

ELS CENOTES DEL YUCATÁN (Mèxic)

per Jordi LLORET* & Montserrat UBACH**

Resum

Generalitats sobre les formes càrstiques tropicals denominades «Cenotes», en base a les dades preses pels autors l'estiu del 1989 a Belize i Mèxic, i durant anys anteriors en altres àrees càrstiques tropicals d'Àsia i Sudamèrica. Després d'una introducció sobre El Yucatán (breus notes geogràfiques i sobre aspectes humans del carst), s'ofereixen diferents aspectes morfològics dels Cenotes i un esquema de llur gènesi i evolució. Es presenten les topografies i algunes observacions sobre 23 d'aquestes formes.

Zusammenfassung

Allgemeines über die tropischen, karstischen Formen, «Cenotes» genannt. Die Basis sind Daten, die von den Autoren im Sommer 1989 in Belize und Mexico und während vergangener Jahre in anderen tropischen karstischen Gebieten Asiens und Südamerikas aufgenommen wurden: nach einer Einleitung über den Yukatan (kurze geographische Anmerkungen und menschliche Aspekte des Karsts) werden verschiedene morphologische Aspekte der «Cenotes» und ein Schema ihrer Bildung und Entwicklung gezeigt. Es werden die Topographien und einige Beobachtungen von 23 Beispielen dieser Form vorgestellt.

Introducció

A l'estiu del 1989 els autors realitzen un seguit d'activitats espeleològiques a la península del Yucatán. A Belize (ex-colònia anglesa, independent des del 1981) visiten els complexos **Caves Branch Cave System** (4,5 km), **Saint Herman's Cave** (12 km) i **Mountain Cow Cave**, a la zona de Caves Branch; **Río Frio Cave** i altres tres cavitats prop d'Augustine, i el carst de Chiquibul River a la selva de Vaca Plateau, on es troba el sistema Chiquibul, amb un recorregut total de 55 km. A Mèxic, exploren les coves de **Balankanché** i **Loitún**, baixen a l'avenc **Xtacumbil Xunaan** al poble de Bolonchén i topografien 23 cenotes (GR 3 o 4 segons els casos).

Aquest article pretén divulgar el **Cenote** com la forma càrstica tropical típica del Yucatán, i introduir-la dins del context de la gran xarxa hipogea yucateca. Les dades que oferim es fonamenten també en les nostres observacions fetes en d'altres carsts tropicals

a diferents països d'Àsia i Sudamèrica, entre els que s'inclou l'illa de Cuba que té morfologies amb certes similituds amb el Yucatán.

El Yucatán

Rep aquest nom la península més sudoriental de Mèxic, ocupada, també, pels països de Belize (costa Atlàntica) i Guatemala (costa del Pacífic). És la terra on es va desenvolupar la civilització maia (500 a.C. - 1540 d.C.). Els habitants actuals es divideixen entre criollos i autèntics successors de l'ètnia maia.

Geològicament, gran part de la península yucateca, especialment el tros corresponent a Mèxic, és constituïda per calcàries del Miocè i Pliocè, molt permeables per fissuració. No hi ha muntanyes ni relleus transcendentals; de fet, les úniques elevacions que trenquen la monotonia del paisatge són centenars de piràmides maies, pendents d'excavació, recobertes de vegetació i regosol. Tot el bloc s'aixeca a una alçada escassa

* S.I.E. del Centre Excursionista Aliga.

** E.R.E. del Centre Excursionista de Catalunya.



sobre el nivell del mar Carib, inferior als 20 metres a molts indrets.

Un altre aspecte característic del Yucatán mexicà (a diferència de Guatemala i Belize), és l'absència de circulació superficial que contrasta amb la gran riquesa hidràulica d'una immensa xarxa subterrània que es desenvolupa interstratificadament. El seu potencial es manifesta en nombrosos punts de tota la geografia peninsular mitjançant els cenotes, totalment o parcial inundats i sovint amb continuacions subaquàtiques horitzontals, i amb sorgències submarines d'aigua dolça.

Durant el Pleistocè, aquesta regió va estar sotmesa a diversos moviments d'ascens i descens del nivell marí, que va arribar a posar-se entre 30 metres per damunt i més de 100 per sota de l'actual línia de costa. Aquestes fluctuacions glaciars i interglaciars van condicionar les corresponents variacions del nivell de base càrstic i, conseqüentment, de la carstificació freàtica profunda.

