



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROPUESTA DE CLASIFICACION DEL KARST DE LA
REPUBLICA MEXICANA**



Instituto de Geografía

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

RAMON ESPINASA PEREÑA

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE LUGO HUBP

CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.

1990

TGg 0844



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-037

SR. RAMON ESPINASA PEREÑA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. José Lugo Hubp, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

**PROPUESTA DE CLASIFICACION DEL KARST DE LA
REPUBLICA MEXICANA**

- I GENERALIDADES
- II CONDICIONANTES DEL DESARROLLO DEL KARST
- III CLASIFICACION DE ZONAS KARSTICAS; PROCEDIMIENTO
CARTOGRAFICO
- IV EL KARST DE MEXICO
- V APLICACIONES
- VI CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 7 de marzo de 1990
EL DIRECTOR

DANIEL RESENDIZ NUÑEZ



Instituto de Geografía

**A mis padres
A Ruthy, por creer en mí**

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION _____	1
1.-EL KARST, GENERALIDADES _____	3
2.-CONDICIONANTES DEL DESARROLLO DEL KARST _____	16
3.-CLASIFICACION DE ZONAS KARSTICAS _____	27
4.-EL KARST DE MEXICO _____	37
5.-APLICACIONES _____	103
6.-CONCLUSIONES _____	109
BIBLIOGRAFIA _____	112
ANEXO 1	
CLASIFICACION DEL KARST DE LA REPUBLICA MEXICANA ____	MAPA
ANEXO 2	
INDICE DE FIGURAS Y FUENTE _____	123
ANEXO 3	
LISTAS DE LAS MAYORES CAVIDADES DE MEXICO _____	125
ANEXO 4	
UBICACION DE LAS CAVERNAS MENCIONADAS _____	127



1977. Bibliografía

INTRODUCCION

=====

Durante los últimos veinte años, la espeleología (ciencia que estudia las cavernas) ha tenido un gran desarrollo en México. Los primeros descubrimientos datan de los años sesentas, y han ido en aumento. En 1960 se fundó en Texas, USA, la Association for Mexican Cave Studies (AMCS). En 1965 se descubrió el sótano de Las Golondrinas, en S.L.P., que a la fecha sigue siendo el mayor tiro libre del mundo (376 m). Poco después, en Huautla, Oax. se exploró el sótano de San Agustín, que con una profundidad de -612 m pasó a ser la cavidad más profunda de América (desde entonces, nuevas exploraciones y conexiones con otras cavidades la han situado, con 1,353 m de profundidad y 52.6 km de longitud, en cuarto lugar respecto a las mayores cavidades del mundo). En el planeta hay 35 cavidades exploradas con una profundidad mayor de mil metros, de las cuales cinco se encuentran en México. Hay quienes dicen que nuestro país es a la espeleología lo que el Himalaya al montañismo, tanto por su importancia como por la cantidad de expediciones provenientes de otros países que vienen a México a explorar.

Paralelamente con la exploración de cavernas, estas expediciones han realizado estudios geomorfológicos y geohidrológicos sobre las zonas kársticas en que se desarrollan las cavidades que exploran, cuyos resultados se comentan más adelante. En cambio, son pocos los estudios realizados sobre este tema por mexicanos. En 1952, bajo la iniciativa del Dr. Federico Bonet, se creó en el Instituto de Geología de la UNAM un Departamento de Espeleología; éste realizó tres campañas de exploración, cuyos resultados fueron publicados (Bonet, 1953a, 1953b, 1956, 1971). En el Instituto de Geografía (UNAM) López Santoyo (1971) publicó un trabajo sobre el relieve kárstico de Valle de Bravo.

En 1980 se fundó la Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas (SMES), dando así comienzo a la exploración sistemática de cavidades por mexicanos, y a la publicación de sus resultados.

Desde hace tiempo se ha notado la necesidad de realizar una regionalización de las zonas kársticas de la República Mexicana (Lazcano, 1983f), puesto que más del 20 % del territorio nacional está afectado por este proceso geológico. Debido a su relación con la espeleología, y a que se toma ésta más como un deporte que como una ciencia, los estudios sobre karst en México han estado siempre relegados y no se les ha dado la importancia que merecen. Por ello se pretende, en este trabajo, hacer una regionalización de zonas que presentan karstificación y un análisis de la importancia de este fenómeno en cada área, plasmando esta información en un mapa (Anexo 1); así como describir los rasgos kársticos mayores explorados hasta la fecha, para mostrar la importancia que tienen, no sólo a nivel local o nacional, sino también a nivel mundial.

En el primer capítulo se exponen los aspectos más generales sobre el desarrollo y evolución del karst en rocas carbonatadas, mientras que en el segundo se ve cómo este desarrollo es afectado por variaciones en la litología, estructura y clima. El tercer capítulo es una explicación del método que fue utilizado para clasificar las distintas zonas kársticas del país, basado principalmente en la expresión topográfica en las cartas 1:50,000 del INEGI, y en la morfología de las cavidades exploradas en dichas zonas. En el capítulo 4 se hace una descripción detallada y sistemática de cada una de las zonas kársticas encontradas. En los capítulos 5 y 6 se exponen las aplicaciones y conclusiones del trabajo.

Quiero expresar aquí mi agradecimiento a todas las personas que han cooperado en la elaboración de este trabajo. En primer lugar a Peter Sprouse, de la AMCS, por haberme facilitado el acceso a todos los resultados de los trabajos realizados por su organización, así como por permitir la reproducción de gran cantidad de mapas de cavernas elaborados por ellos. A los miembros del Proyecto Espeleológico Purificación, por invitarme a participar en sus exploraciones en Purificación y Tecolote, gracias a las cuales pude analizar de primera mano una de las zonas karsticas más impresionantes de México. A los integrantes del Groupe Speleo Alpin Belge (GSAB) por compartir los datos sobre sus exploraciones, casi al mismo tiempo que las realizaban. De igual manera, a los miembros de la Commissione Grotte Eugenio Boegan (CGEB), del Circolo Speleológico Romano (CSR), de la Black Holes Expedition, de la Expe Sous Sierra y de la Société Québécoise de Spéléologie (SQS).

Quiero agradecer también al personal de las mapotecas del Instituto de Geografía de la UNAM y de la ENEP Acatlán, por facilitarme en lo posible el proceso de consulta de las cartas topográficas y geológicas de todas las áreas con litologías karstificables.

Al doctor José Mateo, director de la Fac. de Geografía de la Universidad de La Habana, Cuba, y a los doctores Zoltán De Cserna, Eduardo Aguayo, Ma. Luisa Machain, Adolfo Molina Cruz y Victor Malpica quiero agradecerles las sugerencias y comentarios realizados, que influyeron en la presentación definitiva del mapa.

Mención especial merece Carlos Lazcano, tanto por haberme iniciado en las técnicas espeleológicas modernas, como por las múltiples sugerencias y comentarios realizados a este trabajo. Quiero mencionar también a todos mis compañeros de la SMES, por haber compartido muchas exploraciones en cavernas, soportado todos mis comentarios sobre espeleogénesis y haberme brindado su amistad y apoyo; sobretodo a Ruth Diamant, inseparable compañera en momentos oscuros de mi vida.

También quiero mencionar a mis sinodales, Ing. Miguel Vera, Dr. Jaime Barceló, Maestro Hector Macías e Ing. Gilberto Silva por sus comentarios y sugerencias al trabajo escrito.

Quiero hacer patente mi muy especial agradecimiento al Dr José Lugo Hubp, director de esta tesis, por fomentar los estudios respecto al karst de México, por su apoyo constante, por sus críticas y sugerencias a lo largo de la elaboración de este trabajo, y por su amistad.

CAPITULO 1

EL KARST, GENERALIDADES

DEFINICION

Se conoce como **KARST** al "conjunto de formas originales del relieve que se producen en localidades compuestas por rocas fácilmente solubles: yeso, calizas, dolomías, sal. Lo más característico para el karst son las formas negativas del relieve" (Lugo, 1989). El término "karst" proviene del servo-croata y significa "campo de piedras calizas", y es el nombre de una región en la península de Istria, al norte del mar Adriático, donde se realizaron los primeros estudios científicos sobre la circulación del agua en las calizas, y en general sobre el conjunto de fenómenos relacionados con la disolución de las rocas por el agua (Cjivic, 1893).

Debido a que las calizas son las rocas solubles más comunes, se dice que la geomorfología kárstica estudia las formas del relieve terrestre desarrolladas en regiones calcáreas, pero también puede referirse a formas similares desarrolladas en otras rocas solubles, como yeso, dolomía y sal.

De la misma manera, la hidrogeología kárstica "estudia la circulación del agua en las rocas calizas y rocas solubles en general" (Llopis, 1970).

Pudiera decirse que el inicio de los estudios sobre el karst se debió a Jovan Cjivic, al publicar en 1893 "Das Karstphänomen", trabajo dedicado principalmente a la descripción de las formas del relieve de la región de Karst, en los Alpes Dináricos, en lo que actualmente es Yugoslavia. Es por eso que muchos de los términos aplicados a las formas del relieve son de origen eslavo, como "dolina", "polje" y "uvala".

La evolución de las ideas sobre el karst pueden encontrarse en Llopis (1970), Roglič (1972), Herak and Stringfield (1972) y Sweeting (1981), entre otros, y por tanto en este capítulo sólo se expondrán, de manera general, las teorías de mayor aceptación actualmente.

CORROSION

La principal característica del karst, en cuanto a su origen, es que se desarrolla en rocas solubles. Además, al disolverse, estas rocas no deben dejar prácticamente ningún residuo sólido, pues en caso contrario estos residuos rápidamente colmarían cualquier vacío creado por la solución. En el caso del yeso, anhídrita y halita o sal, no existe problema, pues son solubles directamente en el agua, sin dejar residuos, mediante un proceso físico reversible. No es así en las calizas y dolomías, que son las principales litologías con desarrollo kárstico. En éstas, el desarrollo del karst depende del fenómeno llamado corrosión, que

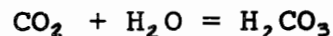
usado en el sentido geomorfológico, se refiere a "la destrucción de las rocas por disolución química y remoción de la sustancia mineral" (Lugo, 1989).

La disolución de la caliza y/o dolomía es el problema central de la karstificación. En el siguiente desarrollo de los procesos que intervienen, se sigue primordialmente a Bögli (1980):

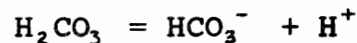
La corrosión se efectúa en un sistema de sustancias del tipo $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-MeCO}_3$ (Me: Ca o Mg), en el cual ocurren los siguientes fenómenos:

1.- Durante la precipitación de lluvia, el CO_2 atmosférico se disuelve en el agua.

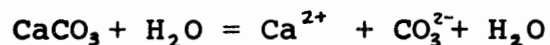
2.- El bióxido de carbono físicamente disuelto reacciona con el agua para formar ácido carbónico:



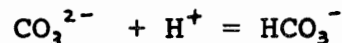
3.- Como se trata de un ácido fuerte, el ácido carbónico está completamente disociado (primer nivel de oxidación):



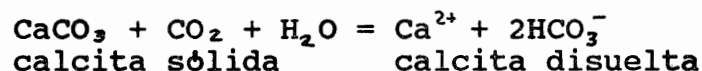
4.- Cuando el agua entra en contacto con la roca carbonatada, los iones son liberados de su estructura cristalina:



5.- El recién creado CO_3^{2-} se asocia con el H^+ del paso 3:



Así puede encontrarse la muy conocida y usada fórmula para la disolución de las calizas:



En el caso de que el Mg también participe en el proceso de disolución, las condiciones en el contacto roca/solución son mucho más complejas; incluso, se debiera incluir la disociación del agua ($\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$); sin embargo, en condiciones naturales esta porción de iones no es importante, pues los valores extremos de pH requeridos no son alcanzados en el karst.

Todas estas reacciones son reversibles, dependiendo de la presión parcial de bióxido de carbono en el aire, por lo que puede tanto disolverse como precipitarse calcita, según la presión parcial. También se ha visto que la solubilidad de la calcita varía inversamente con la temperatura, es decir, es más soluble a temperaturas bajas que a elevadas (Picknett, 1973).

Bögli (1980) establece también que el agua en equilibrio se vuelve corrosiva de nuevo cuando se mezcla con otras aguas con diferente concentración de iones de calcio, proceso al que denominó "Corrosión por Mezcla".

CINETICA KARSTICA

Como la mayor parte de los fenómenos kársticos se dan en las rocas calizas, a partir de aquí se hará referencia a esta litología, haciendo abstracción de las demás rocas solubles. En el capítulo 2 se hablará, según la litología de que se trate, de los cambios en estos principios generales.

La disolución en el interior de la caliza puede ser de dos tipos: partiendo de la permeabilidad primaria (interparticular, superficies de estratificación, etc.) o bien de la permeabilidad secundaria (macro y microfracturas y fallas). La primera sólo tiene importancia cuando la roca original es sumamente porosa (ejem: brechas calcáreas, depósitos pre y post arrecifales), ya que si el agua penetra exclusivamente por las superficies de estratificación, en una caliza poco o nada permeable, sólo podrá actuar sobre dicha superficie, sin pasar de una a otra, por lo que el único fenómeno que se podrá apreciar es una excavación de la sup. de estratíf., quedando en saliente el cuerpo del estrato.

En cambio, cuando también existe permeabilidad secundaria por fracturas (o una permeabilidad interparticular muy importante) el agua puede migrar a lo largo y ancho de la masa caliza, y actuar en casi cualquier punto de ella.

No obstante, los planos de estratificación y/o fracturas y fallas no son las zonas óptimas para la circulación del agua (y consecuente disolución de la roca), sino que ésta será máxima en la intersección de dos de estos planos. En estas intersecciones se juntan dos soluciones de continuidad que determinan la generación de un conducto incipiente por el que el agua penetrará con mayor facilidad. La masa caliza está generalmente dividida por múltiples planos de fracturas y fallas, que junto con las superficies de estratificación le dan una estructura de bloques paralelepípedos de tamaños múltiples, dependiendo del carácter de las fracturas, fallas y planos de estratificación. Como estas tres actúan de la misma manera, es decir, como fisuras, a partir de aquí se les denominará de esta forma, a menos que se quiera tratar de algún carácter específico de ellas.

Con esto se puede observar que, como concluye Llopis (1970), "las zonas de máxima disolución de la masa caliza están en razón directa de la máxima densidad de fisuración."

Para que exista circulación de agua en el interior de un macizo calcáreo, y por tanto karstificación, se requiere de una cierta densidad de fisuración, y además que exista entrada de agua en un lugar (zona de absorción) y salida de la misma en otro sitio (zona de emergencia), y entre ambas un cierto desnivel que proporcione el suficiente gradiente hidráulico para la circulación de agua. Si no se cumple este último requisito, las fisuras se llenarán de agua, que al estar estancada, rápidamente quedará saturada, sin disolver el suficiente material para crear un relieve kárstico.

Suponiendo entonces un macizo calcáreo de suficiente espesor, con comunicación directa entre la zona de absorción y la de emergencia mediante un sistema de fisuras (fig 1), se establecen las siguientes zonas hidrodinámicas del karst, basado en Sokolov (citado por Llopis, 1970):

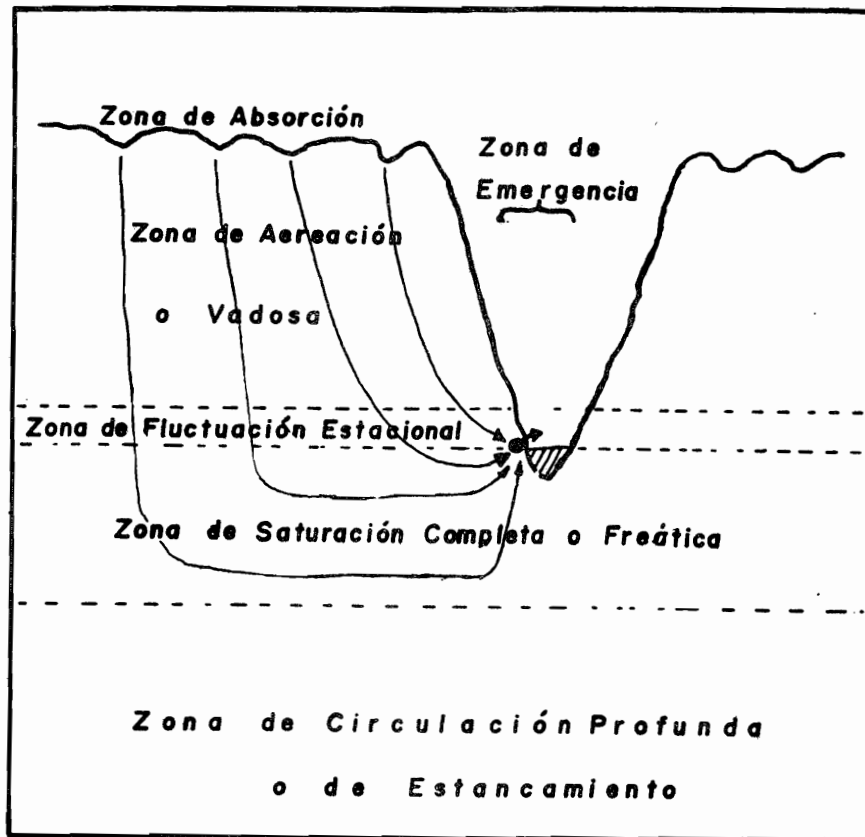


Fig. 1.- Holokarst

1.- **Zona de absorción.**- Las aguas de precipitación atmosférica y de ríos epigeos se infiltran en el macizo calcáreo. La infiltración no es uniforme; se realiza en función de anisotropía en la litología, predominio de fisuración y tipo de afloramiento. El agua se carga de bióxido de carbono, de origen bioquímico, que depende de la cubierta de suelos y está influenciado por el clima y la vegetación.

2.- **Zona de aereación o vadosa.**- Predomina el movimiento descendente de las aguas de infiltración o aguas vadasas. En ocasiones es característica de esta zona la presencia de aguas colgadas. La zona tiene un espesor variable, de hasta varios cientos de metros. El movimiento está influenciado por la energía del relieve, la red fluvial, las condiciones de fisuración y variaciones litológicas. El agua está subsaturada en carbonatos.

3.- **Zona de fluctuación estacional.**- Es transicional y puede pertenecer a la zona vadosa o a la freática alternativamente, dependiendo de la infiltración, de la falta de uniformidad en la karstificación y de la amplitud de fluctuación del nivel del agua subterránea. Viene a representar el "nivel freático kárstico". Su desarrollo depende de muchos factores, como precipitación, presencia de aguas colgadas, nivel de ríos epigeos, comunicación entre conductos kársticos, etc. Las aguas son agresivas, debido al proceso de corrosión por mezcla.

4.- **Zona de saturación completa o freática.**- El movimiento del agua está impuesto por la red de drenaje epigeo local. Es la

"zona freática kárstica". La circulación es constante. En la parte superior el flujo es casi horizontal hacia la zona de emergencia, y en las zonas más profundas la circulación es casi vertical hacia los puntos de desagüe. Los límites de esta zona son muy complejos y dependen de muchos factores. Las aguas están subsaturadas debido a su renovación constante y a la corrosión por mezcla.

5.- Zona de emergencia.- Las aguas que han circulado por el macizo calcáreo, a través de las zonas anteriores, desembocan a la superficie en esta zona. La circulación se vuelve epigea, mediante manantiales masivos o dispersos. Las aguas pueden estar subsaturadas o en equilibrio, pero en general están sobresaturadas al perder bióxido de carbono hacia la atmósfera.

6.- Zona de circulación profunda o estancamiento.- Sin relación con el drenaje epigeo y casi sin conexión con el drenaje de las zonas anteriormente descritas. Está poco estudiada y se caracteriza por la lenta y en ocasiones nula renovación de las aguas. La dirección de flujo, en caso de haberlo, tiene control estructural, y la ubicación de las zonas de desagüe está generalmente muy alejada. Las aguas sufren grandes transformaciones en su composición química, aunque generalmente están saturadas, por lo que no juegan ningún papel en la karstificación.

En el caso de presentarse todas las zonas hidrodinámicas, se dice entonces que se está en presencia de un **holokarst**; si por otro lado, falta alguna o varias de ellas (por ejemplo, las zonas de fluctuación estacional, saturación completa y circulación profunda) debido a condiciones geológicas especiales, se denomina entonces **merokarst** (Llopis, 1970) (fig 2). Como se puede ver, el desarrollo del karst también depende de la evolución del relieve superficial en los valles donde se ubican las emergencias.

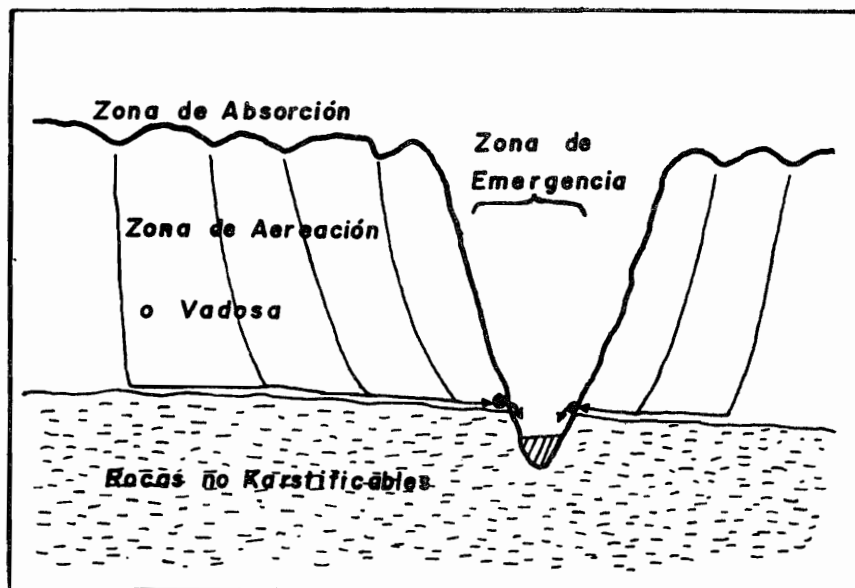


Fig. 2.- Merokarst

ORIGEN DE LAS FORMAS KARSTICAS

De acuerdo con lo anterior, se puede estudiar a las formas kársticas clasificadas en seis grandes grupos:

- 1.- Formas superficiales (lapiaz).
- 2.- Formas de absorción.
- 3.- Formas de conducción.
- 4.- Formas de emisión.
- 5.- Formas de colapso.
- 6.- Formas reconstructivas.

1.- Formas superficiales.- En esta categoría se encuentran las formas que resultan de la disolución de la roca, tanto en la superficie como en las porciones cubiertas de suelo, y reciben el nombre genérico de "lapiaz". Ya desde los trabajos de Heim (1878) se hace un intento por clasificar a este tipo de formas. Posteriores autores han realizado nuevas clasificaciones, pero en todas se observa el problema de no reconocer que el lapiaz está jerárquicamente organizado, es decir, las formas menores aparecen sobrepuestas a las formas mayores. Observando esto, Allen (1984) realizó una clasificación en la que las formas más comunes están divididas en tres órdenes, con base en la escala general y la superposición. Dicha clasificación puede observarse en la fig. 3. Estas formas dependen, en su mayor parte, de la precipitación, la agresividad de las aguas, la temperatura y la cubierta de suelo existente.

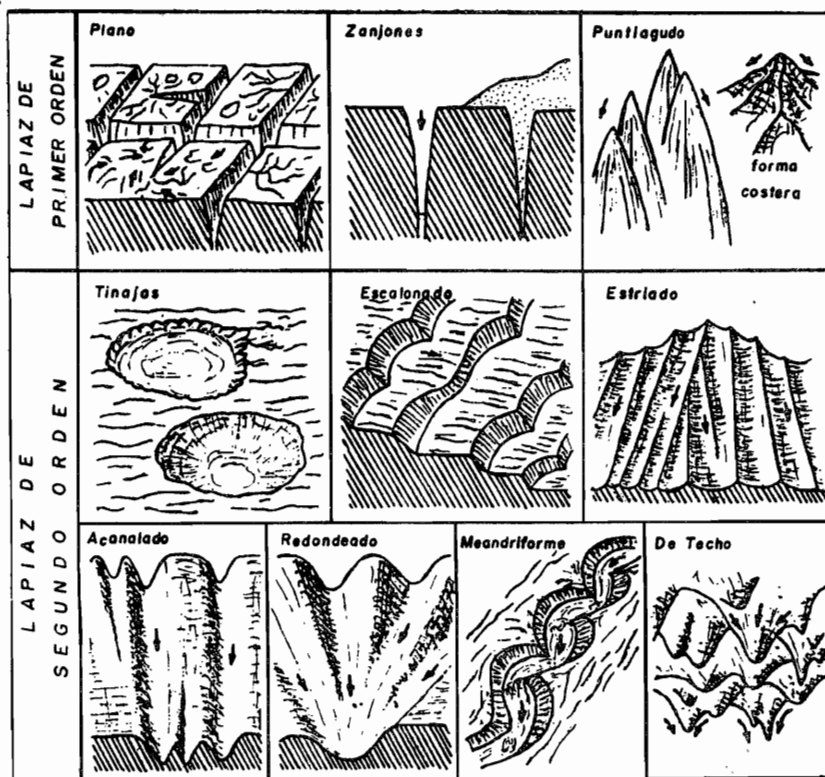


Fig. 3.- Tipos de Lapiaz (Allen, 1984)

2.- Formas de absorción.- Las formas de absorción son aquellas por las que el agua va a penetrar en el macizo kárstico, y se dividen en dos tipos principales: formas cerradas, en las que la absorción se realiza lentamente, y formas abiertas, en las que el agua puede penetrar en masa. En general, se sigue a Llopis (1970) en la explicación que sigue:

2.1.-Formas de absorción cerradas:

Dolinas de disolución.- El resultado de la infiltración del agua en la intersección de dos fisuras es la creación de una zona de máxima disolución, y como consecuencia, una mayor emigración de caliza disuelta hacia abajo y la consiguiente pérdida de volumen del conjunto. Este fenómeno tiene por núcleo la intersección de fisuras citada, y va disminuyendo concéntricamente a partir de este punto hasta anularse. Se produce entonces un hundimiento lento en toda la zona afectada a partir de su centro, que origina una depresión circular, embudiforme, llamada "dolina".

En algunos casos los residuos sólidos debidos a las impurezas de la caliza forman una arcilla de color rojo, llamada "terra rossa", que puede depositarse en el fondo de la dolina, rellenándola parcialmente, con lo cual adquiere un fondo plano.

En el caso de que la intersección de las fisuras que dieron origen a la dolina también se haya ampliado, en el fondo de ésta se encontrará una sima o ponor, y se tratará entonces de una forma de absorción abierta.(fig. 4)

Se emplea el nombre de dolina de disolución para diferenciarlo del de dolina de colapso, que se tratará más adelante.

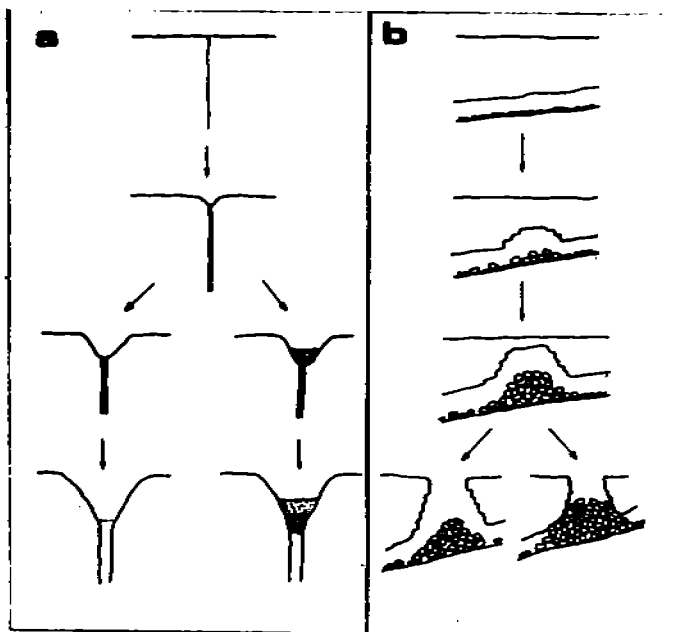


Fig. 4.- a) Dolinas de Disolución; b) Dolina y/o cavidad de colapso

Uvala.- Cuando las dolinas evolucionan más rápido en amplitud que en profundidad, es frecuente que los bordes de dos o más individuos próximos se conjuguen, formando una depresión más extensa llamada uvala. Estas depresiones tienden a adquirir formas elipsoideas o ameboidales, según el número de dolinas originales. Como las dolinas generalmente se encuentran formando campos (en zonas muy fracturadas) o alineaciones (sobre una fisura principal), la generación de uvalas es muy común.

En general, uno de los puntos de absorción originales toma predominancia, por lo que es frecuente que cada uvala presente un solo ponor o sima, aunque no son raras las que presentan más de uno.

Poljes.- Se trata de la forma de absorción de mayor extensión superficial. Según Lugo (1989) se trata de una gran depresión kárstica, amplia y cerrada, con fondo plano y laderas empinadas, de desagüe endorreico, y se origina a lo largo de grandes fracturas o fallas; puede ser seco, tener un curso de agua o estar inundado de forma permanente o temporal.

