.Co., New York.

<sup>1</sup> Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas

Salazar Salinas, L. (1922), *A la caverna de Cacahuamilpa en automóvil*; Instituto de Geología, Mexico.

White, W.B. (1988), *Geomorphology and hydrology of karst terrains*, Oxford University Press, New York, USA