L'home i el carst

Degut a la sequera superficial, els cenotes van ser decisius pels maies com a principal font d'aprovisionament d'aigua potable. De la mateixa manera que els pobles i ciutats s'han establert al llarg dels segles vora de rius, tots els assentaments dels maies han nascut i han viscut, desaparegut o prosperat, al voltant d'un o més cenotes.

Cada nucli urbà, cada conjunt arquitectònic en runes, té *el seu cenote* i, si bé, actualment, els pobles grans disposen de xarxes artificials de proveïment d'aigua, encara n'hi ha molts de petits que continuen depenent d'aquests pous naturals. En alguns casos s'han semi-urbanitzat per facilitar la seva davallada i s'han convertit en piscines públiques o parcs naturals.

L'antic costum de la civilització maia de fer servir aquestes aigües per oferir regals i sacrificis humans als seus Déus, també ha fet d'alguns cenotes excel·lents jaciments arqueològics subaquàtics, com el famós de Chichén Itzá (HAMMOND, 1988).

Espeleòlegs mexicans i d'altres països com USA o França, han iniciat fa anys exploracions subaquàtiques als cenotes, i han assolit o sondejat fondàries properes als 100 metres (GUZMÁN PEREDO, 1985). A Cuba, on les primeres activitats dels capbussadors

nadius es remunten a principis de la dècada dels seixanta, s'han fet recorreguts subaquàtics per galeries freàtiques horitzontals que desemboquen a cenotes en evolució, la volta dels quals encara no s'ha enfonsat (exemple: Cueva de Juanelo Piedra, Quivicán, Havana). També s'han realitzat connexions entre diferents cenotes a través de galeries inferiors seques penjades sobre l'actual nivell freàtic (exemple: Cueva de Paredones, San Antonio de los Baños, Havana; amb quatre accessos verticals intercomunicats per llurs bases) (NÚÑEZ, 1967).

Els cenotes

Cenote és una castellanització de l'antic mot maia **TZ'ONOT** (cavitat amb aigua). Tot i que s'han presentat diverses propostes per definir aquest concepte (STRINGFIELD & LEGRAND, 1974, citats per LAZCANO et al., 1986; ROBLES RAMOS, citat per NÚÑEZ, 1967, GÈZE & MANGIN, 1980, etc.), nosaltres l'expressaríem com una cavitat càrstica que, en la seva forma arquetípica, compleix aquestes premisses:

– Pou vertical de forma cilíndrica, el·lipsoidal o troncocònica, amb fons format dins d'una capa freàtica corresponent a un nivell de base actual o preactual, que ha pogut haver variat de posició en el decurs del temps per fluctuacions glacioeustàtiques del nivell de base del mar.

– Orifici superior d'accés a la superfície obert per enfonsament del sostre, posterior a l'excavació freàtica del substrat.

Si bé, actualment, hi ha **cenotes** secs, la majoria estan parcialment o total inundats, en contacte directe amb l'aqüífer freàtic. Representen, en definitiva, clares boies d'accés a extenses xarxes freàtiques.

A molts d'altres indrets del món es troben excavacions que responen a mecanismes morfogenètics i evolutius gairebé idèntics, àdhuc a regions càrstiques no tropicals com, per exemple, alguns carsts mediterranis del Pliocè. Núñez-Jiménez en la seva classificació genètica de les coves de Cuba (NÚÑEZ, 1967 i NÚÑEZ et al., 1968) assenyala similituds entre els cenotes de Yucatán i les cavitats cubanes de la «Llanura càrstica Meridional» del model genètic «Aston».

Totes dues regions presenten paral·lelismes en les seves estratigrafia, estructura i paleogeografia. Comparteixen també formes circulars de rascler («Sartenejas» a Yucatán i «Casimbas» a Cuba; noms populars clarament relatius a la seva topografia de «sartenes» i «cachimbas» respectivament).

En certs aspectes, es tracta d'una topografia molt similar al que aquí coneixem com **Avencs d'Enfonsament** (GARAY, 1991), amb la Sima de San Pedro (Oliete, Terol) i el seu gran llac terminal com exemple important i molt conegut.