Para algunos autores (Llopis, 1970) es el siguiente paso en la evolución de las dolinas-uvalas-poljes. Para otros (Bögli, 1980) es necesario que esté situada sobre un gran accidente tectónico (falla o fractura), mientras que para otros (Milanović, 1981) la característica esencial de los poljes es que en ciertas épocas sirven de formas de absorción y en otras, de emergencia, inundando el fondo. Para efectos de este trabajo, se toma la definición de Lugo (1989), añadiéndole además que el fondo de la depresión debe estar formado también de calizas, aunque puede estar relleno de material aluvial o terra rossa.

Valles muertos.- Son valles epigeos que han dejado de funcionar a consecuencia de la karstificación a lo largo de su cauce y en la región de sus cabeceras. Son en cierto modo formas de absorción, puesto que aún son susceptibles de activarse durante grandes precipitaciones. No deben confundirse con los sumideros o valles ciegos de los que se hablará más adelante.

2.2.-Formas de absorción abiertas:

Simas o Ponoros.- Cuando una dolina evoluciona más en profundidad, las fisuras se han ampliado lo suficiente y se encuentra en comunicación más o menos directa con formas de conducción desarrolladas, se origina una sima o ponor que, en general, tiene forma vertical.

El fondo de la sima puede estar en comunicación directa con formas de conducción, pero en la mayoría de los casos esta comunicación estará bloqueada, al menos para el hombre, por residuos de material de derrumbe de las paredes de la misma sima, por rellenos de terra rossa o por depósitos aluviales. En otras ocasiones, será demasiado estrecha para permitir el paso.

Cuando estas formas pertenecen a karstificaciones preactuales o han dejado de estar activas, pasan a ser formas residuales, fósiles, caracterizadas porque la superficie topográfica actual está situada a un nivel inferior al que tenía en el momento de generarse la sima, por lo que no queda más que un

fragmento del tubo conductor, y tienen el fondo generalmente obstruido por sedimentos y material de derrumbe.

Sumideros y valles ciegos.- Cuando el cauce de un río, sea temporal o permanente, termina en una sima, donde es absorbido masivamente, se le llama a veces sumidero, pero es más correcto denominarlo sima activa. Cuando un río formado fuera del macizo kárstico penetra en él, se produce una captura, originándose una forma de conducción capaz de transportar todo o parte del caudal del mencionado río, la cual generalmente tiende a ser de forma más horizontal que una sima, y no tiene comunicación con el resto del sistema kárstico desarrollado en dicho macizo. La entrada a este conducto es lo que se conoce como sumidero. En ocasiones esta absorción se hace de manera difusa, mediante varios sumideros, y en otras se hace masivamente, en uno sólo.

El término valle ciego se aplica al cauce de un río originado en el exterior del macizo calcáreo y que termina en uno o varios sumideros. En la mayoría de los casos puede reconocerse el cauce previo a la captura, mediante la ensilladura o valle colgado o muerto que puede apreciarse más allá del sumidero.

3.- Formas de conducción.- A esta categoría pertenecen formas muy mencionadas pero respecto a las cuales hay muchos conceptos erróneos: las cuevas, cavernas, grutas, etc.. Desgraciadamente, muchos autores les restan importancia, y se dan casos de trabajos de geomorfología kárstica en los que son sencillamente ignoradas.

Con respecto a su origen, se han desarrollado multitud de teorías, que se dividen en varias escuelas, según la zona hidrodinámica que consideran de mayor importancia en la formación de cavidades. Entre los que consideran que las cavidades se desarrollan por la acción de las aguas vadasas, en la zona de aereación, se pueden citar a Martel (1894, 1908, 1911), Trombe (1952, 1969, 1974), Bonet (1971) y Renault (1971). Por otro lado, Davis (1930) y Bretz (1942, 1955) consideran que las cavernas tienen su origen en la zona de saturación completa o zona freática, y Cvijic (1918), Swinnerton (1932) y Beddinger (1966) postulan la formación de las cuevas en la zona de fluctuación estacional (fig. 5).

Ford (1971), y Ford y Williams (1989) desarrollaron una teoría que puso fin a los debates entre los que apoyaban las diversas teorías. Aceptó en forma total la creación de cavidades en la zona de aereación: las aguas de infiltración son muy agresivas, y conforme descienden hacia el nivel freático, disuelven y erosionan las paredes y el piso de las fisuras por las que circulan de forma semejante a como lo haría un río superficial, creando cascadas, meandros, etc.. En Trombe (1952) pueden verse los mecanismos detallados de desarrollo de estas formas. En un mero karst, sin zona freática, éste es el único tipo de cavidad que se forma.

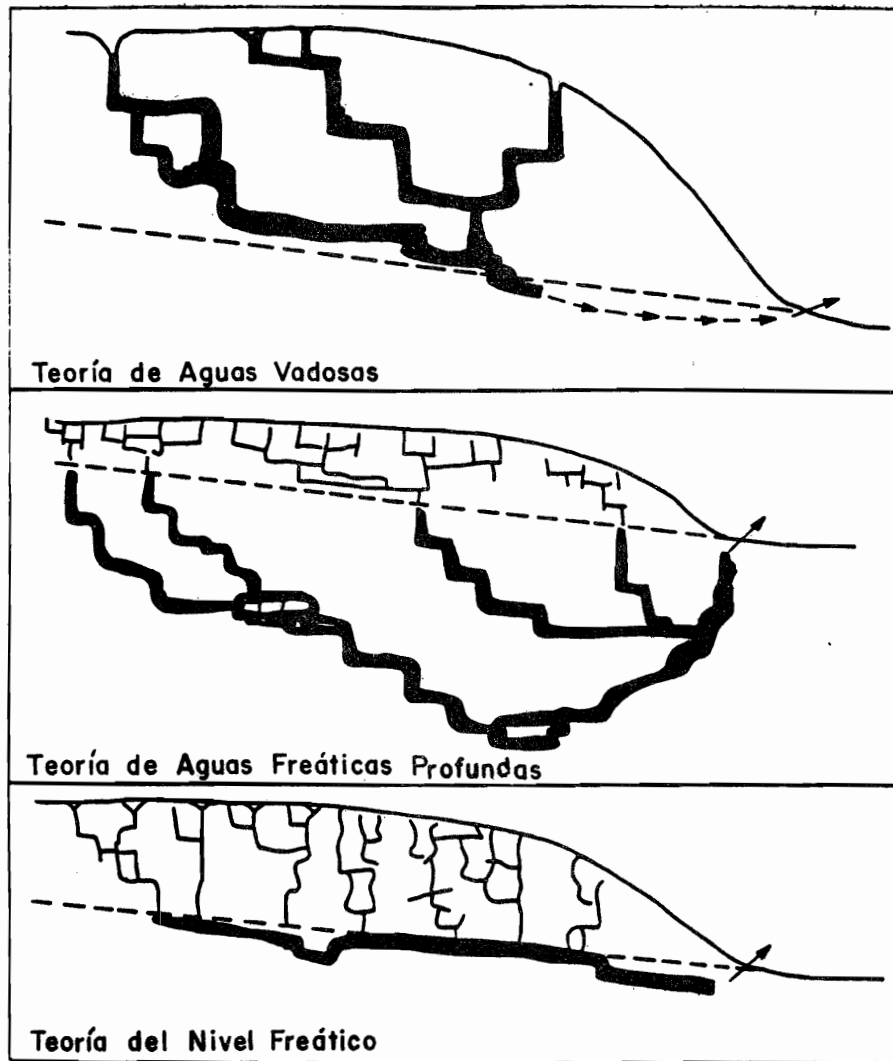


Fig. 5.- Zonas de máximo desarrollo de cavernas (White, 1988)

Además, Ford (1971) considera que en un holokarst se crearán cavidades en o bajo el nivel freático, principalmente por disolución. Estas cavernas se forman, por corrosión, a lo largo de las fisuras más amplias que permitan la circulación del agua, desde el punto de llegada al nivel freático, hasta la zona de emergencia. En todos los casos el agua tiende a seguir el camino más corto, pero en ocasiones la red de fisuras la obliga a realizar desplazamientos, en el sentido vertical, de hasta varios cientos de metros. Cuando la red de fisuras amplias es poco densa, se forma una cavidad freática profunda; si la red de fisuras es muy densa, la cavidad se desarrollará cercana al nivel freático o zona de fluctuación estacional (fig. 6).

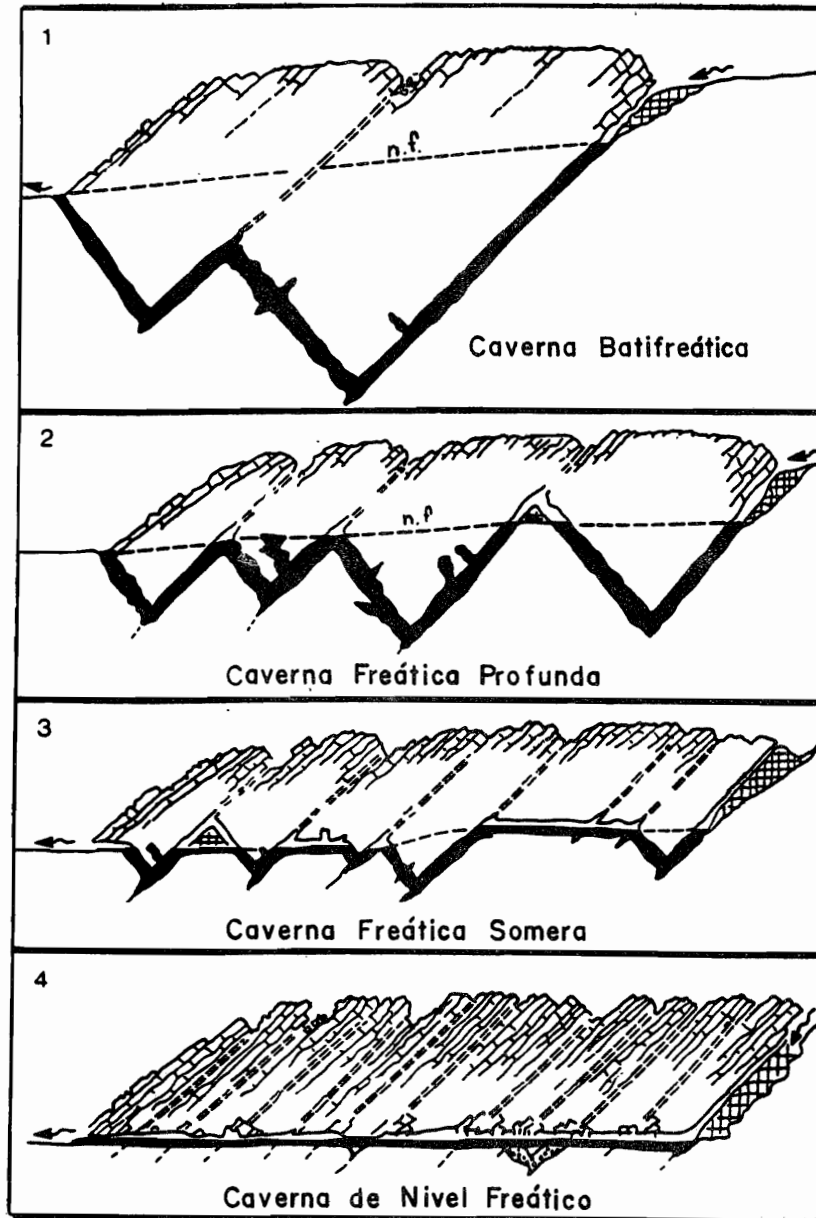


Fig. 6.- Distintos tipos de cavernas freáticas (Ford y Williams, 1989)

De esta manera, el origen de todas las cavidades es explicado por una sola teoría, y la morfología de las mismas (vadosa, freática profunda o de nivel freático) depende de las condiciones hidrodinámicas y estructurales. Si la zona de aereación es poco amplia, y/o desnuda, puede darse el caso de que la cantidad de agua no sea suficiente para formar cavidades en esta zona, y únicamente se tendrán cavernas en la zona freática o de nivel freático. Como ya se dijo, si se trata de un holokarst, no existirán cavidades freáticas. En la mayoría de los casos estarán presentes ambos tipos de cavidades.

4.- Formas de emisión.- Se puede decir que, al igual que las formas de absorción abiertas son en realidad el principio de las formas de conducción, las formas de emisión corresponden al final de éstas. Permiten el desagüe de las redes kársticas, es decir,

el agua que ha circulado en el interior de un macizo kárstico regresa a la superficie y retoma un curso epigeo a través de ellas.

Para clasificarlas, Llopis (1970) usa 5 parámetros, algunos de los cuales parecen no ser relevantes, al menos para las necesidades de este trabajo:

- 1.- Tipo de alimentación.
- 2.- La estructura.
- 3.- El tipo de circulación.
- 4.- La morfología.
- 5.- El número.

En el primero, se refiere a resurgencias, cuando el agua que sale ya formaba un río antes de ser absorbida, y de surgencias, cuando la absorción se realiza de manera difusa, pero no a través de sumideros. Sin embargo, se considera que esta clasificación no es aplicable en la mayoría de los casos, debido a que una misma emergencia puede drenar a la vez aguas captadas tanto en sumideros como en simas, dolinas, etc. y se requiere una exploración muy detallada con uso inclusive de trazadores para determinar la cuenca de alimentación de cada emergencia. Además, como en casi todos los casos las formas de absorción, aunque no sean sumideros, absorben arroyos temporales pequeños, grandes o permanentes, es común denominar a todas las emergencias como resurgencias, se conozca o no el tipo de alimentación.

La clasificación según la estructura geológica es muy sencilla y consiste en definir la estructura (falla, fractura, junta de estratificación o contacto entre distintas unidades) que controla la formación de la emergencia.

Si el tipo de circulación es libre, denomina a la emergencia como penetrable, y si es de circulación a presión, como no penetrable. Cabe mencionar que gracias a los modernos equipos de buceo, se han podido explorar varias emergencias a presión, incluso hasta profundidades muy grandes (Exley, 1979, 1988), por tanto, basta con diferenciarlas entre circulación libre o a presión.

En cuanto a la morfología, la clasificación depende de si la surgencia es por encima, al nivel o por debajo del talweg epigeo (lo cual puede dar indicaciones sobre si se trata de un holokarst o un merokarst) o, por otro lado, si es una emergencia submarina.

Por último, la clasificación según el número, indica si se trata de poliemergencias (en que un sistema kárstico emerge a la superficie a través de gran cantidad de pequeñas surgencias, controladas todas por una misma estructura) o de monoemergencias, es decir, todo el sistema llega a la superficie por una sola cavidad (emergencias masivas).

5.- Formas de colapso.- Este tipo de formas ha sido poco estudiado. Se deben al colapso o derrumbe del techo y paredes de los espacios vacíos creados por la karstificación, y se clasifican según afecten a la superficie del terreno, a las entradas de cavidades o al interior de éstas:

5.1.- Dolinas de colapso y simas de colapso.- Se trata de grandes depresiones (de hasta 400 m de profundidad y diámetro) debidas al hundimiento de una porción del techo de una cavidad.

En general se pueden diferenciar de las dolinas de disolución por sus paredes verticales y fondo relleno de grandes bloques producto del colapso. Su génesis se explica por el derrumbe y posterior disolución de bloques procedentes del techo de una forma de conducción, lo cual produce un espacio vacío cada vez mayor. Si este espacio vacío está cerca de la superficie, llega un momento en que el techo no resiste su propio peso y se derrumba completo, casi siempre bloqueando la cavidad. En algunos casos (sótano de la Lucha, Terragni, 1986), si la disolución y erosión de los bloques continúa después del derrumbe, la dolina o sima así creada entra en contacto directo con el sistema de circulación kárstico, como una especie de ventana (fig. 4).

5.2.- Salones subterráneos.- La génesis de estas formas es la misma que la anterior, pero cuando el espacio vacío está alejado de la superficie, el techo se seguirá colapsando, y la ampliación de la sala depende de que continúe la disolución y erosión de los bloques de colapso, pues en caso de no suceder así, rápidamente será colmado el espacio vacío original. Una explicación detallada de la génesis de estas formas (aplicada al Netherhall, en el Sistema Purificación, en Tamaulipas) puede encontrarse en Hose (1981).

5.3.- Portales de hundimiento.- Este tipo de formas, definido por Bonet (1953) para el caso de la cueva del Salitre, se debe a que la roca está mucho más intemperizada en la cercanía de la superficie, lo cual facilita su hundimiento. Se trata de grandes entradas a cavernas, de dimensiones mucho mayores a las de las galerías y conductos a que dan acceso. Generalmente es fácil reconocerlas, tanto por los bloques derrumbados en el piso de esta porción de la caverna como por los bloques a punto de caer, en el techo y paredes de estas entradas.

6.- Formas reconstructivas.- Se llama de esta manera (Llopis, 1970) a las formas producidas por los procesos que tienden a reintegrar el carbonato de calcio disuelto y erosionado durante la formación de las cavernas. También son llamadas concreciones.

Cuando el agua saturada de carbonato de calcio, que circula a través de alguna fisura que no se ha desarrollado como forma de conducción, llega a algún conducto ocupado por aire, pierde bióxido de carbono y precipita el carbonato de calcio en forma de aragonita, que pasa a calcita por su inestabilidad, formando una concreción. Los procesos y formas generadas (estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, gours, etc.) son analizados por Hill (1976) y Bögli (1980)

CAPITULO 2

CONDICIONANTES DEL DESARROLLO DEL KARST

=====

En el capítulo anterior se habló del desarrollo general del karst y se mencionaron varias situaciones en que este desarrollo se ve alterado. Aquí se expondrá cuáles son estas situaciones, dividiéndolas en tres clases distintas: litológico-estratigráficas, estructurales y climáticas. Se ha mencionado ya la diferencia entre holokarst (cuando se encuentran presentes todas las zonas hidrodinámicas) y merokarst (cuando faltan algunas, comúnmente las zonas de fluctuación estacional, saturación completa y circulación profunda).

CONDICIONANTES LITOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICAS

Se empezará por mencionar todas las rocas karstificables, haciendo énfasis en las características específicas de los karsts desarrollados en ellas, siguiendo en lo fundamental a Bögli (1980):

Granitos, cuarcitas y areniscas silíceas.- En general se considera a las rocas silíceas como no karstificables, aun cuando se sabe que, en condiciones climáticas cálido-húmedas (tropicales) se dan formas parecidas a las kársticas, debido a su tendencia a ser intemperizadas. Se forman gran cantidad de residuos insolubles que rellenan las fisuras existentes, impidiendo el emplazamiento de un drenaje subterráneo y limitando las formas a la superficie, por lo que no se considera un karst, sino un pseudokarst.

En condiciones climáticas más templadas, los minerales que constituyen estas rocas no se descomponen fácilmente. En algunos casos en que fisuras importantes en granitos han sido utilizadas por las aguas subterráneas como conductos, y han sido ampliadas por erosión mecánica (sin disolución) formando sistemas de cavernas de importancia. Evidentemente las fisuras originales debieron ser lo suficientemente amplias para permitir el transporte de partículas que realizan el trabajo de erosión, pero las cavernas formadas son en todo semejantes a las desarrolladas por procesos vadosos en rocas solubles. Aunque no exista disolución, se considera que estas cavernas son formas kársticas. Parece ser que en algunas zonas de la sierra de San Pedro Mártir, en Baja California (Lazcano, com. oral), existen cavidades y karst de este tipo, pero debido a la carencia de estudios al respecto, esos karsts no se incluyen en este trabajo.

Las cuarcitas son un caso especial. Según Krauskopf y Siever (en Bögli, 1980) el sílice amorfo es soluble (6 a 14 ppm a 25 C). Urbani y Szczerban(1974) y Szczerban y Urbani(1974) encontraron en areniscas y cuarcitas de la Formación Roraima, en el escudo de la Guyana (sureste de Venezuela), en condiciones tropicales (cálido-húmedas) extremas, formas kársticas bien desarrolladas, con

lapiaz, dolinas, dolinas y simas de colapso, cavernas y ríos subterráneos. La conclusión a la que llegaron es que las cuarcitas y areniscas cuarcíticas son karstificables en forma muy lenta, sólo en condiciones extremadamente húmedas y cálidas. Poco se sabe acerca del karst en estas rocas y como en México no se conoce de la existencia de este tipo de karst, no volverá a mencionarse.

Evaporitas.- Todas las rocas evaporíticas son solubles en agua, y mucho más que las calizas, pues no requieren de la presencia de bióxido de carbono. Debido a ello, cualquier afloramiento de estas rocas forma campos de lapiaz de gran desarrollo y de evolución rápida.

La mayoría de las rocas evaporíticas son poco abundantes y en general tienen una gran plasticidad, por lo que no presentan fracturas abiertas por las que pueda penetrar el agua y por tanto, no muestran otro desarrollo de karst que el lapiaz ya mencionado. Algunas excepciones son la anhidrita y el yeso, rocas en las que existen grandes cavidades, especialmente en la URSS y en los EUA, y la halita, en Israel. Normalmente estas cavernas son horizontales, siguiendo la estratificación, aunque no son raros los tiros verticales. Son frecuentes las dolinas y simas de hundimiento.

Alternancias de Calizas y Evaporitas.- En este caso, lo más frecuente es que las cavidades estén desarrolladas por disolución de las evaporitas y la caliza actúe como roca impermeable, aunque puede darse el desarrollo de karst en ambas rocas, con presencia de grandes formas en las evaporitas y de formas más pequeñas en las calizas.

Conglomerados.- La mayoría de las rocas conglomeráticas no son consideradas karstificables. El único caso conocido es el de un conglomerado de fragmentos principalmente calcáreos, cementados por una matriz de carbonato de calcio, en cuyo caso se comporta como una caliza muy permeable y las cavidades se forman por disolución, tanto de la matriz como de los clastos. Teóricamente puede desarrollarse el karst en un conglomerado en el que sólo la matriz o los clastos fueran calcáreos.

Dolomias.- En general son menos solubles que las calizas, al grado que en ocasiones pueden ser totalmente insolubles. Casi siempre tienen un desarrollo kárstico semejante a las calizas. Son comunes las calizas parcialmente dolomitizadas, en cuyo caso, el máximo desarrollo de las formas será en las porciones no dolomitizadas.

Calizas.- En este trabajo se van a referir con este nombre a las rocas formadas por un 90 a 100 % de carbonato de calcio. Es la roca kárstica por excelencia. Las calizas, de acuerdo con su contenido de partículas se van a clasificar según el modelo de DUNHAM (1962). En calizas sin permeabilidad primaria todo el flujo de agua y por tanto el desarrollo del karst, se efectúa a lo largo de las fisuras (fracturas y superficies de estratificación), por lo que abundan las cavidades de origen vadoso; no se establece una zona freática típica y pueden llegar a faltar las zonas hidrodinámicas inferiores, mientras que en una caliza muy permeable (por ejemplo, prearrecifal) el flujo de agua no requiere de las fisuras para circular, las cavidades son mucho más intrincadas y tienden a formarse al nivel de la superficie freá-

tica (zona de fluctuación estacional) o bajo el nivel freático.

Thornbury (1969) menciona la diferencia entre un karst descubierto desde su emersión y uno cubierto por otras rocas impermeables. En el primero se desarrollan extensos campos de dolinas y lapiaz, que evolucionarán al mismo ritmo que el karst subterráneo; son muy abundantes las simas azolvadas o demasiado estrechas para ser penetradas, y escasos los sumideros y otras formas de absorción en masa. En cambio, en el segundo caso, los arroyos superficiales tienen que erosionar la cubierta impermeable hasta llegar a las calizas, para que se inicie el drenaje subterráneo, pero en vez de campos de dolinas se desarrollan gran cantidad de sumideros y valles ciegos donde se "pierden" los arroyos superficiales. En lugar de absorción dispersa, se tiene absorción en masa y un desarrollo importante de las formas de conducción, cuya evolución está adelantada respecto a la de las dolinas y lapiaz superficiales.

En el caso de margas y calizas arcillosas, las impurezas inhiben el desarrollo del karst. Aunque existe disolución, ésta se realiza predominantemente a lo largo de las zonas con menor porcentaje de impurezas, de tal manera que el karst sólo se emplaza en las zonas de mayor pureza. Puede ocurrir que una caliza con alto grado de impurezas tenga un importante desarrollo kárstico, siempre y cuando esté altamente fracturada y afallada. Como regla general, las calizas arcillosas no tienen desarrollo kárstico, debido a que las impurezas rellenan e impermeabilizan las fracturas y cavidades creadas por disolución.

En cambio, las calizas que presentan impurezas en forma de nódulos y bandas de pedernal, pueden ser karstificadas de la misma manera que las calizas totalmente puras. En general, en el lapiaz sobresale el pedernal insoluble. Puede ser que si las bandas son continuas, controlen total o parcialmente el desarrollo de cavidades, especialmente de tipo freático, actuando como capa impermeable, al menos hasta que es erosionado el pedernal.

CONDICIONANTES ESTRUCTURALES

La instalación de un karst es posible, como ya se ha visto, gracias a una estructura tectónica. Si la caliza (o cualquier otra roca karstificable) fuera una roca sin fisuras, sería en la mayoría de los casos totalmente impermeable y no permitiría la infiltración, por lo que la disolución sólo actuaría en superficie y el desarrollo kárstico se reduciría al lapiaz.

Suponiendo una roca caliza muy permeable, sin fisuras de ningún tipo, el agua penetra de manera dispersa y crea una capa freática, donde se llevan a cabo los fenómenos de disolución, que afectan primordialmente las zonas de mayor solubilidad. Así se originan cavernas freáticas (o de nivel freático) del tipo de laberintos tridimensionales. Estas cavidades sólo pueden ser exploradas cuando el nivel freático ha descendido y las aguas han sido desalojadas. Se trata entonces de un holokarst con todas sus zonas hidrodinámicas, pero es importante notar que en la zona vadosa prácticamente no habrá desarrollo de cavidades.

La mayoría de las calizas (y rocas karstificables) están afectadas por el tectonismo, y presentan por tanto, zonas de fracturas y fallas que, como ya se ha dicho, concentran el flujo

del agua y la acción de los fenómenos de disolución y erosión conducentes a un desarrollo kárstico completo.

Esta influencia se nota en la superficie por la alineación de formas de absorción a lo largo del afloramiento de fallas y fracturas o por la concentración de estas formas en zonas de intensa deformación. Lo mismo puede decirse de las formas de emisión, que siempre están controladas por alguna estructura importante.

Por lo que respecta a las formas de conducción, siempre están controladas por uno o más sistemas de fisuras (fallas, fracturas y superficies de estratificación), e incluso en rocas muy permeables, el desarrollo es influenciado por la estructura.

Ford (1971) basa su teoría sobre la génesis de las cavernas en la estructura de las calizas. Considera que en la zona vadosa el agua tiende siempre a buscar el camino más rápido hacia abajo, por lo que el desarrollo de las cavidades es predominantemente vertical y descendente, siempre que la estructura lo permita. El principal agente será la erosión y las formas resultantes son cañones o estrechos meandros encajados en las porciones subhorizontales y amplios y grandes tiros verticales (siempre asociados a fisuras importantes). Los procesos específicos de desarrollo de diversas formas creadas de esta manera pueden encontrarse en Trombe (1952).

En un holokarst, cuando el agua ha llegado al nivel freático, al circular bajo presión puede hacerlo en cualquier dirección, incluso en sentido ascendente. Existe alguna red de fisuras que permite al agua llegar a la superficie por una emergencia. En todos los casos tiende a buscar el camino más corto, pero en ocasiones la red de fisuras la obliga a realizar desplazamientos, en el sentido vertical, de varios cientos de metros (Exley, 1988). La amplitud de estos desplazamientos depende por un lado, del echado de las capas (a menor inclinación menor amplitud), y por otro, de la densidad de fisuración penetrable (a mayor densidad, menor amplitud); así, en calizas con estratificación casi vertical, masivas y casi sin fracturas se forman cavidades freáticas muy profundas, mientras que en calizas casi horizontales y/o muy fracturadas, las cavidades estarán cercanas al nivel freático. En el primer caso, conforme el nivel freático desciende (por erosión superficial en los valles que rodean al macizo kárstico), al formarse sucesivas redes de cavidades cada vez más profundas, éstas tienden a crearse cada vez más cerca del nivel freático, debido a que han tenido más tiempo para desarrollarse (fig. 7).

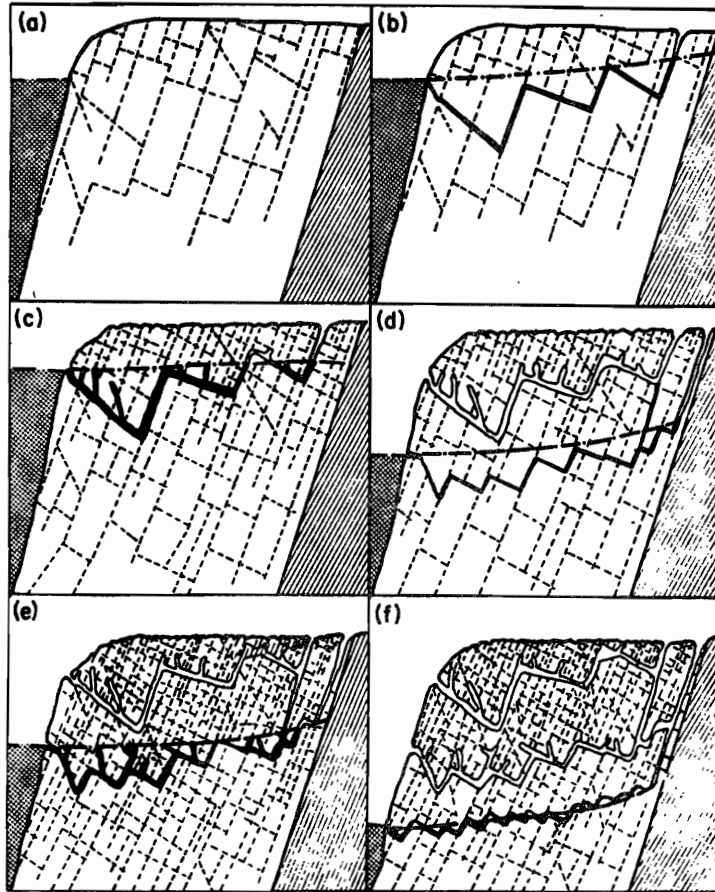


Fig. 7.- Etapas del desarrollo de cavidades freáticas (Ford, 1971)

El tipo de estructura también afecta el desarrollo general del karst y determina si se trata de un holokarst o de un merokarst. Llopis (1970) ha clasificado a los karsts de acuerdo a la estructura en que se asientan:

Karst de mesa.- Se encuentra en regiones con calizas en estratificación horizontal, sostenidas por rocas impermeables infrayacentes (fig. 8). Se trata de merokarsts, con formas de absorción y conducción esencialmente verticales hasta llegar a las rocas impermeables, desde allí la circulación será horizontal hasta emerger en resurgencias periféricas, independientes unas de otras. En caso de que la estratificación sea inclinada, la circulación tiende a ser a favor del echado; es lo que Llopis (1970) llama karst de cuesta.

Karst de zonas plegadas.- Es el karst clásico de zonas montañosas plegadas; puede ser holo o merokarst según la posición de las rocas impermeables subyacentes (fig. 9). Las formas de conducción son mixtas, con tendencia a ser verticales, y las surgencias generalmente son ascendentes. Es factible encontrar varios sistemas karsticos independientes, separados o no por rocas impermeables, cada uno con su propia resurgencia.

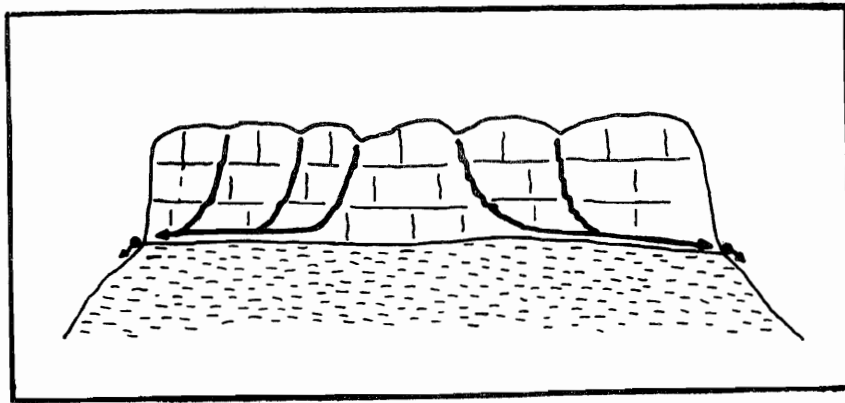


Fig. 8.- Merokarst de mesa

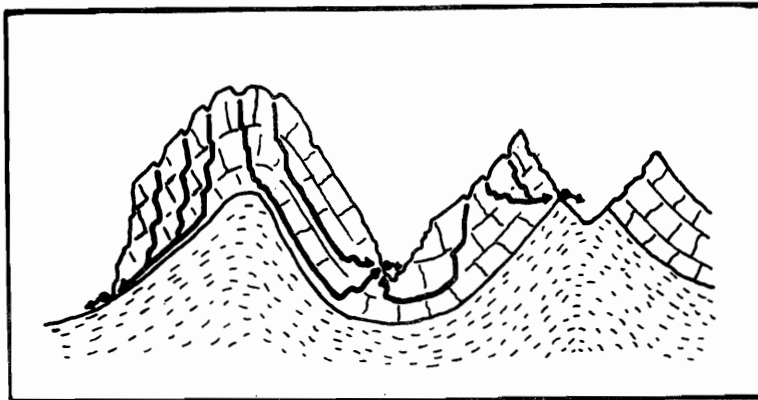


Fig. 9.- Holokarst y merokarst de zonas plegadas

Karst cabalgante.- Cuando el macizo calcáreo cabalga sobre rocas impermeables, puede tener características muy diferentes, a tenor de los elementos estructurales que integran el conjunto del bloque alóctono (fig. 10). Así, puede comportarse como karst de mesa, como karst de zonas plegadas o como una mezcla de ambos. Generalmente se trata de un merokarst, pero no es raro que sea un holokarst, si las resurgencias no están ubicadas en el frente de la cabalgadura.

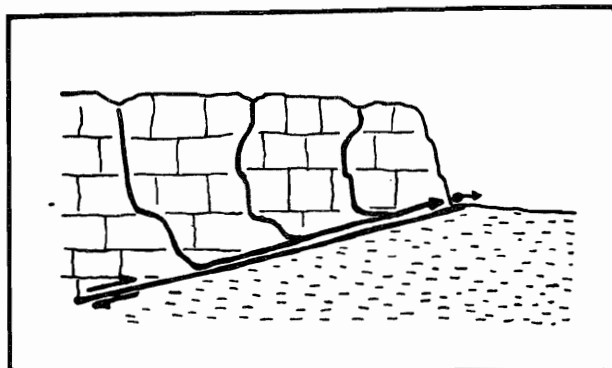


Fig. 10.- Karst de cabalgadura

Karst imbricado.- Si la región tiene una serie de fallas inversas imbricadas, el karst es como el de zonas plegadas pero complicado por la presencia de las fallas, algunas de las cuales pueden funcionar como niveles impermeables donde se lleva a cabo una acumulación hídrica, e incluso la emersión de aguas colgadas (fig. 11). Generalmente son merokarsts, pero pueden funcionar como holokarsts superpuestos.

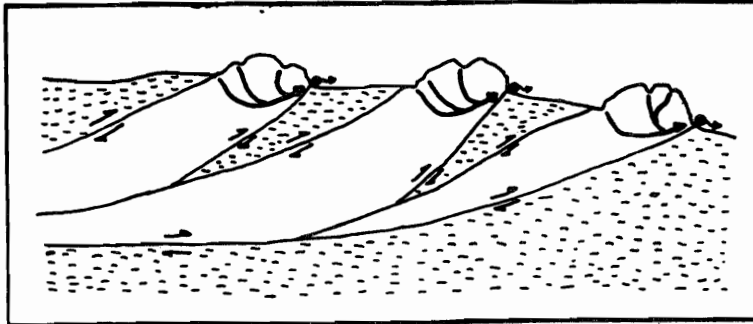


Fig. 11.- Karst de fallas inversas imbricadas

Karst de fallas.- Se denomina así al karst desarrollado en regiones afectadas por fallas normales (fig 12). Estos karsts son como los de mesa, merokarsts, puesto que casi siempre el muro impermeable infrayacente está suspendido. Las cavidades son verticales, pero las arterias colectoras están ubicadas sobre las fallas, lo mismo que las emergencias.

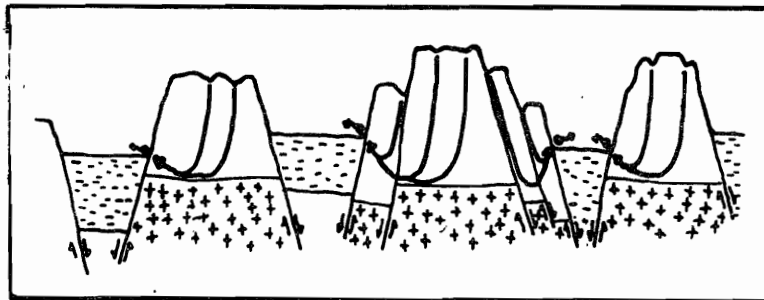


Fig. 12.- Karst de fallas normales

Karst de plataforma.- Es el karst desarrollado sobre calizas de plataforma, recientemente emergidas, y que casi no han sido afectadas por los fenómenos tectónicos (fig 13). Se trata siempre de un holokarst cuya zona vadosa tiene muy poco desarrollo. Las cavidades se desarrollan en o bajo el nivel freático, aprovechando las zonas de mayor permeabilidad y en caso de haberlas, de mayor fracturamiento. Son muy comunes las simas de hundimiento que desembocan directamente en las galerías inundadas (cenotes). Las zonas de emergencia están desarrolladas en el fondo del mar, en las cercanías de la costa.

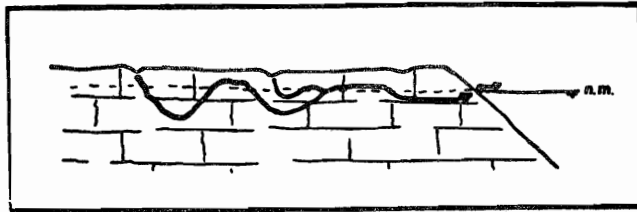


Fig.13.- Karst de plataforma

CONDICIONANTES CLIMATICAS

Desde que Lehmann (1936) publicó sus estudios sobre la morfología del karst de Java, se sabe que el clima influye de manera especial en el desarrollo del mismo. Las diferencias observadas se deben principalmente a las variaciones de precipitación pluvial, de temperatura y de cobertura vegetal.

Respecto a la primera, dado que el agua es el agente que transporta, en solución o como carga clástica, los productos de la corrosión y erosión de los procesos de karstificación, Trudgill (1985) reconoce que a mayor cantidad de agua precipitada, mayor será el desarrollo del karst. Sobre la tercera dice que las variaciones en la cobertura vegetal producen cambios en la composición y acidez del suelo; como el agua debe atravesar el suelo para llegar a las rocas, cargándose de bióxido de carbono y otros ácidos, es evidente que la agresividad del agua está en relación directa con la acidez del suelo y por tanto, con el tipo y densidad de la cobertura vegetal.

Otros autores (Trombe, 1969; Llopis, 1970; Bögli, 1980) señalan que cuanto menor sea la temperatura del agua, mayor es la cantidad de bióxido de carbono que puede estar disuelto y por consiguiente, a menor temperatura, mayor agresividad de las aguas y mayor corrosión.

Debido al conocimiento de estas diferencias, muchos autores han intentado hacer una clasificación climática de los karsts, aunque algunos, como Cvijic (1918), consideran que el clima solamente acelera los procesos, pero sin producir cambios notables en las formas resultantes. Es evidente que una clasificación puramente climática está destinada al fracaso, debido a los cambios climáticos que han sufrido las distintas porciones de la Tierra, tanto por las glaciaciones como por los movimientos causados por la deriva continental. Aun así, es interesante ver cómo el clima afecta el desarrollo del karst, lo cual se presenta siguiendo a Llopis (1970), Roglič (1972) y Bögli (1980) :

El Karst nival.- Se desarrolla generalmente en la alta montaña y en las regiones subpolares, con abundante precipitación de nieve en la estación fría, pero sin llegar a condiciones periglaciales, en las que el permafrost restringe el drenaje subterráneo, eliminando así el prerequisite más importante para la formación del karst. Las dolinas adoptan formas de embudo muy

pronunciado, con laderas muy empinadas, profundamente hundidas y sin terra rossa en su fondo, el cual puede estar cubierto por cantos de gelivación. Estas dolinas están separadas por estrechas aristas, y los flancos cubiertos de un lapiaz muy desarrollado. La gran agresividad de las aguas de fusión y la alta velocidad de circulación motivan el desarrollo de las cavidades subterráneas.

Karst pluvio-nival.- Se desarrolla en zonas montañosas con climas frescos y abundantes precipitaciones. También es llamado "karst alpino". Las formas de absorción están bien desarrolladas, pero conservan aún las formas del karst nival, ligeramente menos abruptas. Son comunes los lapiaces del tipo plano, puntiagudo, estriado, escalonado y en meandros. En las cavidades la erosión es preponderante debido a los altos coeficientes de escorrentía y el relieve de fuerte energía. Es en estas regiones donde se encuentran los mayores sistemas de cavernas, en cuanto a profundidad se refiere.

Karst cálido-subhúmedo.- Es el karst que la mayoría de los autores toman como parámetro para comparar los demás. También es llamado "karst mediterráneo". Las dolinas toman formas redondeadas y normalmente están rellenas de terra rossa. El lapiaz clásico es el puntiagudo acanalado y redondeado, y ocasionales tinajas. Son frecuentes las llamadas mesetas kársticas, es decir, cerros de formas convexas, con planicies en las partes altas (donde se encuentran las dolinas) separados por amplios valles de rocas no karstificables o por profundos cañones fluviales. Las cavidades tienen un desarrollo importante, y son generalmente vadosas verticales y/o freáticas horizontales.

Karst tropical.- El uso de este término ha suscitado muchas controversias, debido a que las formas típicas no se encuentran únicamente en regiones tropicales y porque pueden coexistir con formas clásicas de un karst cálido-subhúmedo. Se usa este término para referirse a un karst en el que tienen preponderancia, por lo conspicuas, las formas positivas sobre las negativas. El relieve se caracteriza por estar formado por una gran cantidad de cerros de formas variables, pero generalmente cónicos, más altos que anchos, separados por depresiones de formas poligonales, o que emergen en una llanura cubierta por residuos de decalcificación, y que aparentemente están dispuestas de manera anárquica. Slagmolen y Slagmolen (1988) y Slagmolen (1988) clasifican al karst tropical según las formas (fig. 14) en:

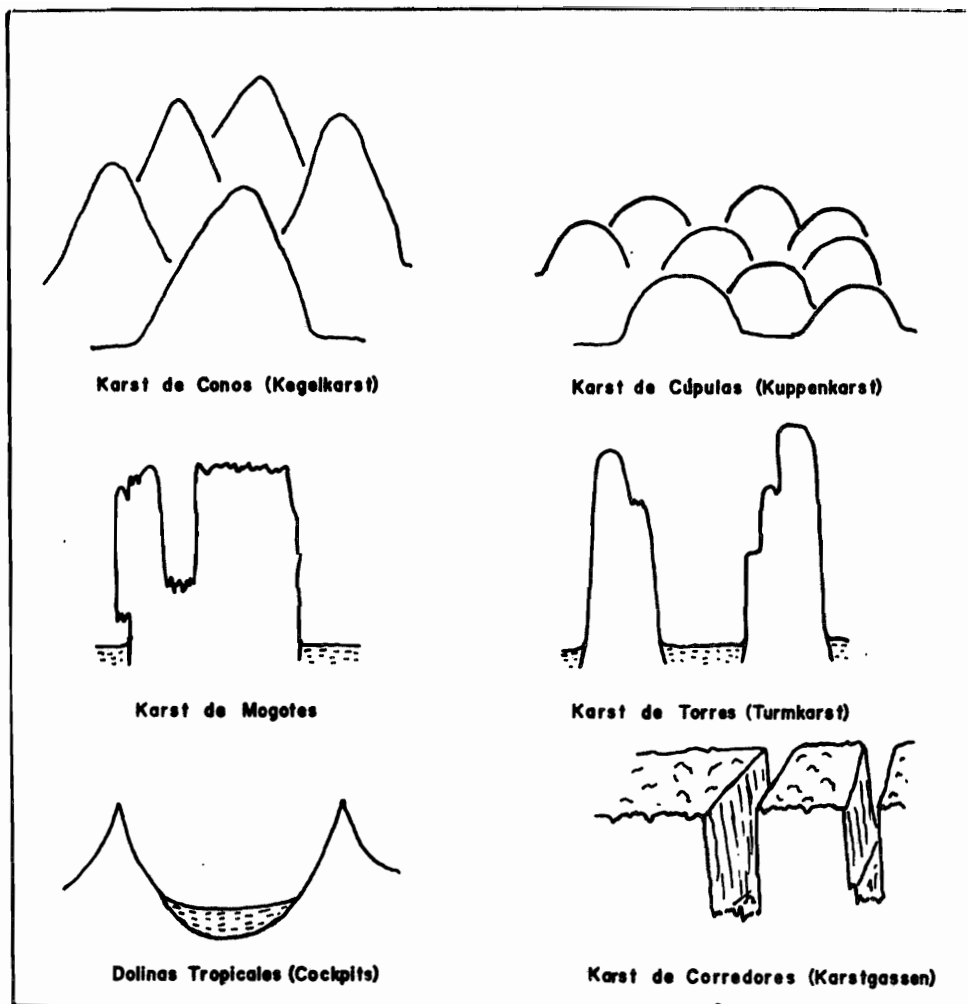


Fig. 14.- Tipos de Karst tropical

Karst de conos (Kegelkarst).- Constituido por colinas de formas cónicas de algunas decenas a unos cientos de metros de alto, separadas por depresiones o sobresaliendo de planicies kársticas.

Karst de cúpulas (Kuppenkarst).- Muy parecido al de conos, pero las dimensiones son mucho menores (decenas de metros).

Karst de mogotes.- Colinas mucho más aplanadas, pero que en su base presentan paredes verticales, corroidas por las aguas de inundación que ocasionalmente rellenan las depresiones. Estas a su vez, están tapizadas de arcillas y terra rossa.

Karst de torres (Turmkarst).- Grandes torres calcáreas de varios cientos de metros de altura, de paredes casi verticales, separadas por depresiones poligonales o más comúnmente sobresaliendo de llanuras o planicies kársticas.

Dolinas tropicales (Cockpitkarst).- Enjambres de dolinas de laderas muy inclinadas, generalmente muy amplias y de fondo plano, cubierto de terra rossa, separadas por mogotes, conos o cúpulas.

Karst de corredores (Karstgassen).- Grandes depresiones en forma de corredores que siguen las direcciones de fallas y fracturas.

En general, todas estas formas coexisten en una región, predominando unas u otras según diversos factores aún no bien conocidos. Slagmolen (1988) menciona distintos factores que pudieran tener influencia en el desarrollo de estas formas: una pluviosidad intensa, temperaturas elevadas que favorecen la evaporación de las aguas, grandes espesores de rocas carbonatadas, altitudes menores a 1,500 m.s.n.m., ausencia de glaciaciones y que generalmente están localizadas en regiones tectónicamente activas.

Por lo que respecta a las formas de conducción, las abundantes precipitaciones favorecen la existencia de grandes ríos subterráneos que comunmente formarán enormes cavidades y, si su curso es cercano a la superficie, pueden producirse grandes dolinas y simas de hundimiento, que actúan como ventanas sobre el cauce subterráneo.

El lapiaz está muy desarrollado, con formas del tipo puntia-gudo acanalado y redondeado, y en ocasiones zanjones redondeados.

CAPITULO 3

CLASIFICACION DE ZONAS KARSTICAS

PROCEDIMIENTO CARTOGRAFICO

En los capítulos anteriores se ha visto que, debido a una multitud de factores, el desarrollo kárstico de una zona dada puede ser muy variado. Por esto, varios autores han sentido la necesidad de clasificar los diversos tipos de karst (Nuñez et. al., 1968 ; Llopis, 1970; Popov et. al., 1972; Maire, 1980;).

Así, existen descripciones de tipos de karst para Cuba, España, Francia, URSS y otros países. Desgraciadamente, estas clasificaciones no pueden ser utilizadas mundialmente, debido a que generalmente clasifican el karst tomando como parámetro principal las provincias geomorfológicas previamente definidas para ese país, lo cual puede provocar que karsts desarrollados en distintas provincias, pero con el mismo tipo de formas e idéntico desarrollo sean clasificados dentro de categorías distintas, únicamente por su ubicación geográfica. Basta para verlo consultar el trabajo de Herak y Stringfield (1972).

Este tipo de clasificaciones es útil para explicar los tipos de karst que se encuentran en regiones que, como México, presentan desarrollo kárstico en zonas geomorfológicamente muy variadas, pero hace falta un cuadro de clasificación general en el cual estén catalogados los tipos de karst, independientemente de la provincia geomorfológica en que se encuentren.

Llopis (1970) se basa para su clasificación en la estructura de la región kárstica, dando suma importancia a la diferenciación entre un holokarst o un merokarst. Un bosquejo de esta clasificación ya fue expuesto en el capítulo 2, al hablar de condicionantes estructurales. Los problemas para realizar esta clasificación son, por un lado, que se requiere un conocimiento detallado de la estructura de cada área que se pretende clasificar, y por otro, en regiones de estructura muy compleja no puede utilizarse cuando la escala del trabajo es muy pequeña, debido al grado de precisión que se requiere ya que habría distintos tipos de karst muy cercanos. Por último, no toma en cuenta las condicionantes de tipo climático ni litológico, y por ende, las diferencias superficiales en cuanto a formas. Se trata esencialmente de una clasificación de interés exclusivamente geohidrológico.

La escuela karstológica de los países socialistas tiende a hacer la clasificación del karst desde el punto de vista casi exclusivamente litológico (Gvozdeckij, 1965; Nuñez et. al., 1968). Así, clasifica los karsts en cubiertos o descubiertos, y posteriormente por litología en los de calizas, dolomías, yesos y sal. Además, consideran al karst tropical o "kegelkarst" como una categoría aparte, la única en la cual se toma en cuenta el relieve. Para realizar esta clasificación casi lo único necesario

es consultar un mapa geológico.

Debido a estas razones, se piensa que es necesario establecer un sistema para la clasificación de los diferentes tipos de karst, que considere las tres condicionantes (litológicas, estructurales y climáticas). Además, y tomando en cuenta que todas estas condicionantes se reflejan tanto en las formas superficiales como en las subterráneas, se concluye que este sistema de clasificación deberá basarse principalmente en la geomorfología superficial, y en los sistemas de cavernas existentes (morfoloía subterránea) (fig. 15). Hace falta aclarar que en regiones con litología y clima diversos puede presentarse un mismo tipo de karst, en cuanto al tipo y dimensiones de las formas que se desarrollan.

<u>Marco Estructural</u>		<u>Clima</u>	
Planicie de plataforma		Tropical	
Planicie escalonada por fallas		Templado a Cálido Subhúmedo	
Mesa horizontal		Alpino	
Mesa inclinada en estructura monoclinial		Desértico	
Elevaciones menores plegadas o de pliegue-bloque			
Elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque			
<u>Densidad de Formas</u>	<u>Morfología Subterránea</u>		
Abundantes	Galerías predominantemente verticales		
Escasas	Galerías predominantemente horizontales		
<u>Evolución</u>			
Activo			
Fósil			
Rejuvenecido			
Potencial			

Fig.15.- Clasificación del Karst

Una vez determinadas las zonas con litología potencialmente karstificable, y considerando que de los diferentes factores de control el más determinante es el estructural, el primer nivel de la clasificación será situar cada región kárstica en un marco estructural, en el que tentativamente se proponen las siguientes categorías:

KARST DE PLANICIE DE PLATAFORMA

Se desarrolla en las porciones emergidas de la plataforma continental que forman amplias planicies de poco relieve y altitud. Se trata siempre de un holokarst cuya zona vadosa tiene muy poco desarrollo; las cavidades se desarrollan bajo el nivel freático, en forma de salones de disolución. Son comunes las simas de hundimiento que desembocan directamente en las galerías inundadas (cenotes). Las zonas de emergencia están desarrolladas en las cercanías de la costa. La morfología que permite reconocer este tipo de karst en las cartas topográficas es la casi total ausencia de relieve, exceptuando la presencia de cenotes, dolinas de muy poca profundidad, generalmente azolvadas e inundadas (aguadas) y, en las zonas costeras, presencia de gran cantidad de manantiales y resurgencias (fig. 16). Puede ser subdividido de acuerdo con la densidad de formas kársticas, y/o con la morfología de las mismas (desarrollo principalmente horizontal o vertical de los cenotes).

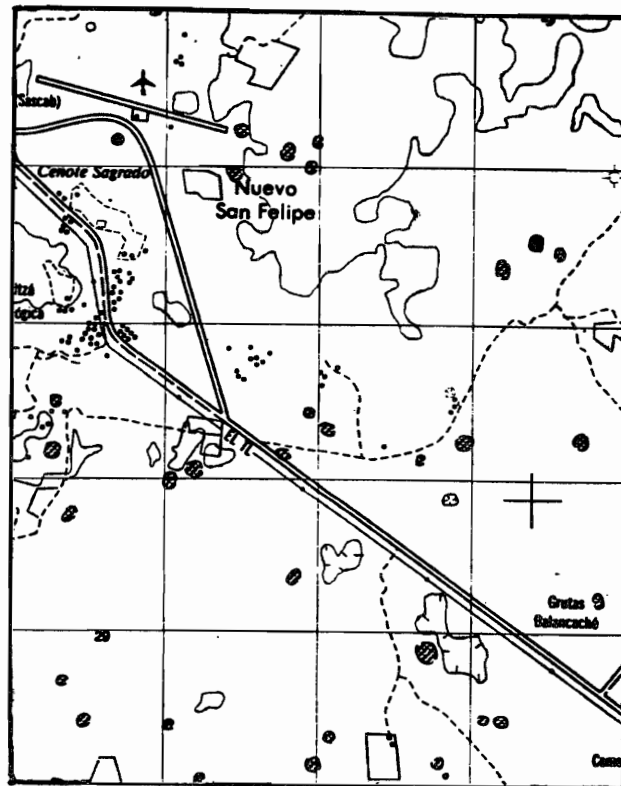


Fig. 16.- Expresión topográfica del Karst de planicie de plataforma (Fragmento de la hoja E16-C65 INEGI)

KARST DE PLANICIE ESCALONADA POR FALLAS

Se trata también del desarrollado en una plataforma recientemente emergida, a poca altura sobre el nivel del mar, pero en la cual hay evidencias de una actividad tectónica mayor, resultado de fallas de tipo normal que producen un escalonamiento en la plataforma. Estas fallas actúan como zonas de mayor permeabilidad, controlando hasta cierto punto el desarrollo del karst. Se observan cuencas kársticas (poljes) rellenas de suelos, emplazadas en las fallas; las cavidades, aun cuando siguen siendo de tipo freático, presentan evidencias de cambios en el nivel del mar, como son concreciones en galerías actualmente inundadas, y varios niveles horizontales a diferentes profundidades. La expresión topográfica que permite identificar este karst es la de una planicie casi sin relieve, excepto por la presencia de cuencas kársticas alineadas con las fallas normales (poljes), y por una cantidad relativamente importante de cenotes (fig. 17). Puede subdividirse de acuerdo con la presencia o ausencia de evidencias de cambios en el nivel freático apreciables en la morfología de las cavidades y, en su caso, el número de estos cambios.

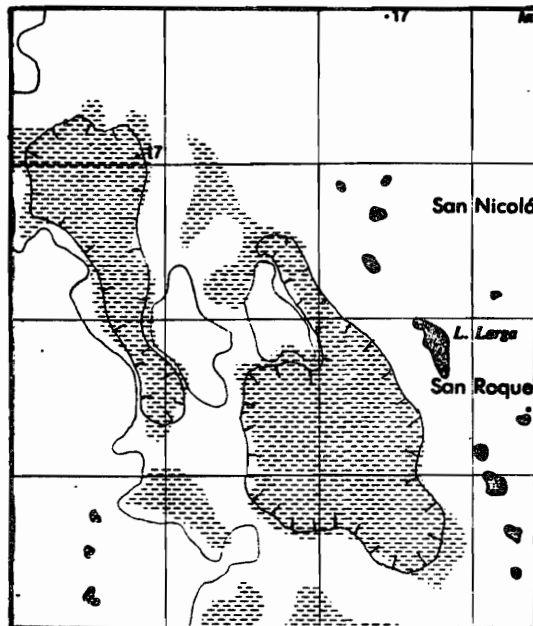


Fig. 17.- Expresión topográfica del Karst de planicie escalonada por fallas (Fragmento de la hoja E16-A46 INEGI)

KARST DE ELEVACIONES MENORES PLEGADAS O DE PLIEGUE-BLOQUE

Es el desarrollado en zonas de plataforma recientemente emergida, pero en la que los fenómenos tectónicos han tenido una influencia importante. Puede encontrarse tanto un karst de tipo freático fósil, semejante a los anteriores pero abandonado por las aguas, como un holokarst activo, con desarrollo de cavidades tanto en la zona freática como en la vadosa, dependiendo del grado de evolución alcanzado. La expresión cartográfica está

entonces en relación directa con el grado de evolución y por tanto con el clima, de tal manera que cuando ha estado sujeto a un clima tropical y ha tenido tiempo de evolucionar, el relieve será tropical incipiente (karst de cúpulas), es decir, constituido por multitud de colinas de formas cónicas de algunas decenas de metros de alto, separadas por depresiones o valles de fondo plano en las que se encontrarán las entradas temporalmente activas de las cavidades (sumideros) (fig. 18 a). Por otro lado, si el clima es menos húmedo o el tectonismo reciente, de tal manera que el karst no ha evolucionado lo suficiente, el relieve casi no muestra huellas de hallarse karstificado, y la única señal será la presencia de cavidades freáticas fósiles originadas en una época anterior, bajo condiciones distintas (fig. 18 b).