Foto 1:

Cenote Sagrado, Chichen Itza. Una de les formes de cenote més representatives. Cilindre de 60 metres de diàmetre amb 22 de fondària i de 13 a 20 metres de profunditat de l'aigua.

Autor: Jordi Lloret.



Morfologia i tipologies

Podem classificar els cenotes segons un senzill criteri topogràfic:

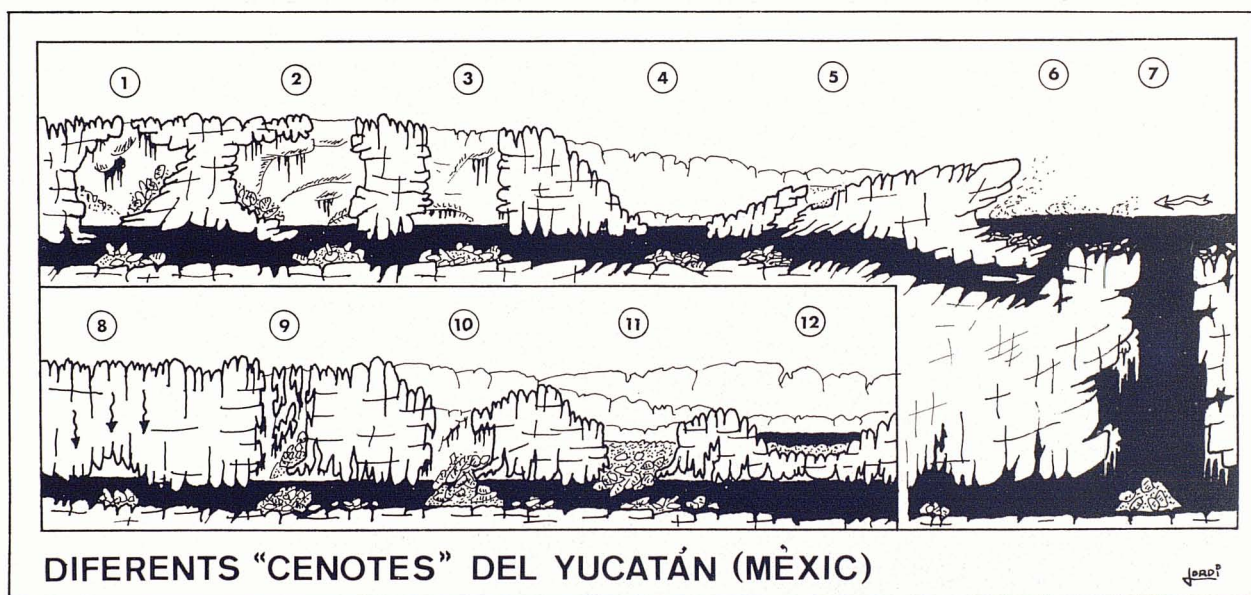
Cilíndric o El·lipsoidal. Els més espectaculars. Pous on la volta s'ha enfonsat, amb dimensions molt variables però que, excepcions apart, oscil·len entre els 10 i 60 metres de diàmetre a la boca i una mica més al fons, i fins a 40 metres de vertical boca - superfície de l'aigua.

Una varietat topogràfica són els que tenen forma d'embut degut a l'acumulació de materials sedimentaris i clàstics que no han estat arrossegats per les aigües.

Cònic. Pous de dimensions similars als anteriors, però que encara conserven gran part del sostre. Només presenten un petit forat a la superfície que permet accedir al pou. En algun cas tenen més d'una boca.

Dins d'aquests dos tipus s'hi troben alguns exemples en que la vertical del cenote està intersectada per una galeria lateral fòssil de tendència horitzontal, possible testimoni d'antics nivells de circulació intermitjos, lligats a paleonivells de base superiors a l'actual.

Inclinat. Realment no es tracta de cenotes en sentit estricte. Semblen més aviat petits engolidors que han aprofitat micro-plecs estratigràfics i que, en



Diferents morfologies de Cenotes:

- 1: Cenote tipus 2 (cònic).
- 2: Cenote transició tipus 2 a 1 (mig sostre).
- 3: Cenote tipus 1 (cilíndric/elipsoidal).
- 4: Cenote tipus 1 sense vertical boca-aigua.
- 5: Cenote tipus 3.
- 6: Sorgència submarina.
- 7: Cenote tipus 1 submari.

Fases evolutives d'un Cenote:

- 8: Cenote en formació: Fase 1ª (infiltració) i 2ª (excavació freàtica).
- 9: Cenote en formació: Fase 3ª (eixamplament per erosió gravitacional) i 4ª (enfonsament i apertura boca). Quimiolitogènesi.
- 10: Evolució del Cenote en Fase 5ª.
- 11: Evolució del Cenote en Fase 6ª.
- 12: Aguada.

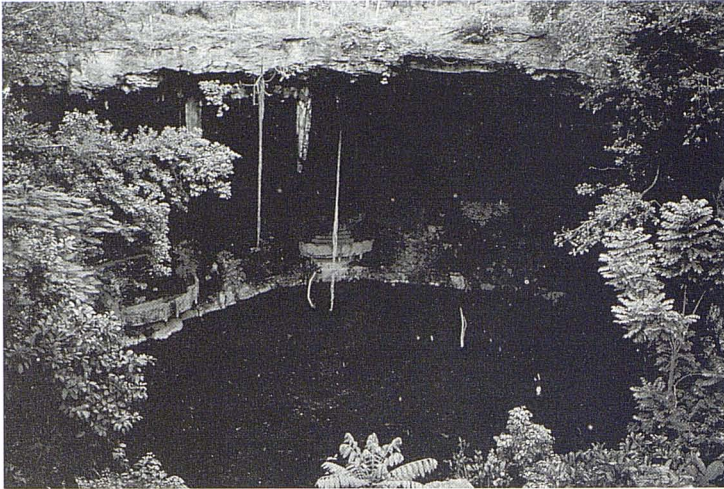


Foto 2:

Cenote Zaci, Valladolid. Bon exemple dels qui encara conserven gran part de sostre, amb instal·lacions per al seu ús com a piscina municipal.

Autor: Jordi Lloret.

alguns casos, també arriben al nivell piezomètric actual. Això fa que puguin oferir els mateixos avantatges d'aprofitament hidràulic, que és el que, en la pràctica, més importa als nadius. Per a ells, aquesta és la diferència pragmàtica entre el que és o no és un cenote.

En funció de la situació de la boca respecte al nivell piezomètric, podem diferenciar dos tipus de cenotes:

Els que presenten separació vertical entre el nivell superficial (boca) i la superfície de l'aigua. Les depressions totalment ocupades per l'aigua, és a dir: quan la superfície topogràfica coincideix pràcticament amb el sostre de la capa freàtica (estany càrstic).

La gènesi de tots dos casos pot estar relacionada amb el nivell freàtic actual. Però també pot tractar-se de formes generades durant anteriors episodis paleogeogràfics, associades amb nivells de base diferents i que ara han tornat a reactivar-se. La manca de separació boca-aigua pot respondre a aquesta possibilitat o, senzillament, a una acusada ablació superficial.

Continuació vertical sota l'aigua

Pous o depressions inundades, la possible continuació dels quals està obstruïda per blocs i sediments. En aquest cas l'aigua flueix per filtració dins del volum freàtic.

Pous o depressions inundats la base dels quals es troba per sobre el nivell marí. Clarament relacionats amb nivells de base actuals o similars, tot i que també poden ser formes paleocàrstiques reactivades.

Pous o depressions (algunes tan grans que semblen llacs) de gran fondària que testimonien la posició del seu fons molt per sota del nivell marí i fins i tot del fons de la mar. Són habituals a la costa oriental i mostren l'existència de pretèrits nivells de base a menor alçada que l'actual.