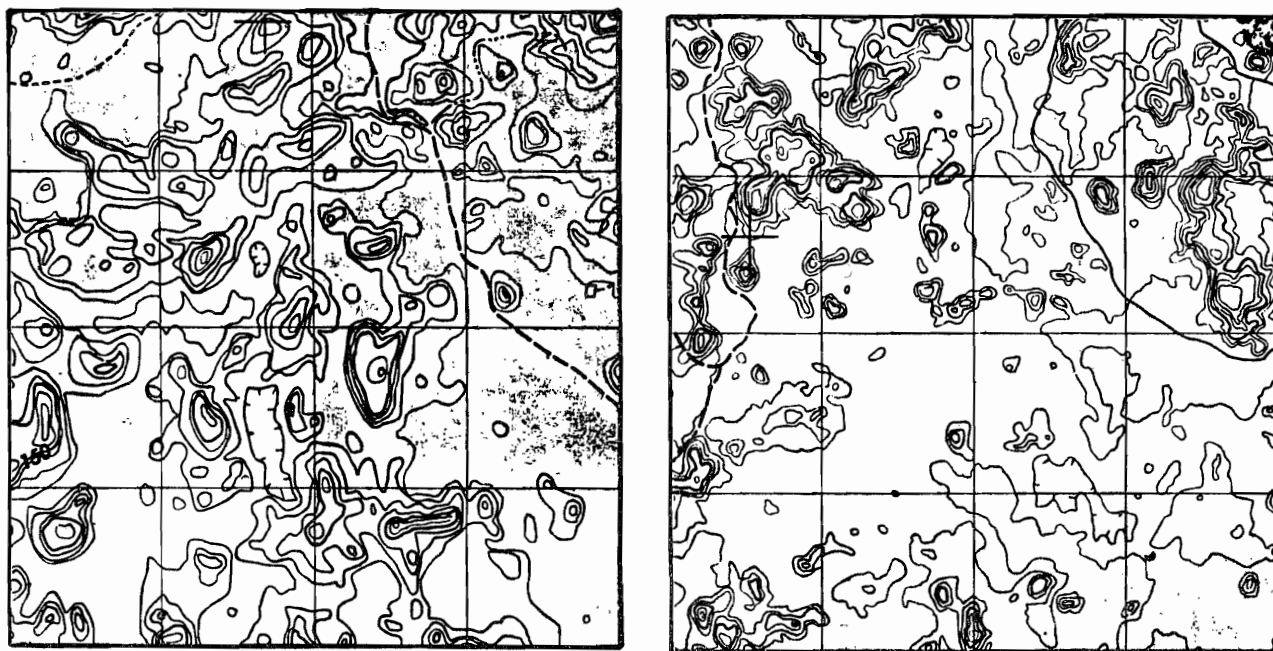


Fig. 18.- Expresión topográfica del Karst de elevaciones menores
(Fragmentos de las hojas E15-B59 y E16-B29 INEGI)

KARST DE MESA HORIZONTAL

Se desarrolla en regiones con calizas en estratificación horizontal, sostenidas por rocas impermeables infrayacentes. Se trata de merokarsts, con formas de absorción y conducción esencialmente verticales hasta llegar a las rocas impermeables, donde la circulación es horizontal hacia resurgencias periféricas; las cavidades son casi siempre vadosas, pero pueden ser freáticas en las porciones más bajas. El relieve es el de una mesa con dolinas y otras depresiones kársticas en la parte superior, limitada por escarpes. Las diferencias climáticas no producirán grandes cambios en la evolución de estos karsts, pero es factible subdividirlo de acuerdo al grado de evolución en que se encuentre. Si el espesor de rocas karstificables es pequeño, puede alcanzar con rapidez, en condiciones tropicales, un relieve de mogotes típico, con cerros de paredes verticales y cimas aplanadas, sobresaliendo de planicies kársticas o formadas por rocas no karstificables (no existe en México).

KARST DE MESA INCLINADA EN ESTRUCTURA MONOCLINAL

Se trata del karst desarrollado en una mesa como la anterior pero inclinada, por lo que la circulación del agua sigue la inclinación de los estratos a lo largo de cavidades vadasas. El desarrollo de la porción vertical de las cavidades depende del espesor de las rocas karstificables, pero en general es pequeño. La expresión topográfica que permite identificarlo es precisamente el relieve en forma de mesa inclinada, la presencia de valles paralelos que siguen la dirección de la inclinación regional, y que terminan en sumideros. Casi no existen dolinas de disolución, pues las que se llegan a formar, debido a la estructura, se deforman y evolucionan para convertirse en valles que terminan en sumideros, pero pueden ser abundantes las dolinas de colapso.

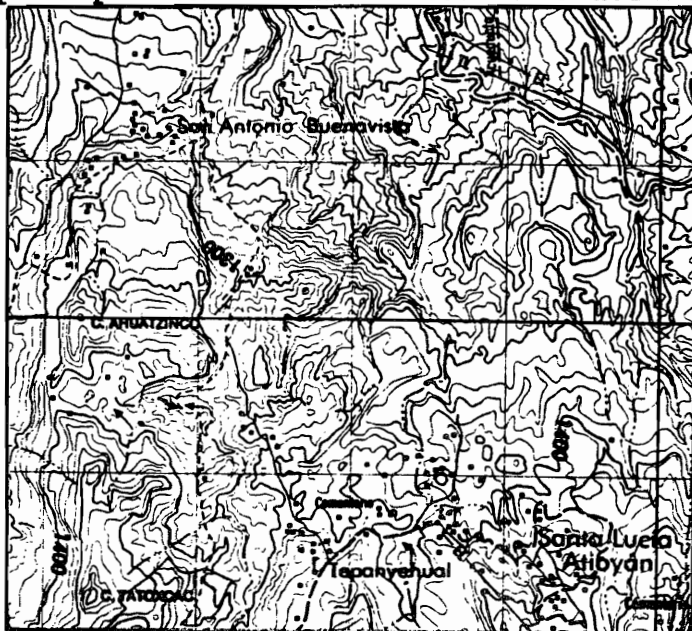


Fig. 19.- Expresión topográfica del Karst de mesa inclinada
(Fragmento de la hoja E14-B15 INEGI)

Puede subdividirse de acuerdo al clima, puesto que los valles serán más estrechos en un clima frío que en uno templado, y en un clima tropical se desarrollarán corredores (karstgassen) orientados con la inclinación regional de los estratos, y pueden formarse asimismo conos (kegels) asimétricos. (fig. 19).

KARST DE ELEVACIONES MONTAÑOSAS PLEGADAS Y DE PLIEGUE-BLOQUE

Se desarrolla el karst típico de regiones montañosas, que puede ser muy complejo, dependiendo de la estructura de la región. Se pueden tener holokarst y/o merokarst, desarrollo horizontal, inclinado o vertical de cavidades, o mezcla de los tres, en función de cuál sea el tipo de fisuras más importante, la disposición de las rocas karstificables respecto a las impermeables, y el grado de desarrollo. Son más comunes las cavidades vadasas, aunque la zona freática puede ser muy importante y estar muy desarrollada. La expresión topográfica típica es la de un relieve montañoso, pero varía mucho de acuerdo al clima, de la siguiente manera:

-Tipo tropical.- El relieve está dominado por colinas cónicas (tipo kegel) de hasta cientos de metros de altura o tipo torre (turm) de paredes verticales, separadas entre sí por depresiones poligonales o tipo dolinas tropicales (cockpit), generalmente de fondo plano, y depresiones en forma de corredores (tipo karstgassen). También son abundantes las pérdidas masivas de grandes ríos, especialmente cuando existen intercalaciones de rocas karstificables y no karstificables (de origen estratigráfico o estructural). También son abundantes las dolinas y simas de hundimiento (fig. 20).

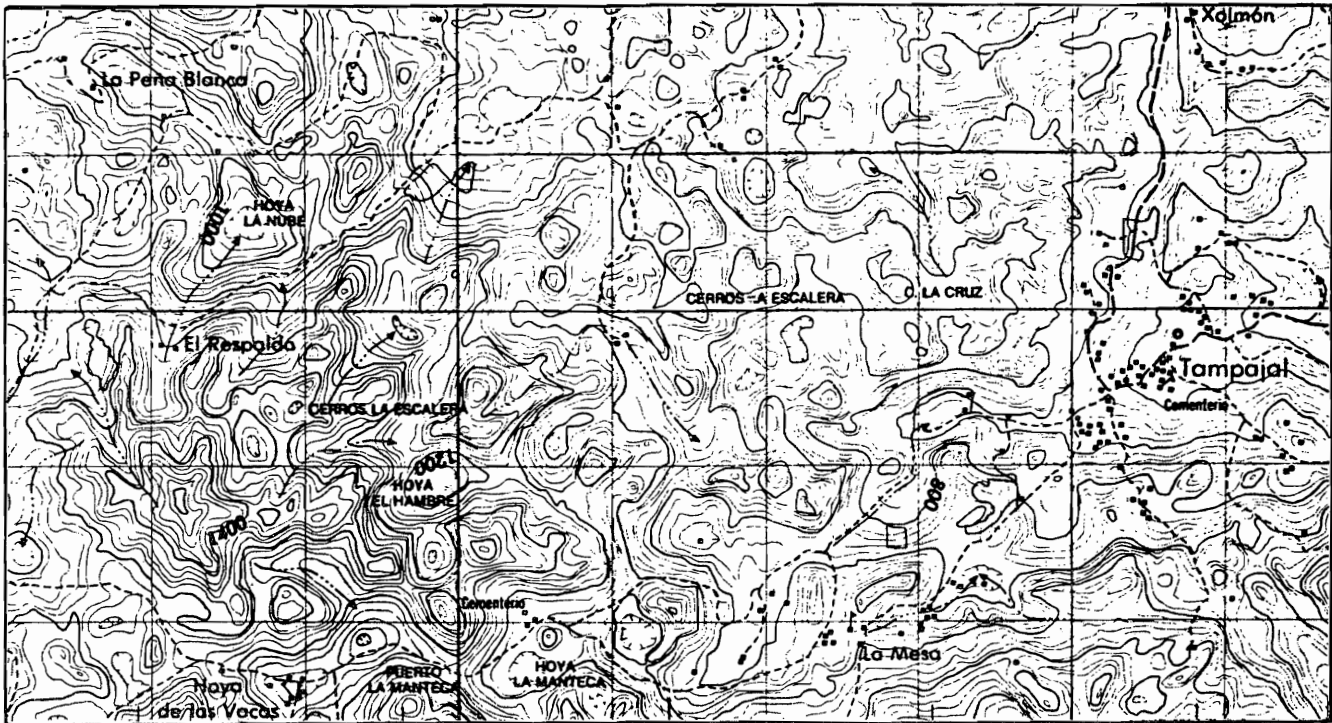


Fig. 20.- Expresión topográfica del Karst montañoso tropical
(Fragmento de la hoja F14-C29 INEGI)

-Tipo alpino.- Bajo un clima frío y húmedo (pluvio-nival) el relieve kárstico típico es el de las dolinas de disolución con laderas de mucha pendiente, muy profundas y sin relleno de terra rosa, en las porciones elevadas de cerros de aristas afiladas y con pendientes abruptas. Las porciones planas pueden estar cubiertas por espesores importantes de terra rosa (fig. 21).

-Tipo cálido a templado subhúmedo.- En un clima subhúmedo el relieve típico es menos abrupto, los cerros son amplios, de formas convexas con cimas relativamente planas (mesa), separados entre sí por estrechos valles en V, profundos cañones de paredes verticales o amplios valles de rocas no karstificables. En las porciones elevadas y planas se encuentran las dolinas de disolución y las entradas de las cavidades (simas o sumideros). La cubierta de suelos, especialmente terra rosa llega a ser importante. Pueden encontrarse dolinas de colapso de dimensiones espectaculares, pero son más bien raras. Es factible encontrar pérdidas masivas de grandes ríos en la periferia de estos cerros,

que desarrollan grandes cavidades horizontales, pero que rara vez están integradas al sistema kárstico y que se limitan a cruzar la región calcárea (fig. 22).

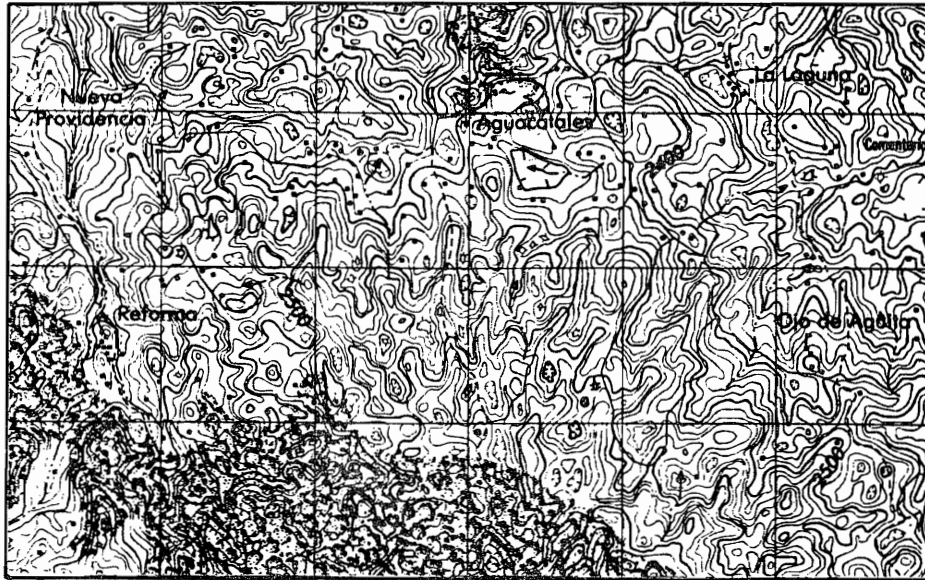


Fig. 21.- Expresión topográfica del Karst montañoso alpino (Fragmento de la hoja D15-B33 INEGI)

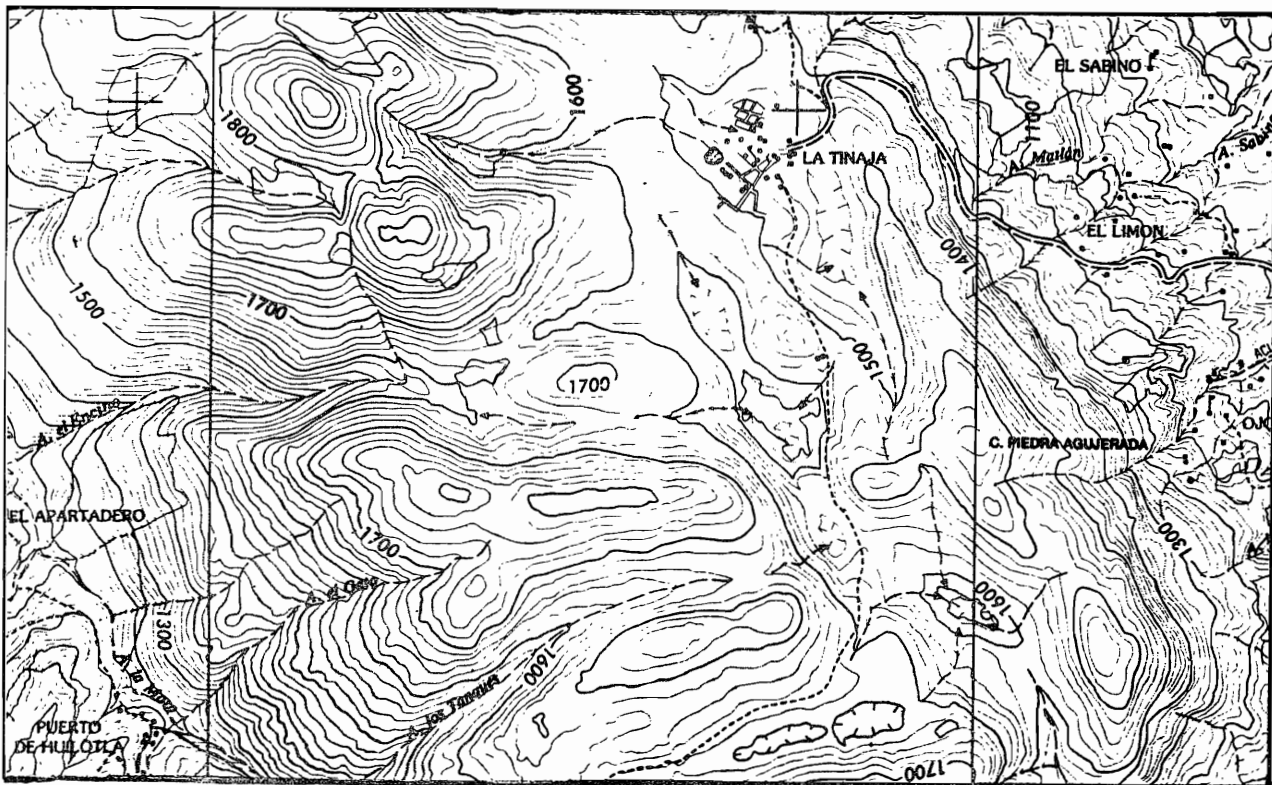


Fig. 22.- Expresión topográfica del Karst montañoso cálido a templado subhúmedo (Fragmento de la hoja F14-C38 INEGI)

-Tipo desértico.- En un clima seco, casi sin precipitaciones, no se desarrolla el karst (excepto en evaporitas), aunque se pueden encontrar restos de un karst fósil desarrollado en otras condiciones climáticas. El relieve es el típico de zonas áridas, con cerros de laderas abruptas, bolsones (que no deben confundirse con poljes, aunque es factible que el origen de aquellos esté relacionado con poljes desarrollados bajo un clima más húmedo (Wenzens, 1972, 1973a, 1973b, 1974, 1976)), pedimentos, grandes abanicos, etc. Cualquier manifestación kárstica es de tipo fósil, pero es posible que en condiciones especiales, algunas de ellas aún funcionen ocasionalmente, por lo que pueden existir pequeños manantiales. De acuerdo con el tipo de las cavidades fósiles encontradas, puede subdividirse el karst en fósil freático, fósil vadoso o fósil freático-vadoso. Las cavidades no tienen relación con la topografía y morfología actuales.

-Tipo mixto.- Este nombre define a un karst fósil al que, debido a un rejuvenecimiento del relieve se le sobrepone un nuevo desarrollo kárstico de tipo muy distinto. El más fácilmente reconocible es en el que un desarrollo vadoso se sobrepone a un desarrollo freático ya fosilizado anteriormente. El relieve superficial es idéntico al del nuevo régimen kárstico, y por tanto depende de las condiciones climáticas que hayan desarrollado al karst más joven. Es por esto que el karst mixto sólo será reconocible mediante análisis de los sistemas de cavidades existentes. Se podrá subdividir de acuerdo a cuales sean los tipos de karst que se encuentran sobrepuestos.

Karst potencial.- Son todas aquellas zonas en que existe litología adecuada para un desarrollo kárstico pero en las que, debido a diversas razones, no se ha dado este desarrollo.

Es importante hacer notar que los diferentes tipos de karst desarrollados en elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque pueden pasar de forma transicional de uno a otro en una misma región kárstica y es factible que existan sistemas de cavidades que se desarrollan en dos o más de estos tipos de karst, y cuya morfología varía correspondientemente. También hay que aclarar que se trata de una clasificación acorde con la morfología y que, aunque se usen términos climáticos, éstos se refieren al clima bajo el cual se desarrolló el karst, que no necesariamente debe corresponder con el clima actual.

Posteriormente debe analizarse la geomorfología superficial y subterránea, para ver si existen subcategorías producidas por diferencias en la litología, que se reflejarán más que nada en la morfología de las cavidades, (Espinasa-Pereña *et.al.*, en prensa), o por las condiciones hidrológicas (merokarst, holokarst y karst fósil).

Una ventaja de este método es que, una vez determinadas las zonas kársticas y sus características estructurales, basta analizar las cartas topográficas escala 1:50,000 ó 1:25,000 para realizar una clasificación preliminar, gracias a que las subdivisiones debidas al clima dejan una marca muy clara en el relieve,

tal como se vio en el capítulo anterior. Respecto al tipo de cavidades y las condiciones hidrológicas, se requiere un estudio detallado, eminentemente espeleológico, para poder determinar la clasificación exacta.

Si se realiza una clasificación de este tipo, no existirá problema en utilizar, para la descripción de los tipos de karst de una zona determinada, divisiones políticas, unidades geográficas, provincias geológicas, provincias geomorfológicas o cualquier otra división semejante, con el fin de localizar y ordenar el o las áreas a que se esté haciendo referencia; aun así, se debe evitar usar, en la clasificación, términos del estilo "karst tipo Sierra Madre" o "karst tipo Yucatán", para no caer en una clasificación en que el parámetro principal sea la provincia o unidad en que se encuentra el karst.

CAPITULO 4

EL KARST DE MEXICO

=====

Para la clasificación del karst de México se utilizó el método descrito en el capítulo 3. En primer lugar se elaboró un mapa de ubicación de litologías potencialmente karstificables, en escala 1:1,000,000. Después se analizaron cada una de las cartas 1:50,000 y 1:100,000 del I.N.E.G.I., tanto topográficas como geológicas, de cada una de las zonas con litología karstificable, elaborándose fichas con una clasificación preliminar para cada carta. Posteriormente, esta clasificación fue ajustada de acuerdo a la bibliografía. Cabe aclarar que casi no existen, para México, estudios sobre karst. Entre los más importantes destacan los de Bonet (1953, 1970), Wenzens (1972, 1973b, 1976), Reddell (1977), Hose (1981), Lazcano (1984, 1986, 1988), Terragni (1986) y algunos otros que se mencionarán más adelante. Sin embargo, abundan una gran cantidad de publicaciones espeleológicas, que aportan bastante información, al describir las cavidades exploradas y el terreno superficial donde se encuentran éstas. Sobresalen la serie Activities Newsletter de la Association for Mexican Cave Studies (AMCS), editada en Austin, Texas, y las publicaciones de la Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas (SMES).

Una vez realizada la consulta bibliográfica y elaborado un mapa preliminar de zonas kársticas, se seleccionaron ciertas zonas de control, principalmente: la sierra de Morelos-Guerrero, la Sierra Gorda de Querétaro, la zona de Purificación en Tamaulipas, los alrededores de las ciudades de Monterrey en Nuevo León y de Saltillo en Coahuila, la sierra de Cuetzalán en Puebla, la sierra de Xilitla en San Luis Potosí, la sierra Zongolica en Veracruz, los alrededores de Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal y Ocoingo en Chiapas, los alrededores de Mérida en Yucatán y de Tulum en Quintana Roo, las cuales fueron visitadas en diversas salidas de trabajo durante un período de 3 años, para realizar verificaciones, ajustes y descripciones de campo de los tipos de karst encontrados.

Por último, se realizó la versión final del mapa de clasificación de zonas kársticas a escala 1:4,000,000, en el que se basa la presente descripción, y reducido a 1:8,000,000 para su publicación (Anexo 1).

En este capítulo se presenta una descripción y clasificación general de las distintas zonas kársticas de la República Mexicana. Primero se mencionarán a grandes rasgos, las áreas en que se presentan los diferentes tipos de karst, para después describir en forma particular los principales rasgos kársticos explorados

en México. Para encuadrar esta descripción en un marco geomorfológico más amplio, se hace uso de la regionalización geomorfológica propuesta por Lugo y Córdova (en prensa) (fig. 23). Se puede apreciar que un determinado tipo de karst no está necesariamente restringido a una provincia determinada, y puede presentarse en varias de ellas.

Analizando el mapa de clasificación del karst de la República Mexicana (anexo 1) se puede observar que:

-El karst de planicie de plataforma se encuentra principalmente en la península de Yucatán, en la región de la planicie del norte. También se encuentra este tipo de karst en la porción norte de la planicie costera del golfo.

-El karst de planicie escalonada por fallas únicamente se encuentra en la porción oriental de la planicie del norte de la península de Yucatán.

-El karst de elevaciones menores plegadas y de pliegue-bloque corresponde con las planicies y lomeríos del sur de la península de Yucatán.

-El karst de mesa horizontal no existe en México, y el de mesa inclinada sólo aparece en una pequeña porción de la Sierra Madre Oriental.

-Todo el resto del karst de México corresponde al tipo de elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque en sus diferentes variantes (alpino, tropical, subhúmedo, fosil, mixto, etc.), por lo que abarca zonas dentro de las provincias Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur, Mesa Central, Chiapas y Depresión del Balsas.

Aun cuando no necesariamente coinciden la regionalización geomorfológica con la clasificación del karst, para su descripción se delinearán éstos para cada provincia geomorfológica, ya que es más lógico que hacerlo por estados o en algún otro orden. Debe recalcar que no se está considerando como un parámetro de clasificación del karst la provincia en que se encuentre.



REGIONALIZACION GEOMORFOLOGICA
(modificada de Lugo y Cordova, en prensa).

I. SISTEMAS MONTANOSOS

1. Península de Baja California
2. Sierra Madre Occidental
3. Sierra Madre Oriental (montañas plegadas)
 - 3.1 Sierra Alta
 - 3.2 Sierras Transversales
 - 3.3 Sierras y Bolsones menores de Coahuila
 - 3.4 Sierras Paralelas de Chihuahua
4. Sierra Madre del Sur (montañas bloque y plegadas)
 - 4.1 Montañas Bloque de Jalisco
 - 4.2 Vertiente Costera
 - 4.3 Cordillera de Colima-Oaxaca
 - 4.4 Montañas y Altiplano de la Mixteca
 - 4.5 Sierras Orientales de Oaxaca
5. Chiapas (sistemas montañosos de bloque y plegamiento)
 - 5.1 Sierras y Altiplano Plegados del Norte de Chiapas
 - 5.2 Depresión Central de Chiapas
 - 5.3 Montañas Bloque Cristalinas del Soconusco
 - 5.4 Planicie Costera Marginal

II. ALTIPLANOS

6. Provincia Sierras y Valles (sistema de crestas y valles intermontanos paralelos, controlados por la neotectónica)
7. Mesa Central (planicies y elevaciones montañosas)
 - 7.1 Planicies y Montañas Plegadas
 - 7.2 Planicies y Sierras Volcánicas
 - 7.3 Sierras Plegadas y Valles Intermontanos
8. Cinturón Neovolcánico Transversal (planicies escalonadas con montañas y sierras volcánicas)

III. PLANICIES

9. Sierras Sepultadas de Sonora
10. Planicie del Noreste (en sustrato sedimentario Terciario)
11. Planicie Costera del Golfo de México (en sustrato sedimentario Terciario-Cuaternario)
12. Planicie Costera del Pacífico Occidental (de acumulación fluvial)
13. Península de Yucatán (planicie en sustrato Terciario con gran desarrollo kárstico)
 - 13.1 Planicie del Norte
 - 13.2 Planicies y Lomeríos del Sur

IV. DEPRESION INTERMONTANA

14. Depresión del Balsas (cuenca intermontana estructural y tectónica)
 - 14.1 Valle del Balsas-Tepalcatepec
 - 14.2 Laderas Transicionales al Cinturón Neovolcánico
 - 14.3 Sierras y Valles de Morelos-Guerrero

Fig. 23

Algunas provincias no presentan desarrollo kárstico (aunque en algunas de ellas existen escasos afloramientos de calizas que forman un karst potencial), éstas son: la península de Baja California, las sierras sepultadas de Sonora, la planicie costera del Pacífico occidental, la Sierra Madre Occidental, el Cinturón Neovolcánico Transversal, la planicie del noreste y la planicie costera del Golfo de México. A continuación se analizan las provincias en que está presente el karst.

PENINSULA DE YUCATAN

(Planicie en sustrato Terciario con gran desarrollo kárstico)

El karst de la península de Yucatán es considerado por muchos de los geólogos y geomorfólogos mexicanos como ejemplo de un karst común, a pesar de que muchas de sus características lo hacen muy especial, con pocos similares en el mundo.

Para la caracterización de esta provincia se sigue principalmente a Reddell (1977), quien basa su descripción fisiográfica en el trabajo de Ispording (1975); se incluyen también datos de Lazcano (1985) y Coke (1987, 1988).

Geología.— Butterlin y Bonet (1963) publicaron un mapa estratigráfico de la península, en el que se muestra la costa norte compuesta por depósitos pleistocénicos y holocénicos, mientras prácticamente todo el resto consiste en depósitos del Mioceno y Eoceno (Formaciones Icaiche, Chichén Itzá, Carrillo Puerto, y rocas no diferenciadas del Eoceno y del Pleistoceno-Holoceno). Todas estas rocas son calcáreas, pero varían en cuanto a su composición: algunas son compactas, dolomitizadas y/o silicificadas y recristalizadas, en estratos gruesos a masivos; otras son poco compactas, intercaladas con yesos, en estratos delgados y muy delgados, en ocasiones con caliche. En general puede decirse que en la porción noroccidental la estratificación es horizontal y en la noreste se observa una inclinación regional hacia el noroeste, a consecuencia del levantamiento regional ocurrido en el Terciario Tardío. La región oriental es una planicie escalonada por fallas, mientras que la central y sur consiste en una serie de bloques levemente plegados y afallados, probablemente como resultado de las deformaciones ocurridas desde el Oligoceno (Ispording, 1975).

Lugo y Córdova (en prensa) subdividen a la península de Yucatán en dos regiones: la planicie del norte y las planicies y lomeríos del sur. De acuerdo con las manifestaciones kársticas la planicie del norte puede subdividirse en 4 zonas distintas, mientras que en las planicies y lomeríos del sur se presentan dos tipos de relieve kárstico distinto.

1.- PLANICIE DEL NORTE

Se trata de un karst de planicie de plataforma. Todas las cuevas han tenido un origen freático, ya sea en la zona de fluctuación estacional o en la de saturación completa. Existen cavidades fósiles por encima del actual nivel freático, que también

se formaron de igual manera. Las zonas de aereación o vadosa y de absorción, prácticamente no están desarrolladas. Puede dividirse en cuatro subregiones:

1.1.- Las **Ciénagas Costeras** se caracterizan por una gran cantidad de manantiales y resurgencias ubicadas en la costa o en el mar a pocos metros de la misma. Las cavidades, todas ellas inundadas, son en su mayoría estrechas y pequeñas, con algunas excepciones, como la Cueva Quebrada, en la isla de Cozumel, en la que se han explorado 5 km de galerías (fig. 24).