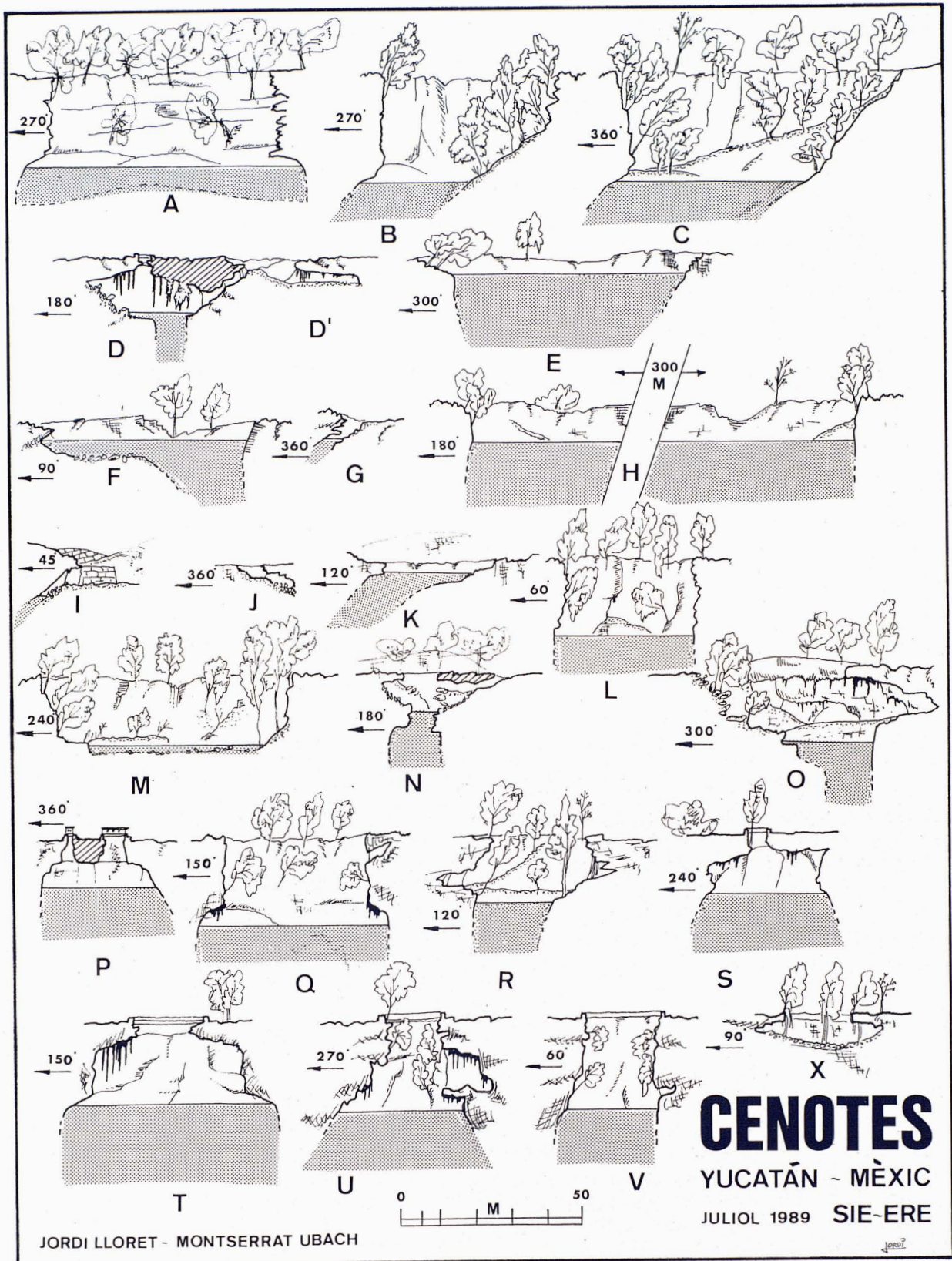
Observacions geomorfològiques:

- (1) Clàssic **cilíndric el·lipsoidal**.
- (2) Forma propera a l'embut: cilindre amb dipòsits heteromètrics que formen pendents a la base.
- (3) Típic **cònic**.
- (4) Associat amb **galeria lateral fòssil**.
- (5) **Estany** cilíndric o el·lipsoidal pràcticament sense separació vertical entre les superfícies epigea i de l'aigua.
- (6) Fals cenote. **Engolidor** inclinat que contacta amb la capa freàtica.
- (7) Gran llac litoral, amb el fons molt per sota del fons marí.
- (8) **Engolidor** fòssil, penjat per sobre de la capa freàtica.
- (9) **Aguada**.
- (10) Encara conserva una gran fracció de la volta.

- (11) Típic **cònic** amb més d'una boca.
- (12) Amb notables **anfractuositats** laterals, testimoni d'antics nivells freàtics superiors.
- (13) Cenote fòssil, només actua filtrant l'aigua de la pluja (Fase genètica. 7).

Observacions sobre utilització humana:

- (14) Antigament: religiosa (ofrenes i sacrificis humans).
- (15) Turística.
- (16) Piscina pública.
- (17) Nàutica.
- (18) Lloc públic d'esbarjo municipal i atractiu paisatgístic.
- (19) Actual pou d'aigua potable.
- (20) Pou d'aigua en desús.
- (21) Àrea d'esbarjo d'un bar.



CENOTES

YUCATÁN - MÈXIC

JULIOL 1989 SIE-ERE

JORDI LLORET - MONTSERRAT UBACH

EXEMPLES TOPOGRAFIATS:

A: Cenote Sagrado (Chichén Itzá) (1) (14). B: Cenote Xtoloc (Chichén Itzá) (2). C: Cenote Yaak-Ek (Kaua) (2). D: Cenote X-Keken (Dzitnup) (3) (4) (15) (16). E: Cenote Golondrinas (Xel-Ha) (5). F: Cenote Zarak (Xel-Ha) (5). G: Cenote de la Cruz Parlante (Felipe Carrillo Puerto) (6). H: Cenote Azul (Bakalar) (7) (17). I: Cenote de (Tulum) (6). J: Cenote de (Kaba) (8). K: Cenote X'Laka (Dzibilchaltun) (5). L: Cenote de

la Iglesia (Cenotillo) (1). M: Aguada de Santo Tomás (Cenotillo) (9). N: Cenote de Uzil (Cenotillo) (3) (4) (16). O: Cenote Zaci (Valladolid) (2) (10) (16) (18). P: Cenote de (Dzitnup) (11) (19). Q: Cenote de (Yocdzonot) (1). R: Cenote Xtogil (Libre Unión) (2) (12) (18). S: Cenote de (Libre Unión) (3) (20). T: Cenote de (Piste) (3) (20). U: Cenote de (Xcatón) (3) (12) (20). V: Cenote de (Cuncunul) (1) (20). X: Cenote (prop de Valladolid) (13) (21).

Continuació horitzontal

Pous amb galeries basals amb circulació d'aigua (i per tant interconnexió hidrològica entre diferents cenotes).

Pous amb galeries basals seques (cas de formes realment aïllades, penjades dalt del nivell piezomètric).

En el primer cas, encara podem establir subdivisions de tipus *Espeleològic*, en funció de si el contacte del pou amb la xarxa anegada hipogea es fa només per fissures impenetrables o per conductes de dimensions accessibles als espeleo-cabussadors.

Les «aguadas»

Els nadius donen el nom d'**aguada** a depressions que també tenen el seu fons envaït per l'aigua, però aquesta, a diferència dels cenotes, resta estancada. Pot ser infiltrada i absorbida cap a la capa freàtica, però no està en contacte directe amb ella i no es veu generalment afectada per les seves fluctuacions ocasionals.

Alguns casos representen formes evolutives de cenotes:

Cenotes penjats sobre el nivell freàtic, amb el fons obstruït totalment pels blocs resultants de la fragmentació i caiguda del sostre i amb potents estrats de sediments que permeten l'acumulació de part de l'aigua meteòrica.

Possibles formes exo-paleocàrstiques corresponents a moments de superior alçada del nivell de base i que no han evolucionat en fondària.

Altres **aguadas** no són més que dolines amb el terra impermeabilitzat per sediments on s'acumula l'aigua de la pluja, o també depressions amb el fons recobert pels antics maies amb lloses cimentades que s'han anat recobrint de detritus després de segles d'abandó.

Blue holes

Es tracta de cenotes en el fons marí i, per tant, enterament desenvolupats sota el nivell piezomètric actual i del tot inundats. Es poden trobar prop o no de la costa i assolir grans desnivells (fins 125 m!). Un exemple cèlebre és la imponent vertical submarina explorada per l'equip del Comandant Cousteau en un atoló, a 80 km mar endins de la costa de Belize.

Es tracta d'evidents testimonis d'anteriors nivells de base a inferior alçada sobre l'actual.

Evolució geomorfològica i paleo-hidrogeològica

NÚÑEZ (1967) i NÚÑEZ et al. (1968) estableixen un model seqüencial en la gènesi i evolució morfològica de la cova tipus **Aston**, similar com hem dit al cenote mexicà, que presentem amb algunes modificacions:

1: Infiltració de l'aigua de la pluja per les diàclasis fins assolir el mantell freàtic.