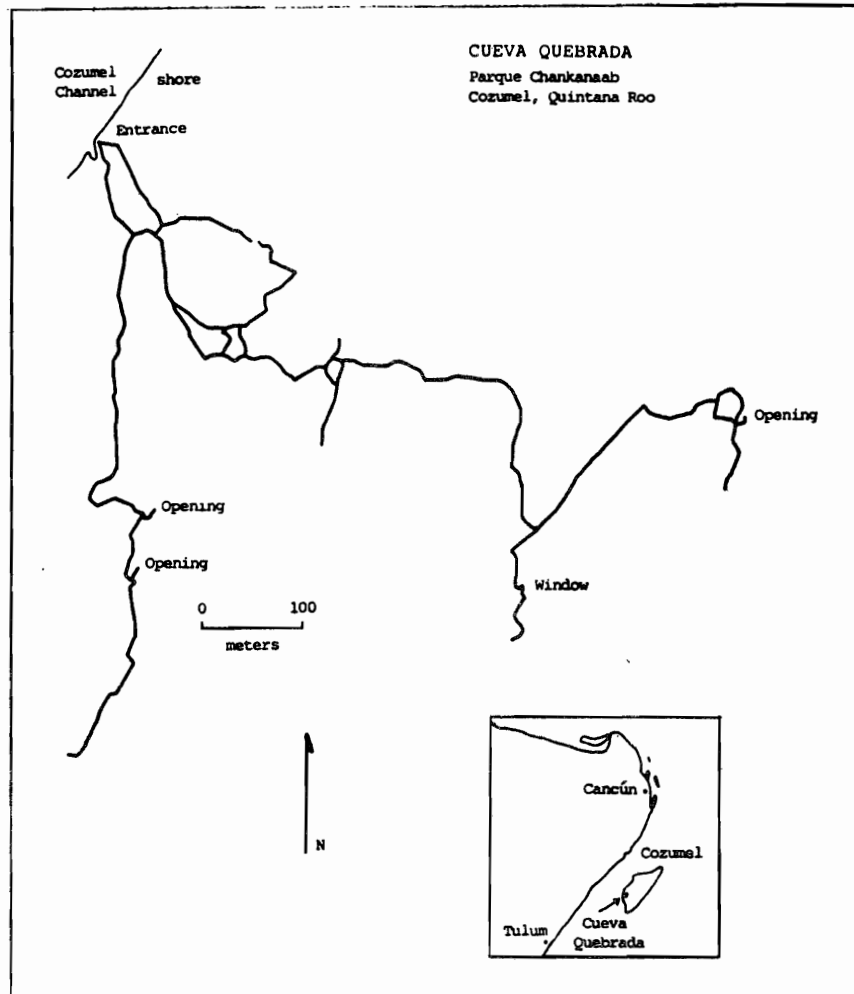


Fig. 24 Planta de la Cueva Quebrada

1.2.- La zona llamada por Reddell **Planicie Costera Noroccidental**, se caracteriza por presentar pocas evidencias superficiales de relieve kárstico: se observa algo de lapiaz del tipo **kamenitzas** (tinajas), y algunos cenotes de boca muy amplia, pero con el nivel del agua a poca profundidad. Todas las cuevas conocidas son pequeñas, de origen freático, y frecuentemente terminan en sifones a unos 10 m de profundidad. La ausencia de caracteres kársticos conspicuos y el pequeño tamaño de las cavidades se debe probablemente a cuatro factores: poca precipitación, levantamien-

to reciente, relieve mínimo y litología (calizas en estratificación delgada).

1.3.- La Planicie Costera Nororiental se caracteriza por una gran abundancia de formas kársticas, primordialmente cenotes de mucha profundidad, con el nivel del agua también muy por debajo de la superficie. Algunos de estos cenotes alcanzan profundidades mayores a 100 m, como el Cenote Xkolak (fig. 25) (Lazcano, 1985). Por otro lado, en la porción oriental se encuentran algunas cavidades fósiles de origen freático y desarrollo horizontal, entre las que cabe destacar la de Actún Kaua, verdadero laberinto de galerías interconectadas, de extensión desconocida, pero del que se han topografiado ya más de 6 km de túneles. El extenso desarrollo, tanto de cenotes profundos como de cavernas horizontales se debe a: la litología (más homogénea y en estratificación gruesa), el relieve mayor, la estratificación inclinada, las precipitaciones más abundantes y un levantamiento más antiguo que en la planicie noroccidental.

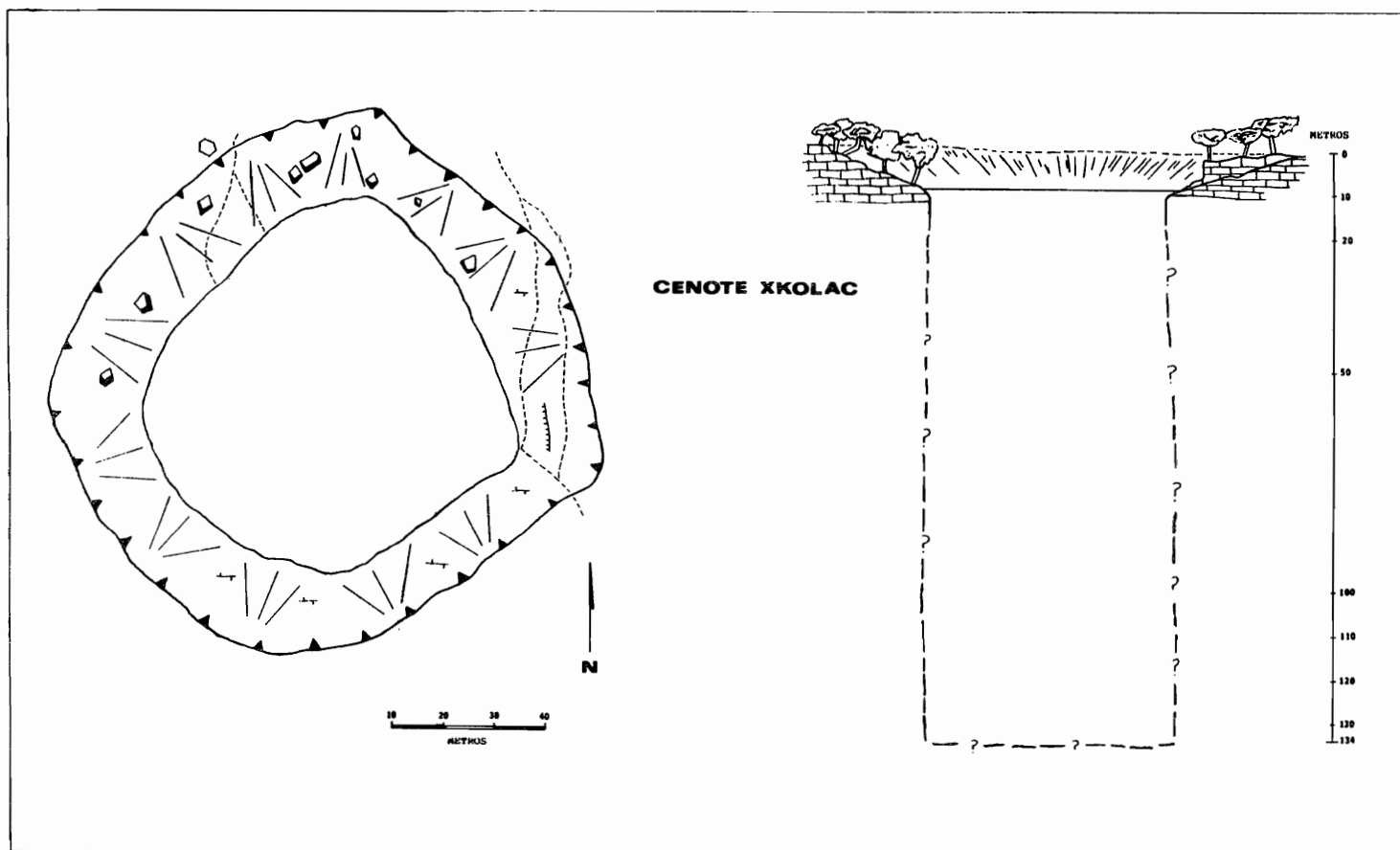


Fig. 25 Planta y perfil del Cenote Xkolac

1.4.- Por último, la porción oriental es una planicie escalonada por fallas, que Reddell llama **Distrito Oriental de Bloques Fallados**. Se encuentran en ella una gran cantidad de cuencas cerradas rellenas de suelos salinos ("poljes" de Isphording, 1975). Existen muchas cavidades, en su mayoría inundadas, de desarrollo predominantemente horizontal, de origen tanto freático como vadoso, y con marcada influencia de cambios en el nivel freático, como pueden ser cavernas freáticas fosilizadas, galerías vadosas inundadas, y sobretodo formaciones estalagmíticas "ahogadas" por el nivel freático elevado. Algunos de estos cambios de nivel son recientes, como lo demuestran los hallazgos arqueológicos realizados en cavidades actualmente inundadas (Coke, 1987). En todas estas cavernas se aprecia un flujo activo importante del agua. Ejemplos de este tipo son el Cenote Sac Actún (fig. 26) y Nohoch Nah Chich, la mas larga cavidad explorada hasta ahora en la península (10,363 m de long.).

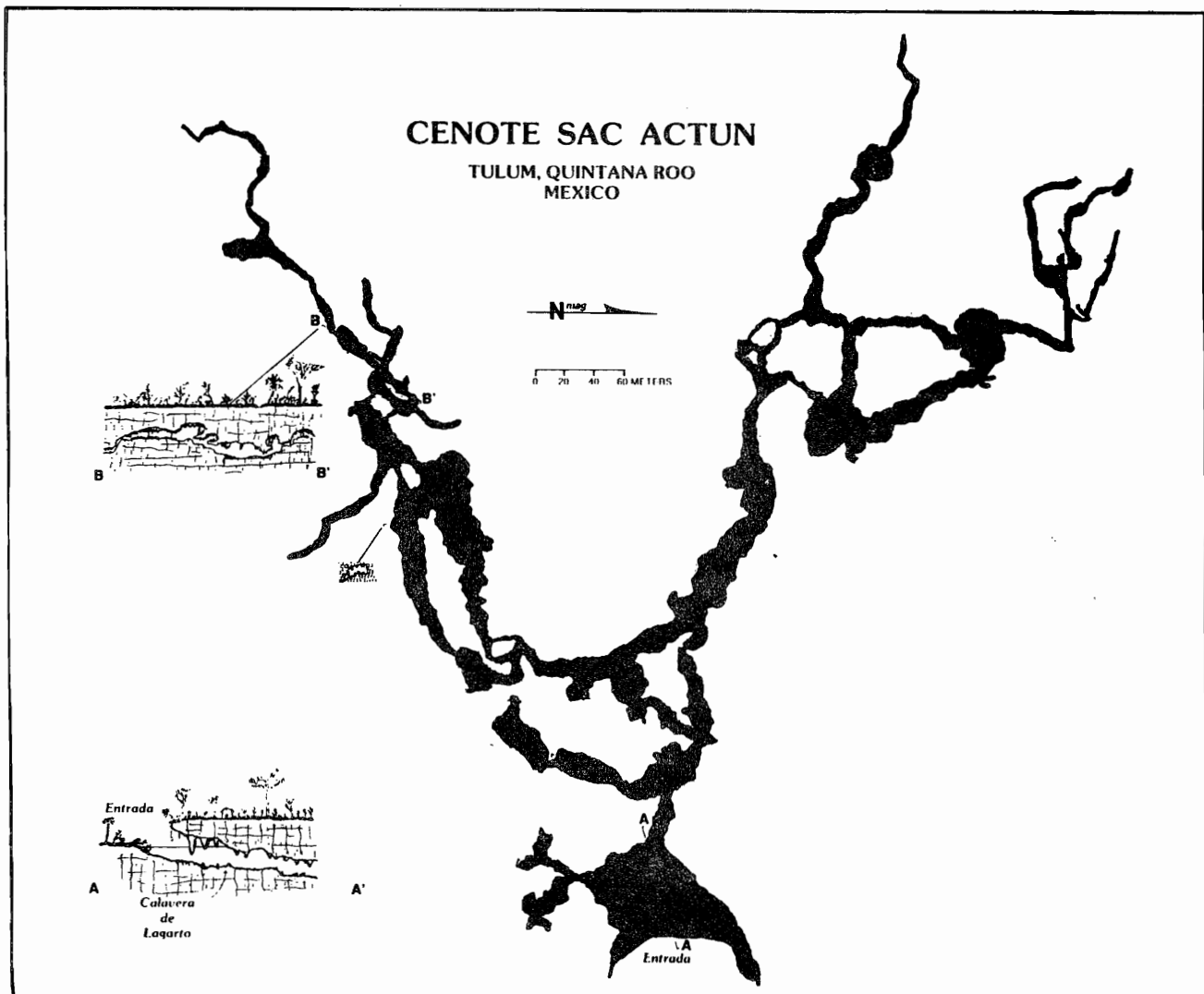


Fig. 26 Planta del Cenote Sac Actún

2.- PLANICIES Y LOMERIOS DEL SUR

Esta región presenta un karst de elevaciones menores plegadas y/o falladas. Desde el punto de vista kárstico puede subdividirse en dos zonas con distinta fisiografía, estratigrafía, y origen:

2.1.- La **Sierrita de Ticul** consiste en dos crestas paralelas que van de Maxcanù hasta el lago Chankanab, separadas por un valle. El relieve es mucho mayor que en la planicie costera. El desarrollo kárstico está limitado a cavernas, pero, a pesar de que todo el drenaje es subterráneo, ninguna cavidad recibe escurrimientos superficiales. Las cuevas son muy abundantes y son de muchos tipos, desde pequeños tiros verticales con galerías estrechas hasta grandes salones de más de 30 m de diámetro; sin embargo, las más comunes son grandes salones freáticos de forma oval, fósiles, de más de 50 m de diámetro y 20 m de altura, interconectados por estrechas galerías o grandes túneles horizontales. La mayor cavidad conocida en esta zona es Actùn Xpukil, que consta de al menos 8 grandes salones y más de un km de galerías. Ninguna cavidad cuenta con agua permanentemente, pero en algunas de las más profundas, como Xpukil o las grutas de Loltùn (fig. 27) hay evidencias de que, en temporadas de extrema precipitación, el nivel freático se eleva lo suficiente como para inundar las porciones más profundas.

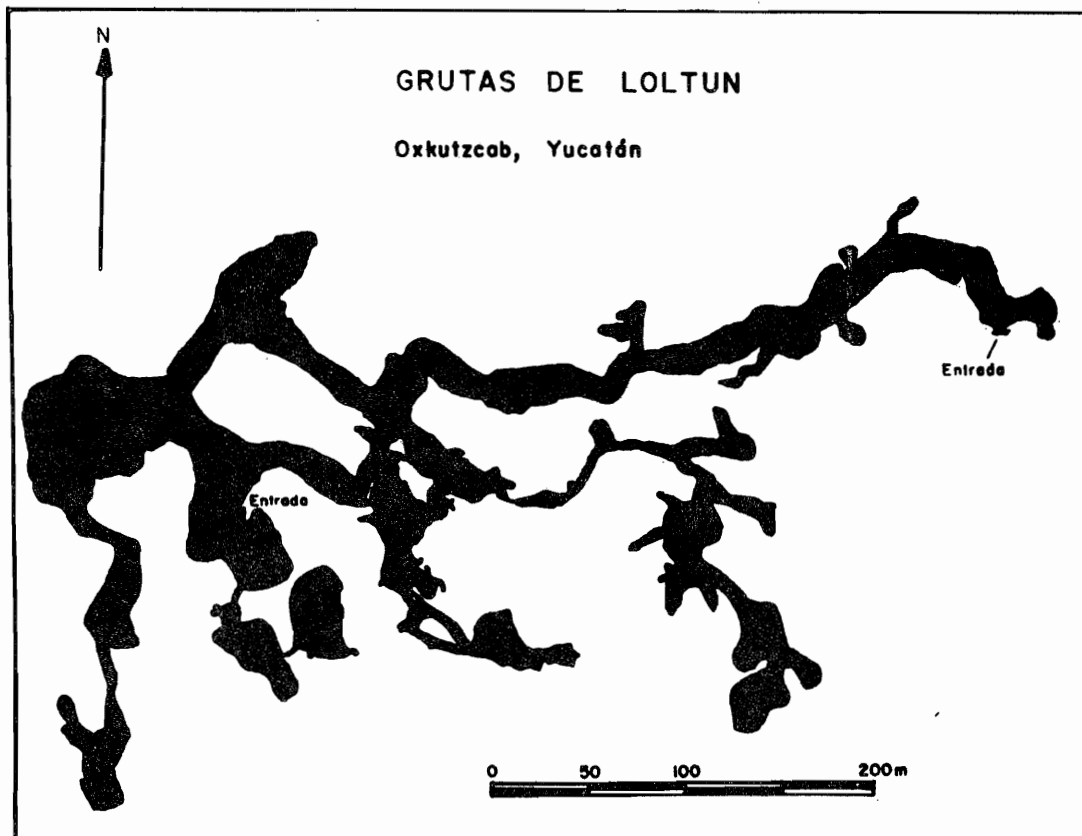


Fig. 27 Planta de las grutas de Loltùn

2.2.- La **Sierra de Bolonchén**, al sur de la anterior, está formada por gran cantidad de pequeñas colinas de forma redondeada, con elevaciones que van de 100 a 300 metros, y valles de fondo plano de hasta 5 km de ancho, cerrados, secos y rellenos por suelos de hasta 10 m de espesor. Ispording (1975) consideró que se trataba de un karst de conos (kegelkarst) incipiente, pero, con base en el desarrollo kárstico general del área y en la forma de las colinas, se considera que se trata de un karst de cúpulas (kuppenkarst). Es el único karst de la península que presenta todas las zonas hidrodinámicas bien desarrolladas. El relieve, mucho mayor que en cualquier otro lugar de la península, junto con la inclinación de las capas, de hasta 40 grados en algunas localidades, permiten un desarrollo vertical importante. La Gruta de Xtacumbilxunam (fig. 28) alcanza una profundidad de 105 m y está formada por una serie de tiros verticales (el mayor de 60 m) separados por galerías subhorizontales.

La mayoría de las entradas reciben drenaje superficial y son de tipo sumidero. Algunas cavernas en esta zona son muy activas en época de lluvias, y por lo menos una, la Gruta de San José, presenta un arroyo activo todo el año. Casi todas las cavidades descienden hasta el nivel freático, donde terminan en amplios sifones. El desarrollo horizontal también puede ser importante, pero las cuevas son principalmente vadosas, a excepción de las partes más profundas, que pertenecen a la zona hidrodinámica de fluctuación estacional.

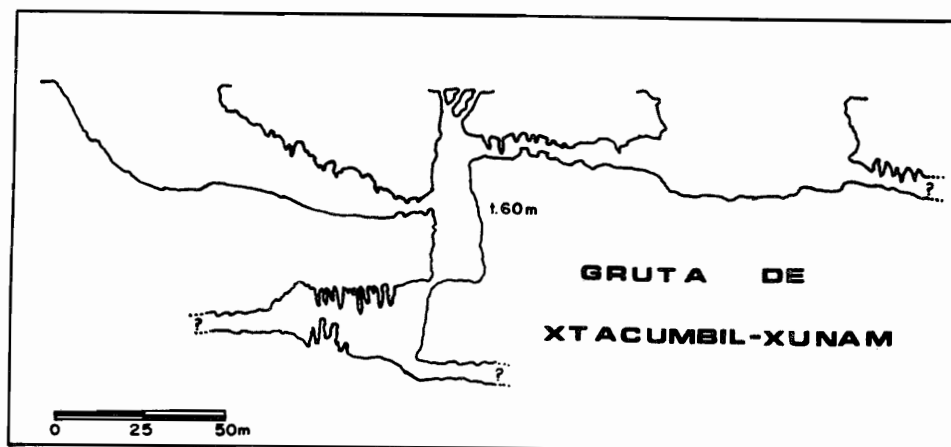


Fig. 28 Perfil parcial de la gruta de Xtacumbil-xunam

CHIAPAS

(Sistemas montañosos de bloque y plegamiento)

Sólo en dos de las regiones que integran esta provincia existe un desarrollo importante del karst: las sierras y altiplanos del norte de Chiapas y la depresión central; también hay un pequeño desarrollo en un macizo calcáreo enclavado en la porción oriental de la región Montañas Bloque Cristalinas del Soconusco.

En apariencia sólo existen dos trabajos sobre el karst de esta provincia. El primero (Whitaker, 1988) abarca de forma general a toda la provincia, dando principal importancia a las zonas exploradas por la expedición espeleológica británica de 1982. El segundo (Frezzotti, 1987) está dedicado principalmente a dos zonas, la selva del Mercadito y la sierra Los Altos. Además existen numerosos artículos espeleológicos sobre las exploraciones realizadas por canadienses, que aparecen en diversos números de la revista *Canadian Caver*, una lista de los cuales presenta Whitaker (*op. cit.*) en su trabajo.

Geología.- En esta provincia prácticamente todos los fenómenos kársticos estudiados se desarrollan en calizas de edad albiano-cenomaniana, de ambiente de plataforma, pertenecientes a la Caliza Sierra Madre. Estas rocas están dispuestas en bandas de dirección noroeste-sureste, encontrándose las más antiguas al suroeste, donde sobreyacen a un basamento cristalino de edad pérmica (Morán, 1985), y las más jóvenes al noreste, donde los sedimentos calcáreos se hunden por debajo de los sedimentos terrígenos terciarios de la Planicie Costera de Tabasco-Campeche. A estas rocas subyacen sedimentos continentales triásico-jurásicos (Formación Todos Santos) y están cubiertas por calizas arcillosas de la Serie Ocozocuatla (Whitaker, 1988). Se observan también algunas bandas de caliza miocénica en la selva Lacandona.

Toda esta secuencia mesozoica ha sido deformada en varios eventos desde fines del Cretácico hasta el Reciente (Morán, 1985).

1.- SIERRAS Y ALTIPLANO PLEGADOS DEL NORTE DE CHIAPAS

Es en esta región donde se localizan los mayores fenómenos kársticos de Chiapas. Se trata de un karst de elevaciones montañosas plegadas y falladas muy desarrollado.

1.1.- En las porciones de alturas más bajas (al norte del altiplano de San Cristóbal) se encuentra un karst de tipo tropical, con abundancia de todos los tipos de formas, predominando los conos (keggels), especialmente en la región de Teapa, Tab. Se han explorado pocas cavidades en esta porción; una de las más impresionantes es el Shumulá, cerca de Agua Azul, que es un tramo subterráneo de 900 m de longitud de un río con un caudal que varía entre 6 y 30 m³/s. En las regiones de Teapa y Tacotalpa, Tab., varias cavidades funcionan como resurgencias con caudales importantes, entre otras el Sistema Agua Blanca, con más de 5 km explorados a la fecha (Lord, com. pers.). Además se conocen varias cavernas fósiles y semifósiles en los mogotes y conos (keggels) de Teapa, como la Gruta de Cocona (fig. 29) (Pisarovicz, 1987, 1988), de origen freático.

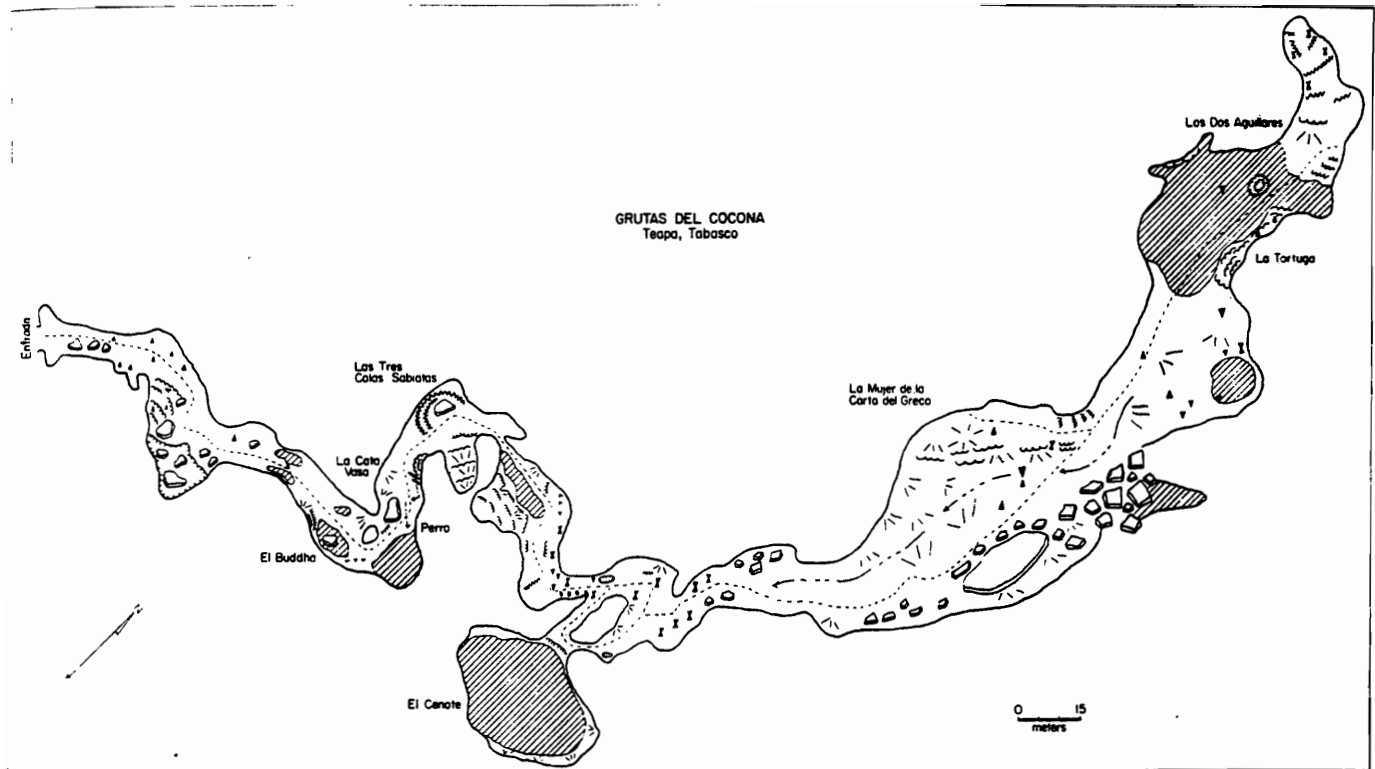


Fig. 29 Planta de las Grutas de Coconá

1.2.- En la porción occidental, en la Selva del Mercadito (alrededores de la presa de Malpaso) en una región de karst tipo tropical muy desarrollado, con gran abundancia de conos (keggels) y torres (turms) se han explorado varias cavidades: el Sistema La Lucha (fig. 30), un gran sótano provocado por el hundimiento de la bóveda sobre el cauce de un río subterráneo, cuyas galerías tienen un origen freático, y el Sistema Pecho Blanco, un sumidero de dimensiones importantes, de origen totalmente vadoso (Frezzotti, 1987).

1.3.- La porción del altiplano de San Cristóbal, en cambio, es un karst de tipo alpino, en el que son abundantes las dolinas de disolución; también se encuentran uvalas y poljes, entre otros en el que está situada la ciudad de San Cristóbal. En los alrededores de Tenejapa se han explorado varios sumideros que absorben caudales importantes, destacando el sumidero Yochib (fig. 31), con 3 km de longitud y 213 m de profundidad, cuya exploración fue muy difícil debido al caudal del río que la recorre (1 a 3 m³/s en época de secas) (Steele, 1985). Otras cavidades importantes son el sumidero Chicja y el sumidero Tenejapa. Todas estas cavernas tienen un origen vadoso con un desarrollo mixto (alternancia de secciones horizontales con tiros y cascadas verticales), en general siguen la dirección del buzamiento predominante al noreste, y están influenciadas por las fallas normales y de movimiento lateral que abundan en la región.

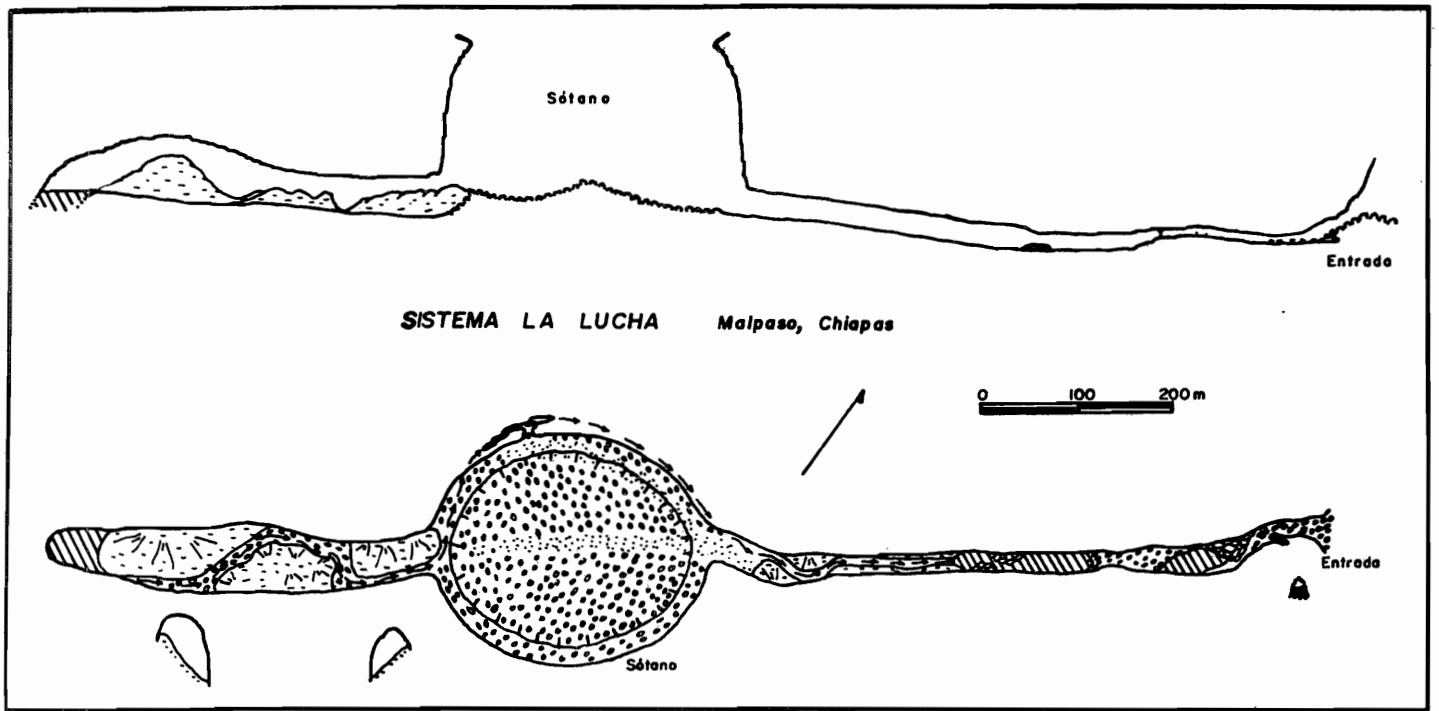


Fig. 30 Planta y perfil del sistema la Lucha

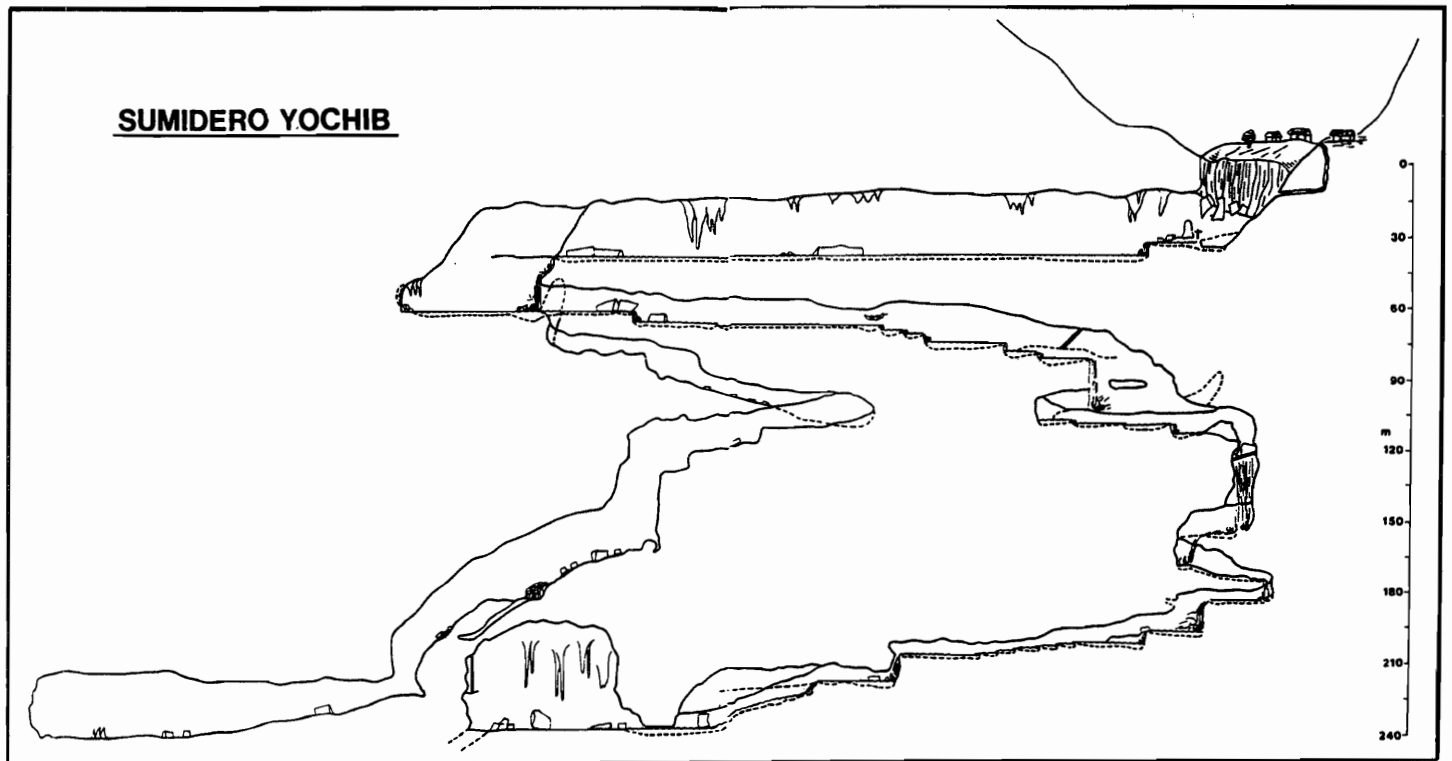


Fig. 31 Perfil del Sumidero Yochib

Este altiplano limita hacia el sur con la Depresión Central de Chiapas. Las aguas del Polje de San Cristóbal y de la uvala de Rancho Nuevo drenan hacia el sur, también siguiendo el buzamiento. Existe, por tanto, un parteaguas subterráneo entre la cuenca de Tenejapa y las aguas que drenan hacia el Grijalva. La cavidad más importante de esta última cuenca, y de toda la región es la Gruta de San Cristóbal (Rancho Nuevo) (fig. 32). Se trata de un sumidero semifósil en el que se han explorado 10,218 m, con una profundidad de 520 m. La mayoría de sus galerías son de tipo vadoso, aunque en la porción central existen túneles totalmente fósiles de origen freático, que indican un rejuvenecimiento del sistema (Frezzotti, 1987).

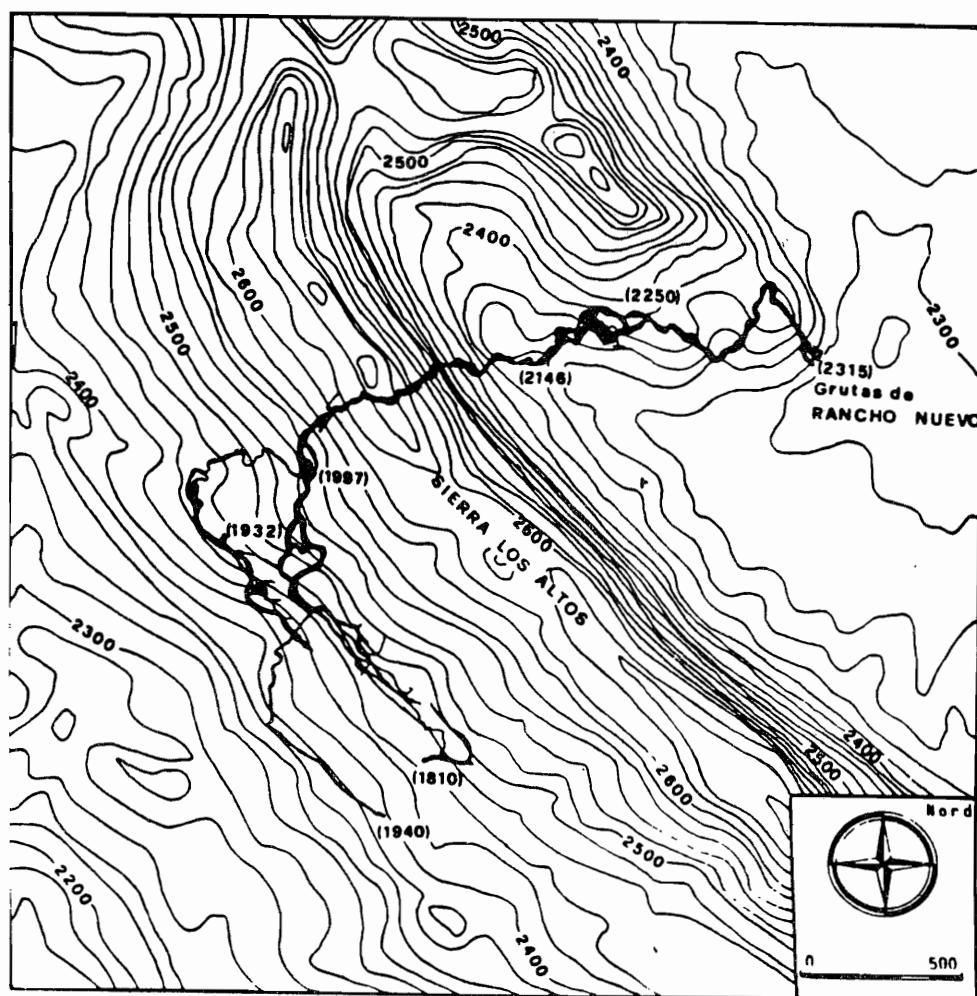


Fig. 32.- Planta de las grutas de Rancho Nuevo, sobrepuesta al mapa topográfico del área.

2.- DEPRESION CENTRAL DE CHIAPAS

En esta región, debido a la menor altitud y a la precipitación pluvial baja, el karst está menos desarrollado que en la región anterior y se trata de un karst propio de clima cálido subhúmedo. Los cerros tienen formas convexas, con planicies en las partes altas, en las que hay dolinas y otras formas de absorción. Estos cerros están separados entre sí por anchos valles por los que corren el río Grijalva y sus afluentes, excepto en el Cañón del Sumidero, de paredes verticales. Prácticamente todas las cavidades son vadosas, pequeñas y fósiles, menos aquellas cuya cuenca de absorción se localiza en las partes altas de la ladera que sube hacia la región anterior, y que se ha interpretado como una falla normal (Frezza, 1987).

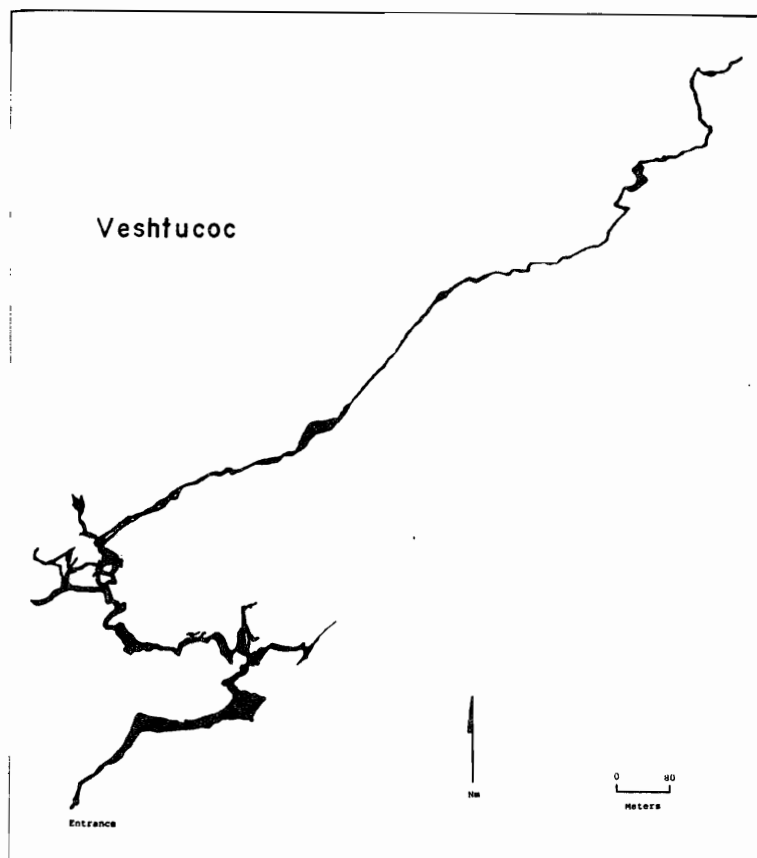


Fig. 33.- Planta de Veshtucoc

Entre estas cuevas destaca Veshtucoc (fig. 33), una resurgencia activa temporalmente, que se ha explorado a lo largo de 4,930 m, y que es ligeramente ascendente, alcanzando una altura de 380 m (Smets, 1987); está formada en la parte baja por grandes túneles freáticos creados en la zona de fluctuación estacional, y cañones vadosos en la parte alta. Otra cavidad importante es El Chorreadero, resurgencia de un arroyo subterráneo temporal que drena un sumidero ubicado en las cercanías de la carretera Tuxtla-San Cristóbal. Se trata de una cavidad transitable desde el

sumidero hasta la resurgencia, con 3,284 m de largo y 345 m de desnivel, que ha sido descrita como una de las más bellas travesías del mundo (Hale, 1986). Todas las galerías son de origen vadoso, y tiene muchas cascadas y algunos salones grandes. Ambas cavidades siguen la dirección del echado, pero presentan influencia de fallas y fracturas.

3.- MONTAÑAS BLOQUE CRISTALINAS DEL SOCONUSCO

En esta región solamente se encuentra karst en una pequeña zona al norte de Motozintla en la que afloran rocas calcáreas del mesozoico. La parte más alta es un karst tipo alpino, con gran cantidad de dolinas y uvalas de disolución, mientras que en la porción más baja se observa un karst de conos (keggelkarst) propio de condiciones tropicales. Las exploraciones realizadas no han encontrado cavidades importantes, por lo que aparentemente se trata de un karst muy joven y poco desarrollado (Lamlli, 1988).

SIERRA MADRE DEL SUR

(Montañas bloque y plegadas)

Esta provincia se encuentra subdividida en 5 regiones: Montañas Bloque de Jalisco, Vertiente Costera, Cordillera de Colima-Oaxaca, Montañas y Altiplano de la Mixteca y Sierras Orientales de Oaxaca. En todas ellas se ha desarrollado el karst, aunque sea en forma mínima. El desarrollo más importante está sin lugar a dudas en las Sierras Orientales de Oaxaca, por lo que ésta se tratará en primer lugar y las demás regiones de esta provincia se agruparán en un solo inciso.

1.-SIERRAS ORIENTALES DE OAXACA

Esta región es probablemente la que presenta el desarrollo kárstico más espectacular de México, debido al clima cálido-húmedo que la afecta y a su gran relieve. Se trata de un karst de elevaciones montañosas plegadas y falladas, en el que se encuentran las cavidades más profundas de América.

Excepto para la zona de Zongolica, Ver. (Ackermann, 1981; Meus, 1987; Espinasa-Pereña, en prensa), casi no existen trabajos de geomorfología y/o hidrogeología kárstica sobre esta región. En cambio existe una gran cantidad de trabajos de índole espeleológica sobre sus cavidades, entre los que destacan los de Stone (1977, 1979a, 1979b, 1984), Steele (1978), Atkinson (1978, 1980), Robertson (1983), Minton (1984, 1985, 1988), Fellers *et. al.* (1987), Raines (1987), Smith (1988), Farr and Vesely (1988), Meyers (1988), Tremblay (1988), London (1989), Paradis (1989) y Worthington (1989). Además, cada año se realizan diversas expediciones espeleológicas, que publican informes sobre sus exploraciones. La descripción de esta región kárstica está basada en estos trabajos y en las observaciones realizadas por el autor durante el transcurso de varias expediciones y salidas de campo.

Geología.- Todos los fenómenos kársticos de la región están desarrollados en los sedimentos calcáreos de edad albiano-cenomaniense pertenecientes a las Formaciones Orizaba y Maltrata. La primera consiste en grandes espesores de calizas depositadas en un mar somero, en facies de plataforma, con abundantes parches arrecifales, en estratos gruesos a masivos, prácticamente sin impurezas. La segunda está formada por sedimentos carbonatados de talud y cuenca, en estratos delgados, con abundantes bandas y nódulos de pedernal e intervalos calcáreo-arcillosos (Espinasa-Pereña, en prensa). Ambas unidades sobreyacen a una secuencia terrígena de edad jurásica, y están cubiertas por sedimentos terrígenos tipo flysch de edad cretácica tardía. La región sufrió un basculamiento hacia el noreste a principios del Terciario, que provocó una serie de fallas de tipo inverso y pliegues en sentido nornoroeste-sursureste (Morán, 1985), de gran influencia para el desarrollo kárstico, y ha sufrido otros eventos deformacionales desde entonces.

Se distinguen una serie de valles de dirección general oeste-este, que permiten separar a la región en varios macizos distintos, que se describen de norte a sur:

1.1.- El más septentrional es el del Cerro Tepozteca, al norte de Orizaba. Se trata de un karst alpino, en el que la forma más abundante es la dolina de disolución, aunque en esta porción se observa una clara influencia de los rellenos volcánicos cuaternarios (dolinas y sumideros rellenos por materiales volcánicos), por su cercanía al Eje Neovolcánico Transversal. Durante los trabajos realizados para este estudio se exploró parcialmente una cavidad, el sótano de El Berro, hasta una profundidad de -656 m, sin llegar a su fondo (fig. 34). Consiste en una serie de tiros verticales vadosos, y absorbe las aguas acumuladas en el relleno volcánico del valle de El Berro.

En las porciones en que las calizas están expuestas, se observa un lapiaz muy característico tipo acanalado, afectado por la gelifracción, ya que alcanzan alturas mayores a 3,000 msnm. Apenas se ha iniciado la exploración de esta zona, pero los resultados preliminares indican un gran potencial.

1.2.- Al sur de Cd. Mendoza está la región de Soledad Atzompa. El paisaje es típico de un karst alpino, con abundantes dolinas de disolución muy notables que definen el relieve. Las dos cavidades más importantes son los sótanos Itamo (fig. 35), de 454 m de profundidad, y SOL-2, de casi 3 km de largo. Ambos tienen un desarrollo vadoso, con una intercalación de tiros verticales y meandros horizontales, y terminan en sifones. Además, en las calizas de la Formación Maltrata existen varios sumideros, demasiado estrechos para ser explorados. Es muy marcada la diferencia entre las cavernas desarrolladas en la Formación Orizaba, amplias y de grandes dimensiones, y las de la Formación Maltrata, estrechas y en su mayoría impenetrables. Sin embargo, es casi inapreciable la diferencia en el relieve superficial (Espinasa-Pereña, en prensa).

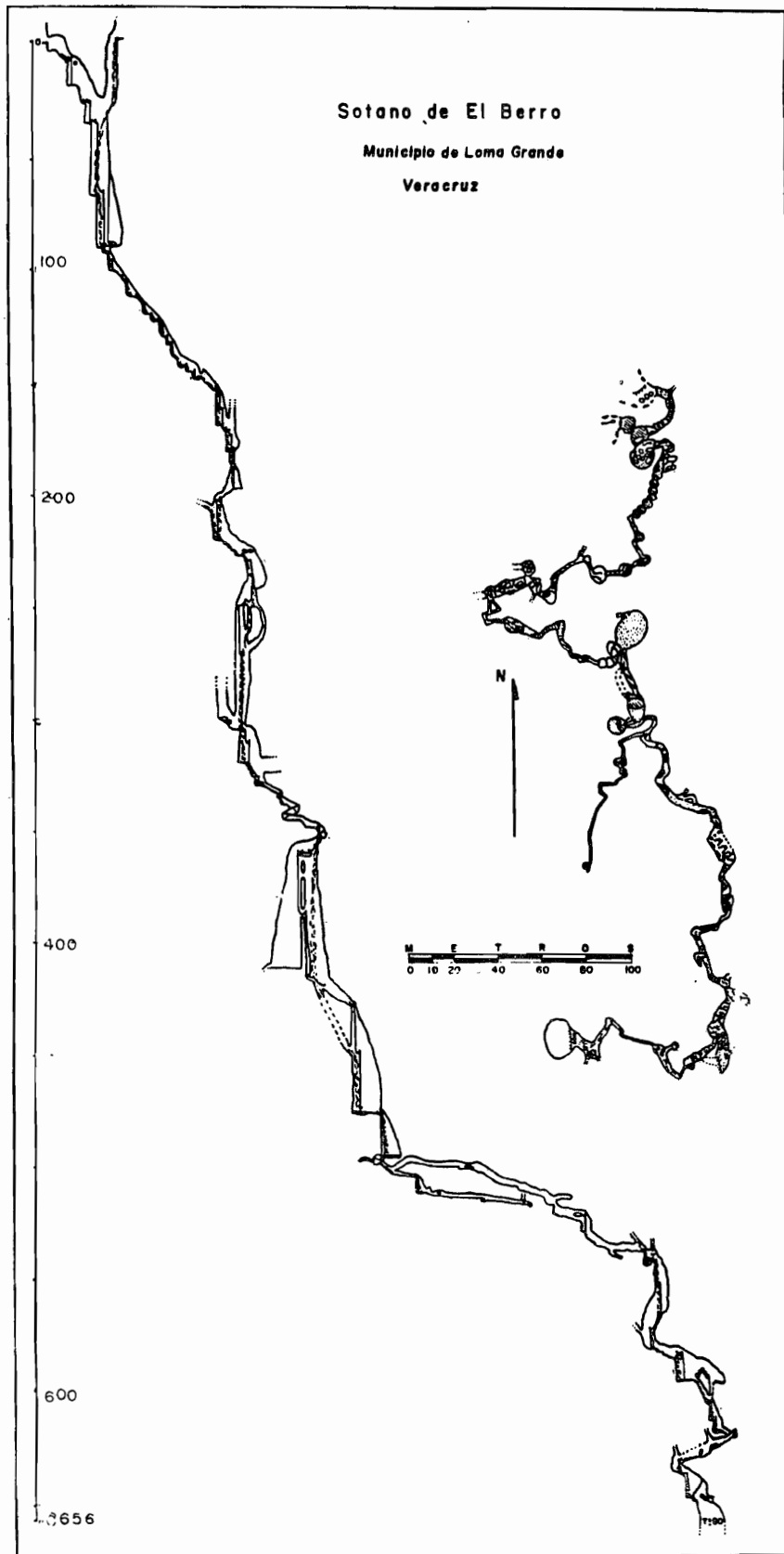


Fig. 34 Perfil y planta del sótano de El Berro

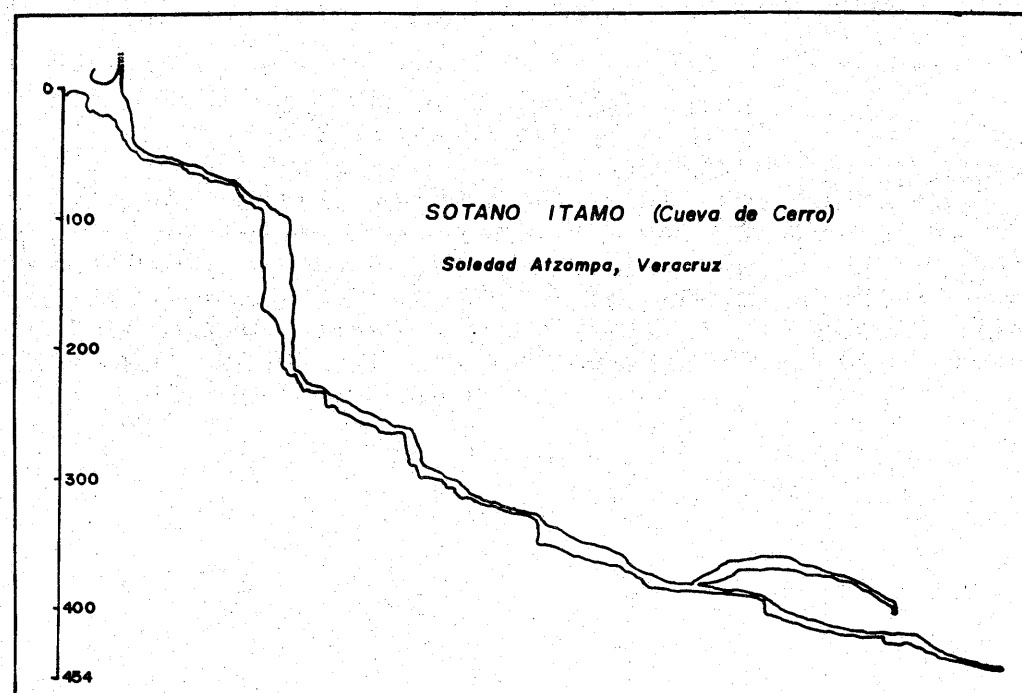


Fig. 35 Perfil del sótano Itamo

1.3.- Al oriente de Soledad Atzampa está la **Sierra de Zongolica**, con un relieve tropical muy marcado por conos (keggels), torres (turms), etc. Es la cuenca alta del río Tonto (fig. 36), que cuenta con grandes ríos (Popoca, Altotoco-Altotonga y Cuexalostoc) originados sobre rocas impermeables, que al llegar a las calizas son absorbidos en masa, y forman grandes sumideros de difícil exploración por su gran caudal.

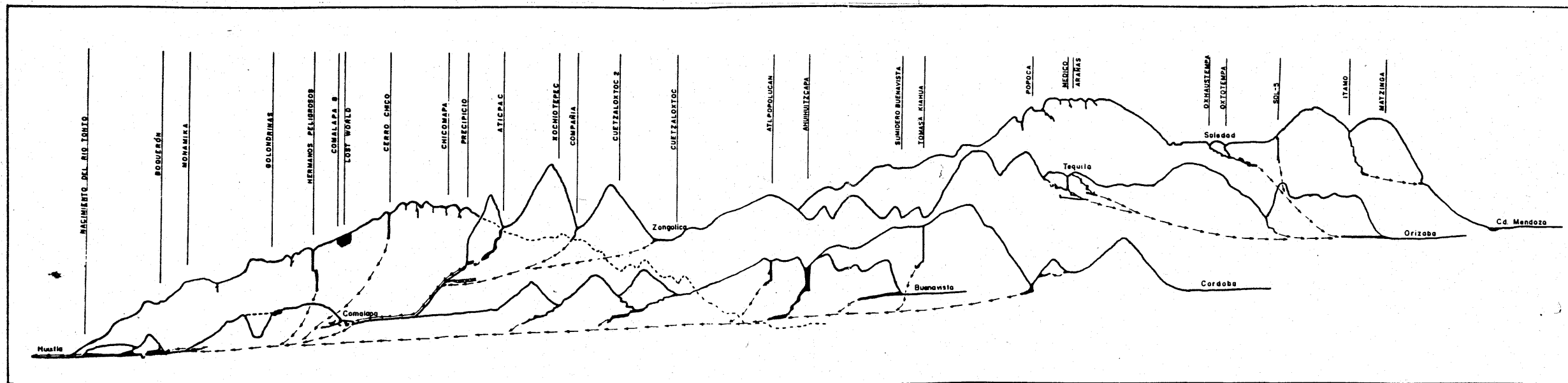


Fig. 36 Perfil Hidrológico de la sierra Zongolica

Los cursos subterráneos de los ríos están marcados en la superficie por grandes dolinas y cavidades de colapso, como Ahuihuitzcaoztoc y el sótano de Nogales. Se distingue en la porción central de esta cuenca kárstica el gran polje de Comalapa, que forma un nivel de base para las aguas de los ríos Altotoco-Altotonga, Popocatehl y Cuexalostoc. En la porción oriental se encuentra la Sierra Modelo, integrada en su totalidad por un **keggelkarst** (Karst de conos) muy impresionante, en el que son abundantes las cavidades vadasas verticales, como el Sótano de Ahuihuitzcapa (fig. 37), de 515 m de profundidad, consistente en una serie de tiros verticales hasta que, al mismo nivel del Polje de Comalapa, el desarrollo se vuelve horizontal, en la zona hidrodinámica de fluctuación estacional.

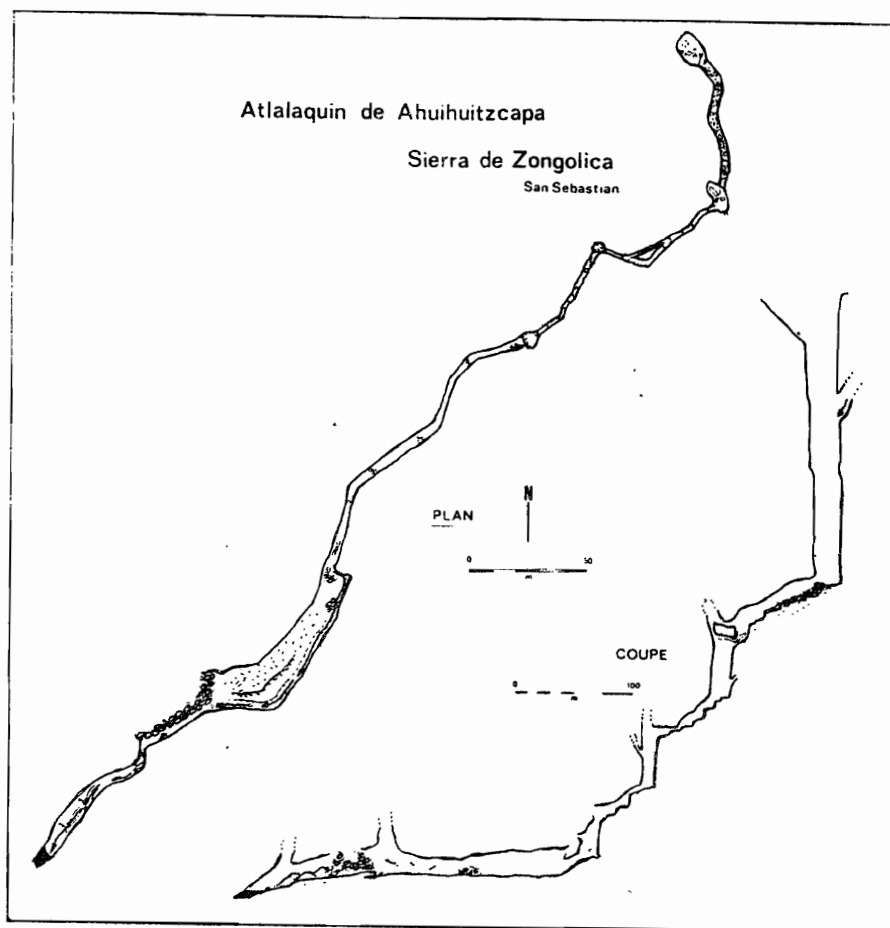


Fig. 37 Planta y perfil de Ahuihuitzcapa

Aparentemente, la mayoría de las cavidades de la Sierra Modelo drenan hacia Monamika, al igual que los ríos antes mencionados. Estas aguas se unen al río Moyatl para hundirse más adelante en el sumidero del Boquerón (fig. 38), un inmenso cañón subterráneo de 500 m de largo, y volver a resurgir en el nacimiento del río Tonto. Las cavernas son de tipo vadoso en las partes altas, y de tipo freático en las cercanías del nivel freático del polje de Comalapa (Ackermann, 1981; Meus, 1987; Espinasa-Pereña, en prensa).