2: Excavació freàtica a la part superior de la capa (a la inferior, l'aigua està saturada), i començament de la formació d'una cova amb llac sense sortida a la superfície.

3: Eixamplament tridimensional de la cavitat per: descens del nivell freàtic, progressius despreniments dels estrats del sostre i acció meteoritzant de les aigües que baixen des de la superfície per conductes verticals cada cop més amples.

4: La pèrdua de massa subterrània accelera el progressiu enfonsament del sostre. S'arriba a l'inici de l'apertura a l'exterior (fase tipus **cònic**) i segueix l'ampliació d'aquesta boca fins assolir formes cilíndriques d'equilibri; passa per morfologies intermitges tipus **embut** per acumulació de fragments de la volta a la planta.

Aquesta evolució pot continuar de la següent forma:

5: L'acció demoledora freàtica no pot fer desaparèixer els productes procedents de l'enfonsament de volta i parets. Es forma un con d'enderrocs que tendeix a créixer amb aports exteriors. La cavitat, en planta, adopta una topografia d'illa rodejada per un llac o sols una mitja lluna d'aigua, cada cop més reduïda.

6: L'aigua desapareix totalment pel descens del nivell freàtic i/o obstruccions, i queden unes característiques **Anfractuositats** horitzontals en els interestrats (**Nichos de lago fósil**, NÚÑEZ, 1967). El cenote s'han transformat en una cavitat residual, que pot constituir un dels casos d'**aguadas**.

7: Cada cop més lluny de la capa freàtica, la cavitat es va reomplint de sediments, fins a reduir-se a una depressió doliniforme. L'erosió superficial contribueix a la disminució de la profunditat del forat, fins que pot arribar a desaparèixer.

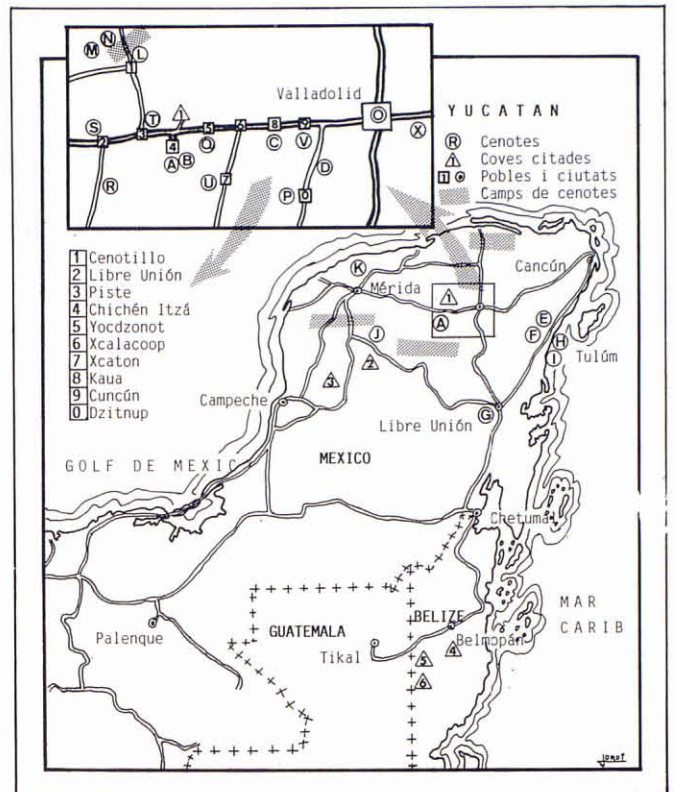
Durant la major part d'aquestes fases, és factible i freqüent la formació d'espeleotemes, especialment estalactites i colades parietals.

Aquesta evolució, a partir del punt **4** o qualsevol dels posteriors, pot seguir camins molt diferents:

5.A: En cenotes formats durant un episodi glacial, amb un nivell de base inferior a l'actual, el posterior ascens de les aigües inunda totalment o parcial la cavitat o les seves restes.

Es poden reactivar els processos de dissolució freàtica i d'eixamplament tridimensional gravitacional. Les formes resultants dels processos precedents són retocades: els sediments obstructors desapareixen, i queden pous nets i pregons; abunden espeleotemes

1: Cova de Balankanche. 2: Cova de Lolturn. 3: Avenc Xtacumbil-Xunaan (Bolonchen). 4: Caves Branch Cave System i Saint Herman's Cave (Caves Branch). 5: Rio Frio Caves (Augustine). 6: Chiquibil Cave System (Vaca Plateau).



sota l'aigua. Aquest és el cas de molts cenotes de Yucatán i **Blues holes** de l'àrea Golf de Mèxic - Mar Carib.

I pel contrari, en cenotes formats durant un episodi interglacial o sota condicionants topogràfics que impliquessin un nivell de base superior a l'actual, la posterior profundització de la capa freàtica donaria lloc a:

5.B: Fase de transició amb circulació fluvial en règim lliure als pretèrits conductes horitzontals freàtics, eixamplant-los. Sincrònicament, els pous deixarien a la vista, a la seva base, les **anfractuositats** pròpies de l'antiga dissolució freàtica parietal.

6.B: Formació de grans galeries amb les macro-dimensions pròpies del carst tropical, amb rius hipogeus de gran cabal, notables desprendiments clàstics i concrecionaments massius. Un bon exemple és la cova de **BALANKANCHÉ**, molt a prop de Chichén Itzá.

7.B: En aquesta possibilitat evolutiva, els primitius cenotes contribueixen, junt amb la normal apertura de noves boques per enfonsaments locals de la volta, a donar la típica morfologia de **claraboies** de moltes coves tropicals.

8.B: La incidència de factors acceleradors del procés, amb progressives coalescències de diferents caigudes de sostre, arriba cap a la morfologia exocàrstica, també clàssica del carst tropical, de grans depressions (**Valls tancades**) aïllades entre trams encara subterranis.

9.B: En un estadi molt més avançat d'aquesta seqüència, l'anastomosi entre depressions d'aquesta mena properes i nous enfonsaments a les coves, condueix als també típics paisatges ruïniformes: superfícies

d'erosió esquitxades de turons residuals aïllats (com els **Mogotes** de Cuba), travessats per galeries subterranies fòssils i actives.

Això no vol dir que aquesta possible seqüència sigui sempre la responsable d'aquestes peculiars morfologies exocàrstiques tropicals. Altres mecanismes diferents, sense fases intermitges del tipus cenote, poden donar lloc a d'altres tipologies evolutives, que finalment degenerin en resultats similars.

De tota manera, el que hem dit és només una simplificació del tema. L'històric evolutiu dels cenotes yucateques i de les morfologies exo i endocàrstiques tropicals respon a esquemes molt més complexos. Alguns o molts dels fenòmens poden haver sofert varis episodis alternatius d'aixecament i descens del nivell marí i, per tant, diferents períodes de reactivació iniciats al mig de qualsevol fase del procés anterior, fins i tot sota condicionants paleoclimàtics desiguals. La correcta interpretació d'aquest ampli ventall d'accions i interaccions morfogenètiques i paleogeogràfiques requereix un estudi profund.

Bibliografia

- GARAY, P. (1991): «El riesgo de colapso kárstico y su incidencia en la Comunidad Valenciana». *Lapiaz (València)*, 20: 25-30.
- GÉZE, B. et MANGIN, A. (1980): «Le karst de Cuba». *Revue de Géol. Dynam. et de Géogr. Physique (Paris, França)*, 22 (2): 157-166.
- GUZMÁN PEREDO, M. (1985): «Paisajes e imágenes de México». Ed. C. de L. (Barcelona), 202 pp.
- HAMMOND, N. (1988): «La civilización maya». Ed. Istmo & J.M.G.T. (Madrid), 366 pp.

- LAZCANO, C.; SÁNCHEZ y PINTO, I. (1986): «Estudio preliminar de los cenotes y cavidades del área de Homum - Cuzama, Estado de Yucatán, México». Comunic. 9è Congr. Internac. d'Espel. (Barcelona), I: 104-106.
- LLORET, J. (1989): «Viatge espeleològic al Yucatán (Mèxic) i Belize». Circ. C. E. Aliga (Barcelona), 301: 7-8.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A. (1967): «Clasificación genética de las cuevas de Cuba». Ed. Academia de Ciencias (La Habana, Cuba), 218 pp.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A.; PANOS, V. y STELCL, O. (1968): «Carsos de Cuba». Serie Espeleol. y Carsol. (La Habana, Cuba), 2: 1-47.