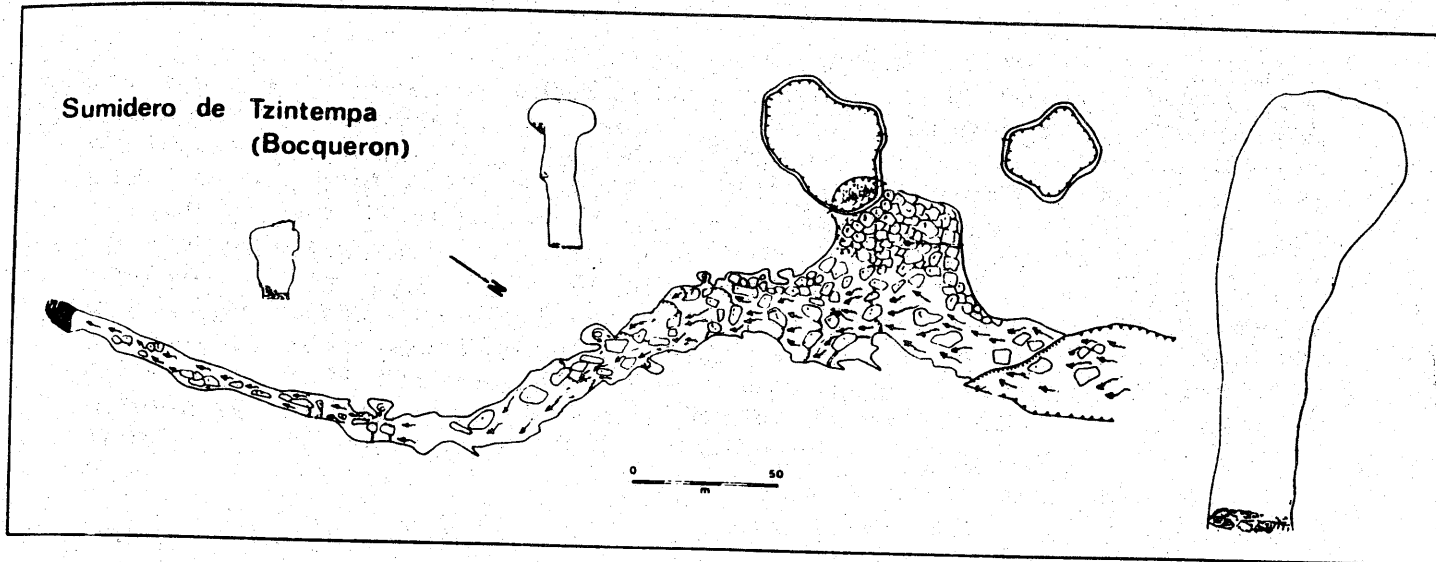


Fig. 38 Planta de El Boquerón

1.4.- Al sur se encuentra la zona de la **Sierra Zoquitlán**. Mientras que la zona de resurgencias (alrededores de Tlacotepec de Diaz) corresponde a un karst tropical, la porción alta (alrededores de Zoquitlán, Alcomunga, Huitzmalloc, etc.) en la que se enclavan las formas de absorción, es de tipo alpino. Se han encontrado una gran cantidad de cavidades, todas ellas de tipo vadoso, entre las que destacan Akemati (-1,200 m) (fig. 40), Ocotempa (-1,070 m) (fig. 41), Akemabis (-1,015 m) y otras. Todas ellas son activas, vadosas, y están conformadas por una sucesión de tiros verticales hasta alcanzar el nivel de las resurgencias, donde se presentan grandes salones y galerías horizontales y lodosas, de recarga del nivel freático.

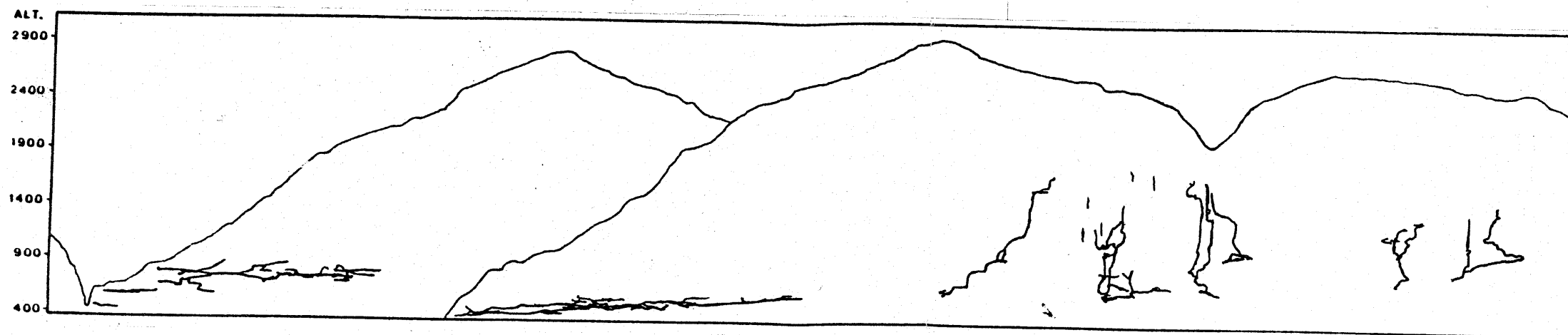


Fig. 39 Perfil de la Sierra Zoquitlán

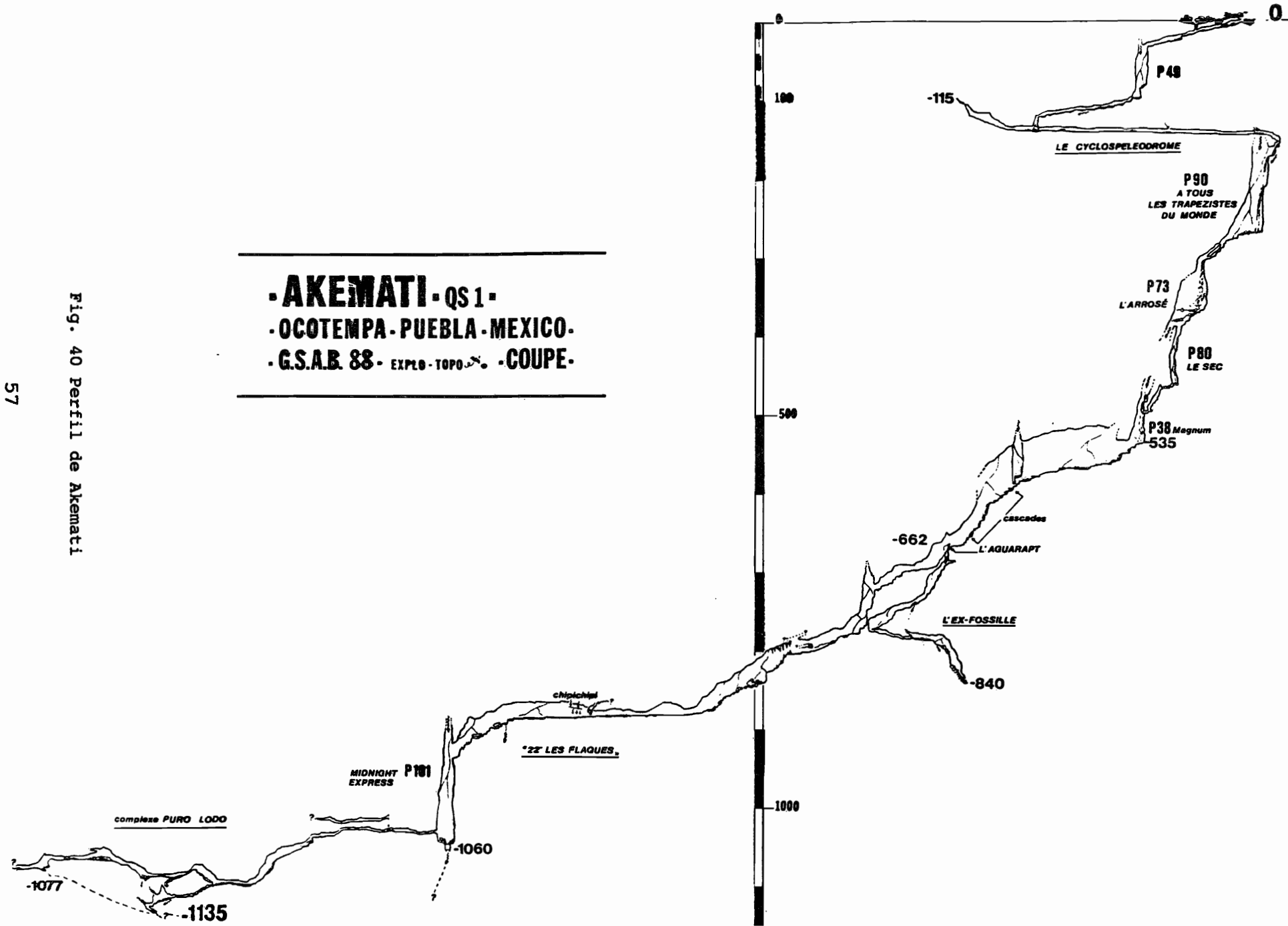


Fig. 40 Profil de Akemati

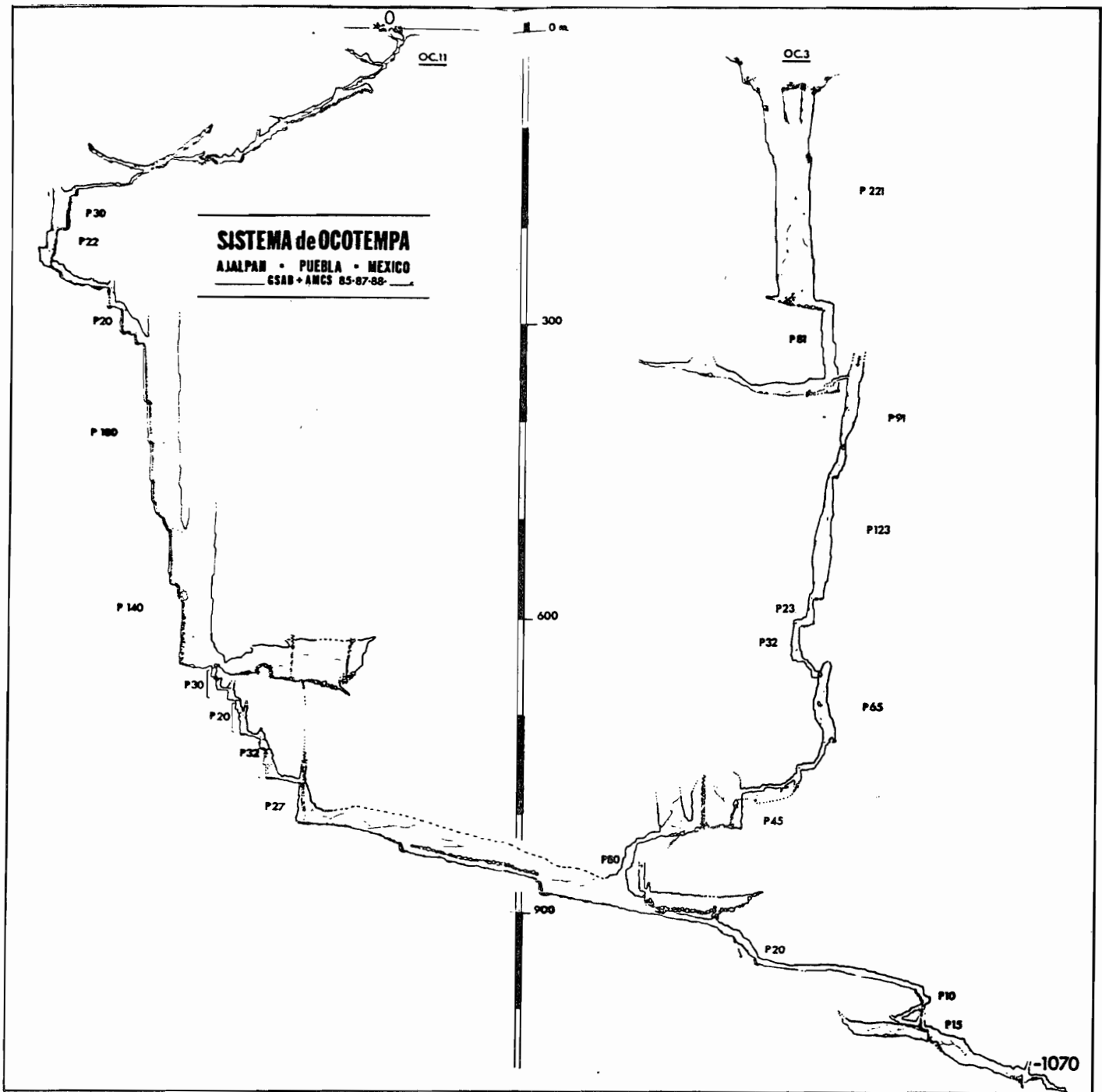


Fig. 41 Perfil del sistema Ocotempa

Las resurgencias, desarrolladas en una zona de karst tropical son en general de tipo freático, semifósiles, y muy extensas. Las mayores son Coyolatl (19 km, hasta 10 m³/s) (fig. 42), Atlixicalla (11 km) y Yohualapa (8 km) (London, 1989; Grebeude, com. pers.).

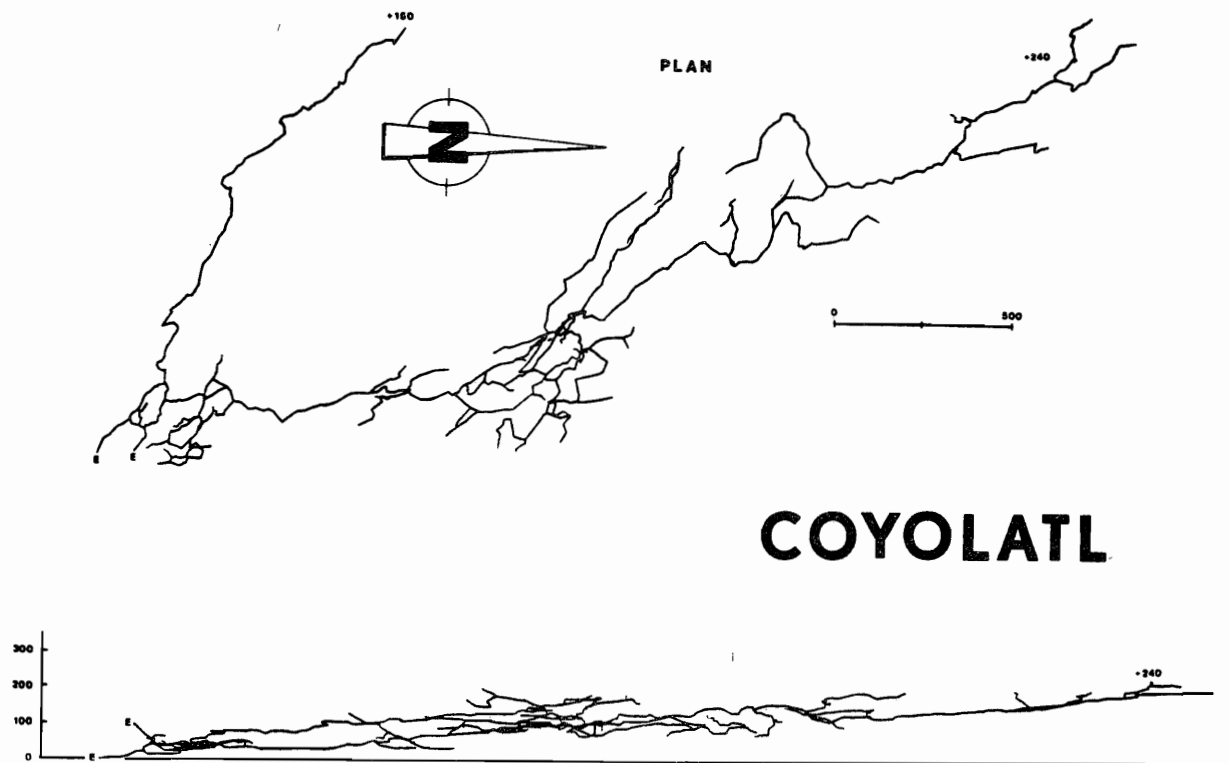
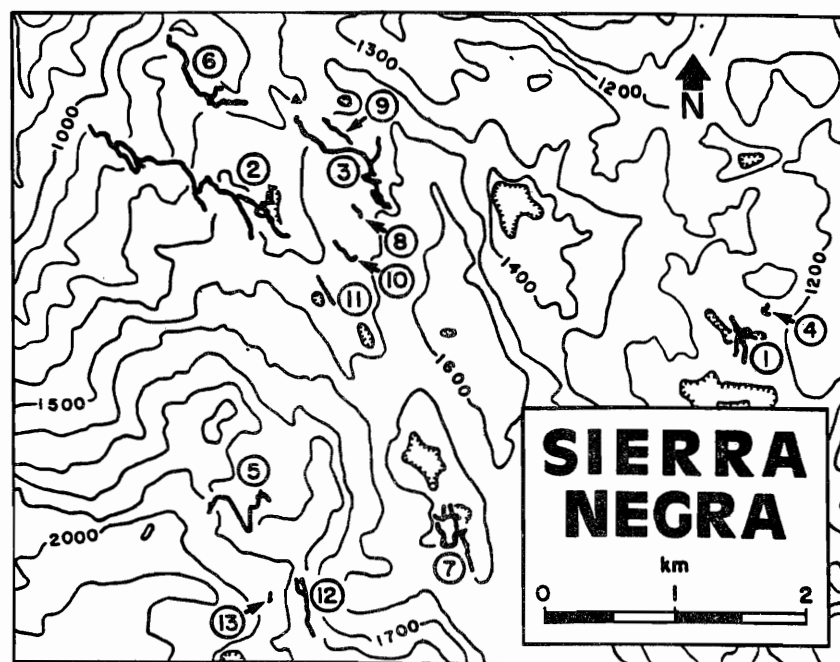


Fig. 42 Planta y perfil de Coyolatl

Es interesante que en un perfil del área (fig. 39) se puede apreciar claramente la existencia de un nivel impermeable. Las cavidades descienden en forma vertical hasta alcanzar este nivel y después se desarrollan horizontalmente hasta las resurgencias. Esto indica la ausencia de las zonas hidrodinámicas de saturación completa y de circulación profunda debido probablemente a un contacto con rocas impermeables, ya sea normal o tectónico. También hay que hacer notar que aunque en la superficie existen dos tipos de karst en cuanto al relieve (alpino y tropical), hidrológicamente se trata de un solo sistema.

1.5.- Al sureste se encuentra la **Sierra Negra**. Se trata de un karst alpino, aunque en las partes más bajas (curso del río Coyolapa) tiene características de un karst tropical. Hacia el poniente está limitado por el cerro Zempoaltépetl, de más de 3,000 m de altitud. Se caracteriza por presentar grandes dolinas alineadas a lo largo de una serie de fracturas de rumbo nornor-oeste-sursureste y noreste-suroeste (Tremblay, 1988). Se han encontrado, hasta la fecha, dos sistemas de cavernas distintos: El Sistema de Angel, de 533 m de profundidad y casi 5 km de largo, y el Olfastle Niebla, de 518 m de profundidad, pero que aún no se ha explorado completamente (fig. 43). Hipotéticamente ambas cavidades, controladas por la estructura (fallas normales) pero siguiendo en general la inclinación de la estratificación, forman parte de un mismo sistema hidrológico que drena hacia el

norte a una resurgencia desconocida en el valle del Coyolapa (Worthington, 1989). Las dos cavernas son de tipo vadoso, formadas por una sucesión de tiros verticales y galerías subhorizontales activas.



Cavidades de la Sierra Negra

Nombre	Profundidad	Longitud
1 Sótano de los Planos	-694 m	1 526 m
2 Sistema del Angel	-533 m	4 857 m
3 Olfastle Niebla	-518 m	3 114 m
4 Sótano de Alhuastle	-410 m	596 m
5 Sumidero del Año Nuevo	-402 m	1 173 m
6 Cueva de Eligio	-230 m	2 218 m
7 La Ciudad	-226 m	1 677 m
8 TP-5-1423	-107 m	206 m
9 Cueva de Sánchez	-104 m	354 m
10 TP-5-70	-97 m	369 m
11 TP-4-52	-93 m	328 m
12 Casa Arenas	-84 m	747 m
13 Hoyo de Niebla	-28 m	116 m

Fig. 43

1.6.- Al sur de la Sierra Negra, limitada al norte por el valle del río Petlapa, al sur por el profundo cañón del río Santo Domingo, y al este y oeste por rocas impermeables, se encuentra la región de Huautla. Se caracteriza por la abundancia de grandes dolinas de disolución separadas por aristas estrechas, que conforman un karst de tipo alpino, exceptuando las regiones más bajas, en las cercanías de los ríos Petlapa y Santo Domingo, que presentan formas de tipo tropical. En la porción norte se han explorado, en los alrededores del pueblo de Chilchotla, una serie de cavidades vadosas, tanto fósiles como activas, entre las que cabe destacar a Sonyance (-745 m), Nitá Xongá (-740 m, con un tiro de 310 m) y Guixani Ndia Guinjao (-940 m). Estas cavernas,

junto con varias otras, aparentemente forman un solo sistema, que se dirige hacia el nor-noroeste, y probablemente resurge en el cauce del Petlapa (Warild, 1987) (fig. 44).

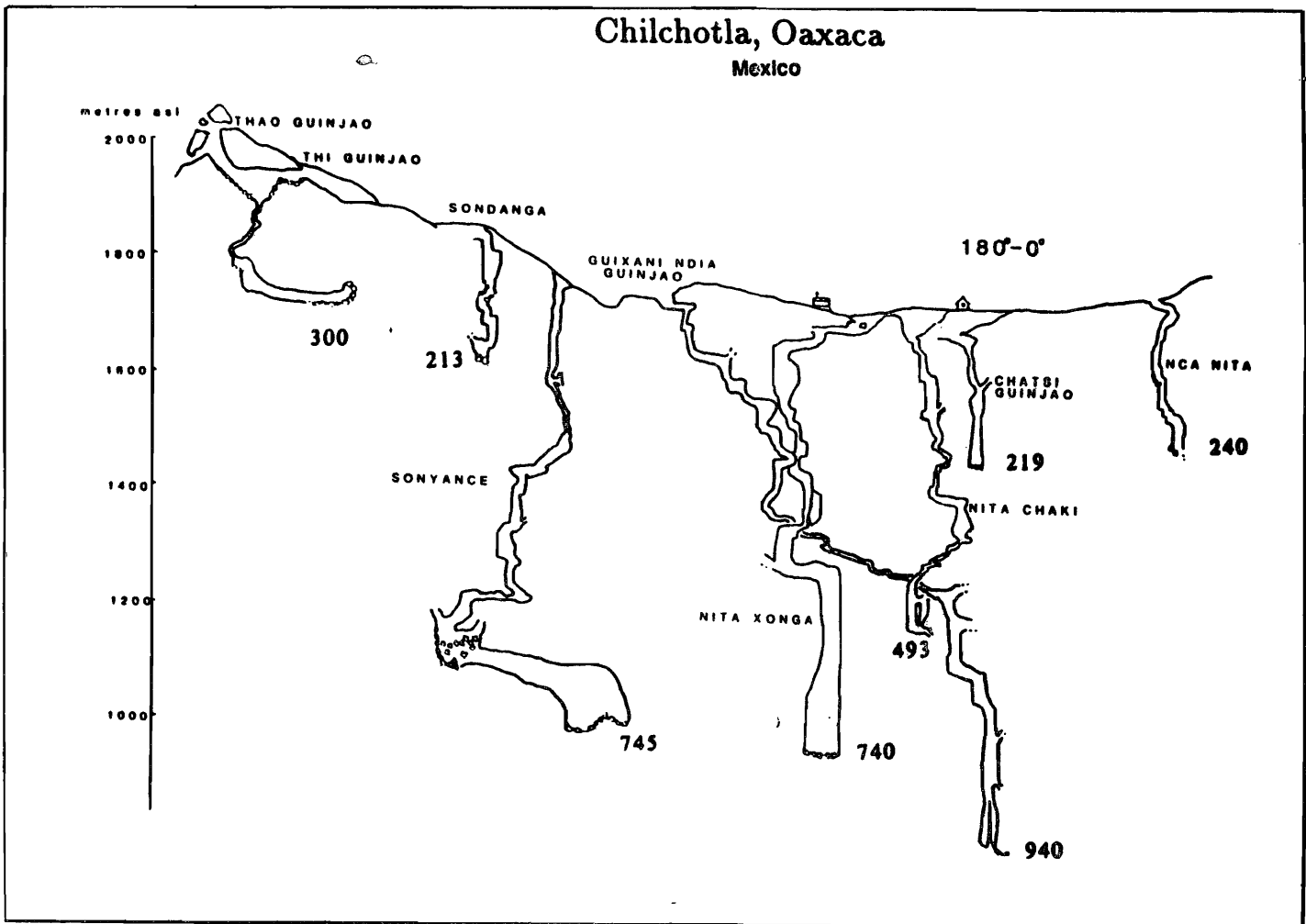


Fig. 44 Perfil del área de Chilchotla

Un poco más al sur, al oriente de Huautla y en los alrededores de San Agustín se ha explorado desde 1965, un gran sistema de cavidades, que actualmente alcanza 1,353 m de profundidad y 52,653 m de longitud, con más de 15 entradas, conocido como el Sistema Huautla (figs. 45 y 46). La información general se encuentra en numerosas publicaciones de la AMCS, entre las que sobresalen las de Stone (1977, 1979 a, 1979 b, 1983, 1984), Steele (1978), Atkinson (1980), Minton (1984, 1985, 1988) y Smith (1988). Además, Smith está realizando su tesis de maestría sobre la hidrogeología del Sistema Huautla (Smith, com. pers.). Este sistema se encuentra desarrollado básicamente sobre un sinclinal buzante hacia el sur, de eje norte-sur, de tal forma que las galerías ubicadas al oeste del eje del sinclinal drenan hacia el sureste y las galerías ubicadas al este drenan hacia el suroeste (Stone, 1983). La resurgencia, ubicada por coloración (Smith,

1988) se encuentra en el cañón de la Peña Colorada, afluente por la izquierda del río Santo Domingo. Se trata del más importante sistema kárstico de México, y está ubicado en cuarto lugar entre los mayores sistemas del mundo (Bosted, 1988).

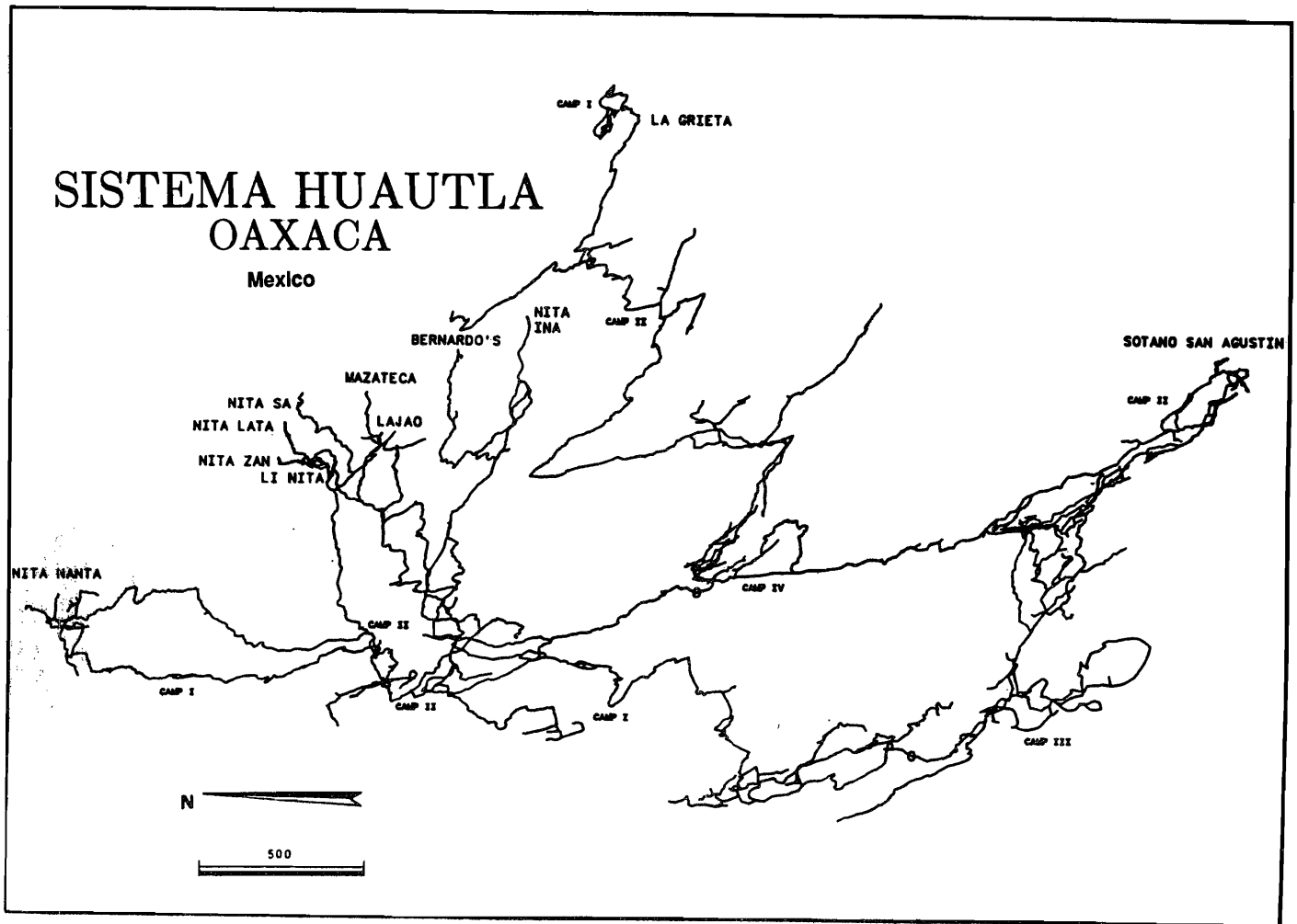


Fig. 45.- Planta del sistema Huautla

Las cavidades que conforman al Sistema Huautla son en su mayoría activas, y todas son vadosas. Consisten en una serie de tiros y galerías inclinadas, controladas por la estratificación y en algunos casos por fallas y/o fracturas, que descienden hasta un nivel impermeable marcado por lutitas (Minton, 1984, 1985), de las unidades que subyacen a la Fm. Orizaba; a partir de este nivel impermeable el desarrollo se vuelve marcadamente horizontal y frecuentemente se realiza a lo largo de grandes túneles colectores parcialmente rellenos por bloques de derrumbe, hasta llegar al sifón final, en el sótano de San Agustín. Todas las cavidades conocidas funcionan como afluentes de estas galerías colectoras. Las resurgencias son de tipo freático, subhorizontales y parcial o totalmente inundadas. De esto se desprende que no existe en el

área la zona hidrodinámica de circulación profunda, pero si todas las demás.

Es importante señalar que entre el sistema de Chilchotla y el Sistema Huautla, existe un parteaguas subterráneo que separa las cuevas que drenan hacia el río Petlapa (al norte) de las que drenan hacia el Santo Domingo (al sur). Este parteaguas no está aún bien definido, pero no coincide con el superficial.

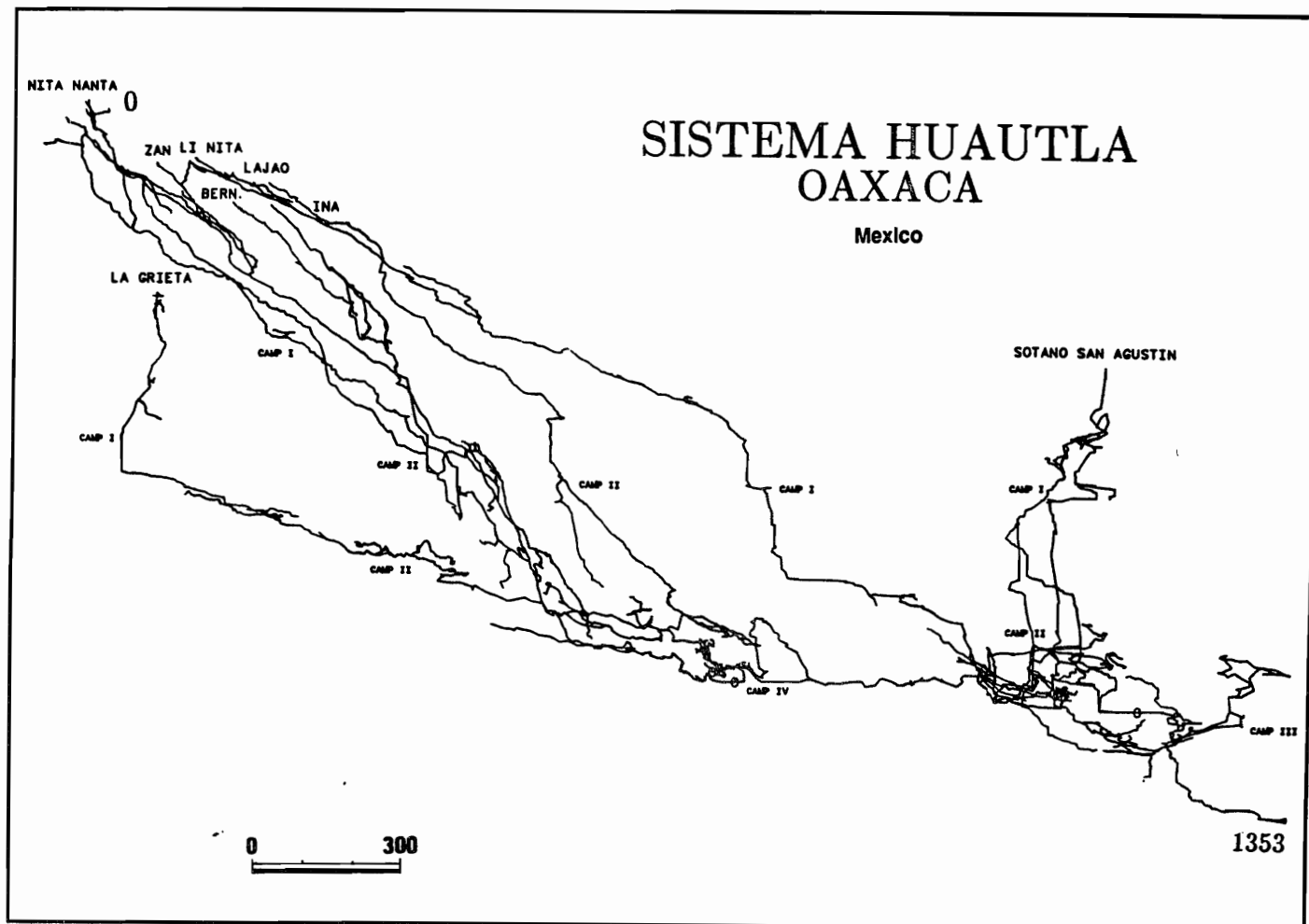


Fig. 46.- Perfil del sistema Huautla

1.7.- Al oriente del macizo de Huautla, formando el alóctono de la cabalgadura de Cerro Rabón (Viniegra, 1966) se encuentra el macizo kárstico del **Cerro Rabón**. Presenta un relieve tropical muy marcado en la superficie, en cambio, las cavidades tienen un carácter mixto alpino-tropical. Apenas iniciadas las exploraciones debido al difícil acceso, se han encontrado ya cavidades importantes, entre las que destacan el Ojo de las Mazatecas, inmensa cavidad de derrumbe de 250 m de profundidad, y Kihaji Shuntua, formada por una sucesión de tiros verticales, activa y

que alcanza una profundidad de 970 m (Meyers, 1988; Keller, com. pers.). Aparentemente deben existir varios sistemas de drenaje distintos, debido a la presencia de varias resurgencias al pie del macizo, tanto al sureste como al oriente. Es interesante observar que el relieve tropical de la región corresponde con el clima actual, pero las cavidades aparentan haberse formado bajo un clima más frío, lo cual indica un cambio climático reciente, ya que se sabe que la morfología kárstica superficial reacciona más rápidamente a los cambios climáticos que la morfología subterránea (Ford y Williams, 1989).

1.8 Por último, al sur del río Santo Domingo se encuentra el macizo kárstico de la **Sierra Cuicateca**. Las calizas se encuentran limitadas al oeste y al sur por rocas metamórficas del Complejo Cuicateco (Farr y Vesely, 1988), las cuales colectan el agua de lluvia en diversos arroyos que se hunden en masa al alcanzar el macizo calcáreo. A la fecha se ha explorado un sistema de cavidades, el sistema Cuicateca (fig. 47), de 1,340 m de profundidad y 20,415 m de longitud. La morfología es similar a la del Sistema Huautla, con las diversas cavernas funcionando como afluentes de una galería colectora subhorizontal, con abundantes sifones (galerías inundadas permanentemente), derrumbes y galerías fósiles superpuestas.

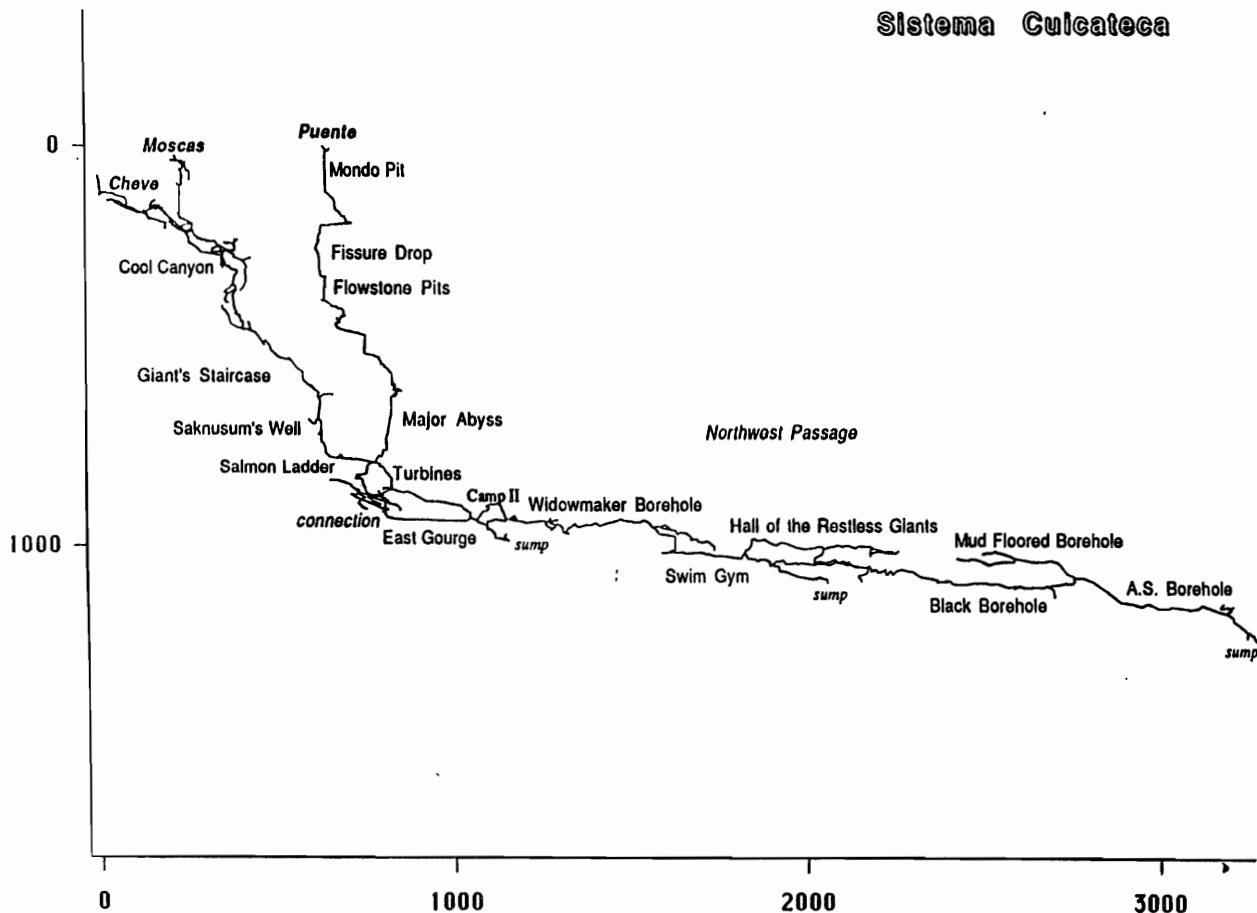


Fig. 47 Perfil del sistema Cuicateca

El sistema drena hacia el norte, y la resurgencia probable se encuentra en el cauce del río Santo Domingo, curiosamente muy cerca de la resurgencia del Sistema Huautla, lo cual puede indicar que ambos sistemas están controlados por una misma estructura, aunque no existen estudios a este respecto. Es otro de los mayores sistemas kársticos de México, y su exploración aún no ha sido terminada.

El relieve superficial y la morfología subterránea de este macizo indican claramente que se trata de un karst alpino muy desarrollado, con abundantes dolinas y campos de lapiaz puntiagudo redondeado en la superficie, y cavidades vadosas activas bien integradas bajo tierra.

1.9.- Además existen varios pequeños macizos kársticos de morfología tropical al oriente del macizo principal de la sierra. Entre los principales pueden mencionarse el de Atoyac, al norte de Córdoba, los alrededores de Tenzonapa y Acatlán, Ver., el macizo de Usila, y el de Valle Nacional y los alrededores de la presa Miguel Alemán. En todos ellos el relieve está compuesto por conos (keggels) y/o cúpulas (kuppens), y las cavidades exploradas son en su mayoría horizontales, freáticas y funcionan como resurgencias. Las más importantes son el nacimiento del río San Antonio (4,570 m de long.) y la cueva Juan Sánchez.

2.- MONTAÑAS BLOQUE DE JALISCO, VERTIENTE COSTERA, CORDILLERA DE COLIMA-OAXACA Y MONTAÑAS Y ALTIPLANO DE LA MIXTECA

En todo el resto de la Sierra Madre del Sur se encuentra karst desarrollado en pequeños afloramientos aislados de rocas carbonatadas de edad cretácica que han sido asignados a las Formaciones Morelos, Teposcolula, Cuautla, etc. por diversos autores. Todas estas rocas han sido deformadas por diversos eventos desde fines del Cretácico y principios del Terciario, dando como resultado amplios pliegues de dirección norte-sur, fallas normales y algunas fallas inversas. Los karsts de estas regiones han sido muy poco estudiados, con excepción del de Cerro Grande (Colima-Jalisco) (Lazcano, 1988), pero en general puede decirse que es un karst de elevaciones montañosas plegadas y falladas, con un desarrollo propio de un clima cálido-subhúmedo. El paisaje está integrado por amplios cerros de formas convexas, con planicies en las partes altas, en las que es común encontrar dolinas y otras formas de absorción, separados por anchos valles de rocas no kársticas.

2.1.- En la zona de Cerro Grande las cavidades son en su mayoría pequeños tiros verticales, azolvados por derrubios procedentes de la superficie, aunque algunos de ellos alcanzan grandes dimensiones (resumidero del Pozo Blanco, -241 m, pozo de los Lentiscos, -203 m (fig. 48)).

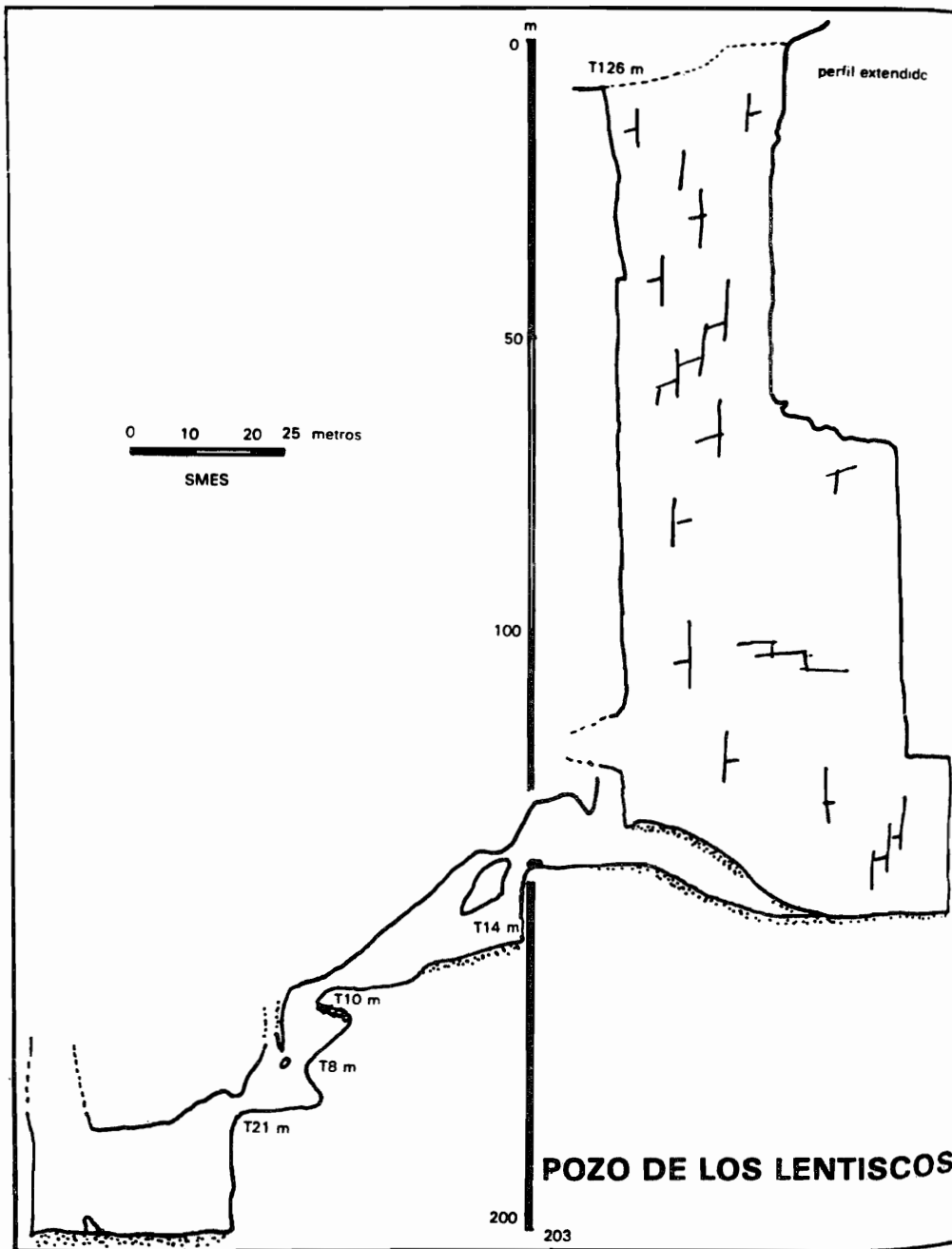


Fig. 48 Perfil del pozo de los Lentiscos

Unicamente se conoce una cavidad horizontal, el resumidero de Toxin (fig. 49), amplia galeria de 3 km de largo que actúa como colector para las aguas de una parte del macizo.

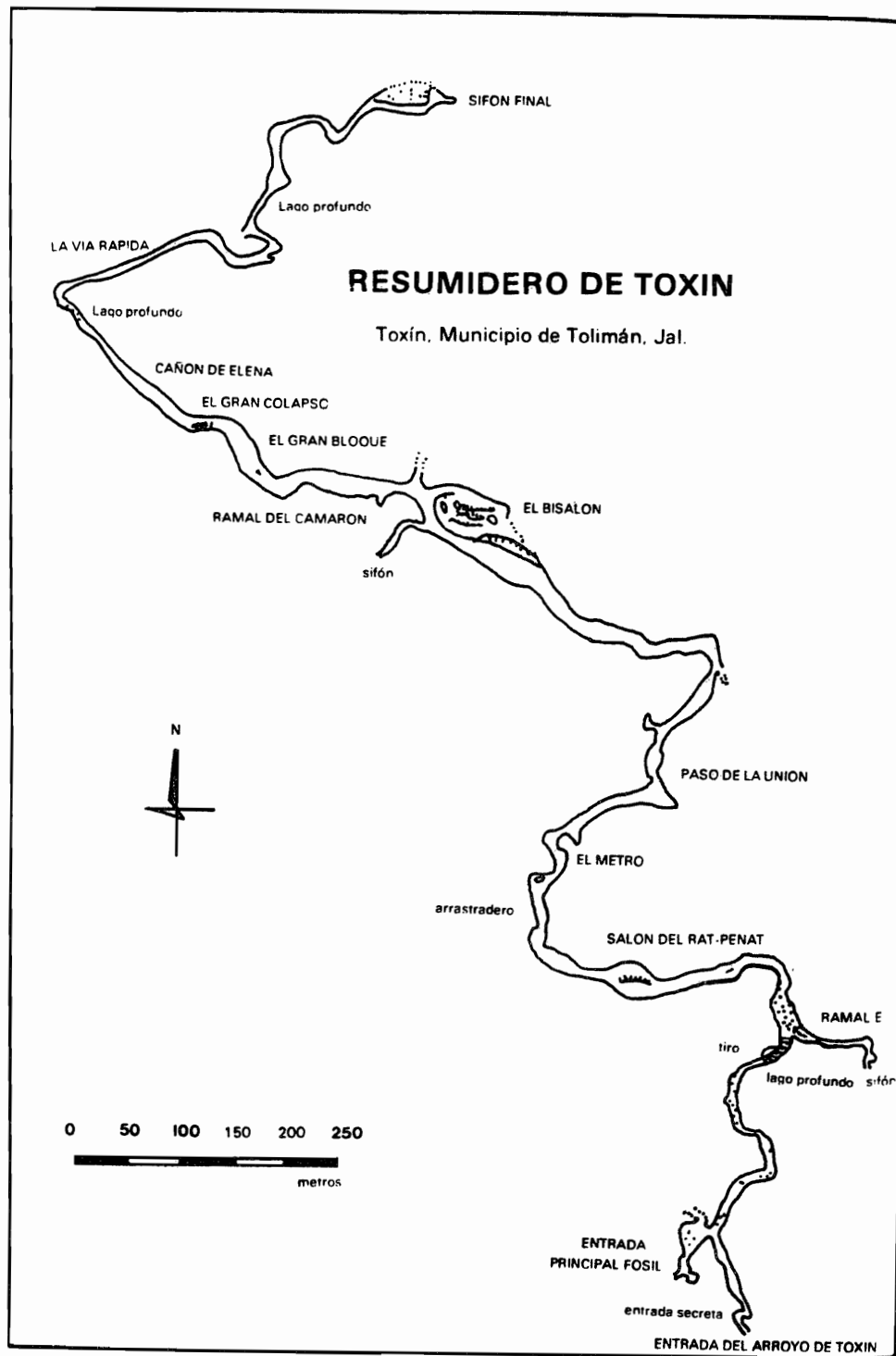


Fig. 49 Planta del resumidero de Toxín

Lazcano (*op. cit.*) ha logrado definir para esta región al menos 3 cuencas hidrogeológicas distintas, cuyos parteaguas subterráneos no coinciden con los parteaguas superficiales.

2.2.- En algunas pequeñas zonas el paisaje indica un desarrollo kárstico de tipo alpino. Una de ellas es la zona de Dos Aguas, Michoacán (Fischesser, 1984), en la que se encuentran una gran cantidad de dolinas separadas por estrechas aristas cubiertas de lapiaz puntiagudo estriado. Se ha explorado una cavidad importante en esta zona, la Cueva de Dos Aguas, con una longitud aproximada de 5 km (no se realizó topografía), por la que drena un arroyo de caudal importante.

2.3.- Algunas otras zonas de la Sierra Madre del Sur, especialmente en su porción oriental (montañas y altiplano de la Mixteca y porción sur de las sierras orientales de Oaxaca) presentan un karst de tipo alpino y/o cálido-subhúmedo, pero no se han explorado ni se conocen datos sobre ellas.

DEPRESION DEL BALSAS

(Cuenca intermontana estructural y tectónica)

Esta provincia incluye al karst desarrollado en la porción oriental del valle del Balsas-Tepalcatepec y en las sierras y valles de Morelos-Guerrero; ambas presentan un desarrollo kárstico muy similar. Curiosamente, a pesar de no ser una de las zonas kársticas más importantes de México, es la provincia sobre cuyo karst existen más trabajos de índole geomorfológica, probablemente debido a la existencia de la famosa gruta de Cacahuamilpa. Entre los más importantes sobresalen los de Barcena (1874), Salazar (1922), Bretz (1955), Bonet (1956, 1971), Fish (1966) y Espinasa-Pereña et al. (en prensa). Además, existe una extensa bibliografía sobre las grutas de Cacahuamilpa, que puede verse en Bonet (1971). También de interés para este trabajo, están las publicaciones de carácter espeleológico, como son las de Coons (1976), Villagómez (1979), Ibarra (1979), Combredet (1980), Engler (1982), Espinasa-Pereña (1984, 1986a, 1986b, 1988a, 1989), Tapie y Tapie (1985), Pezzolato (1987), Sollazi (1988), Diamant-Adler (1988), Aragón (1989) y Espinasa-Pereña y Diamant (1989).

Geología.- Fries (1960, 1966) ha publicado las bases para la geología de esta región de México. Posteriormente otros autores, como De Cserna et al. (1978), De Cserna y Fries (1981), y Campa y Ramírez (1979) han hecho nuevas aportaciones. Se sigue en este trabajo a Morán (1985), incluyendo además algunos otros datos de importancia en el desarrollo del karst, así como observaciones de Barceló-Duarte y colaboradores (com. oral).

Las rocas con morfología kárstica más antiguas de la región son los yesos y anhidritas pertenecientes a la Formación Huitzucó, de edad Aptiano-Albiano Temprano. Según De Cserna et al. (1980) representan sedimentación marina en mares muy someros. Aproximadamente de la misma edad, en la porción del anticlinorio de Chilacachapa, afloran calizas en estratos delgados, con algunos intervalos arcillosos, pertenecientes a la formación Chilacachapa (De Cserna, en prensa). Estas rocas subyacen a calizas de edad albiano-cenomaniana, pertenecientes a la Formación Morelos, consistentes en estratos medianos a gruesos e incluso masivos de calizas muy puras, con un espesor de hasta 900 m; en ocasiones presenta estratos un poco más delgados, con mayor abundancia de

lentes y/o bandas de pedernal, y algunos intervalos ligeramente arcillosos. A la secuencia calcárea le sigue un gran espesor de sedimentos marinos de cuenca, terrígenos, pertenecientes a la Formación Mexcala, que indican el término de la sedimentación marina mesozoica en la región. Esta secuencia ha sido deformada por diversos eventos desde fines del Cretácico y principios del Terciario, produciendo una serie de pliegues y cabalgaduras de dirección aproximada norte-sur y fallas normales y fracturas que afectan a toda la región. Durante el Terciario, y ya en condiciones continentales se depositan los conglomerados de la Formación Balsas, que en algunas porciones están integrados casi en su totalidad por clastos de las unidades calcáreas anteriores.

En general, puede decirse que el karst está desarrollado en elevaciones montañosas plegadas y falladas, y presenta una morfología propia de un clima cálido subhúmedo. El relieve está formado por anchos cerros de formas redondeadas con planicies en las partes altas, en las que se encuentran las dolinas, sumideros y demás formas de absorción. Las cavidades son en su mayoría de desarrollo mixto, presentando tiros verticales a lo largo de fracturas y/o fallas, y galerías horizontales controladas por la estratificación.

De Cserna *et al.* (1980) mencionan como evidencia del desarrollo del karst en la Anhidrita Huitzuco la existencia de dolinas y poljes bajo la Formación Morelos, e incluso infieren la presencia de esa unidad, en algunas porciones de la región en que no aflora, a partir de los rasgos kársticos presentes en la Formación Morelos. Con la excepción de algunas dolinas de hundimiento en los alrededores del poblado de Huitzuco y en la zona de Apipilulco, no se han encontrado evidencias que apoyen esta teoría. Como se ha documentado hasta aquí, y se seguirá viendo a lo largo del presente capítulo, la gran mayoría de los fenómenos kársticos en el país se desarrollan en calizas de características similares a la Formación Morelos, sin necesidad de invocar "la presencia de un posible intervalo de rocas altamente solubles bajo la Formación Morelos" (De Cserna *et al.*, *op. cit.*). De hecho, exceptuando las mencionadas dolinas de hundimiento desarrolladas en la Formación Huitzuco, todas las formas kársticas exploradas en la región se encuentran en las unidades carbonatadas en forma integral.

1.- Uno de los fenómenos kársticos que más llaman la atención en la región son las cavidades del área de Cacahuamilpa. La gruta de Cacahuamilpa, acondicionada para el turismo, consiste en una gran galería de 1300 m de largo, decorada con múltiples formaciones estalagmíticas. Aproximadamente en la misma vertical, 100 m más abajo, se encuentran los ríos subterráneos de Chontacoatlán (5,800 m de largo) y San Jerónimo (5,600 m de longitud), que cortan de parte a parte una cadena calcárea formada por los cerros Tepozonal y del Jumil (fig. 50). Bretz (1955) considera que estas cavidades tuvieron un origen freático, pero Bonet (1971) y Coons (1976) coinciden en darles un origen vadoso, basados en la presencia de aluviones de origen fluvial en el interior de Cacahuamilpa, y a las evidencias recogidas durante el estudio de los ríos subterráneos. Los caudales de estos durante la época de secas son considerables (varios m³/s).

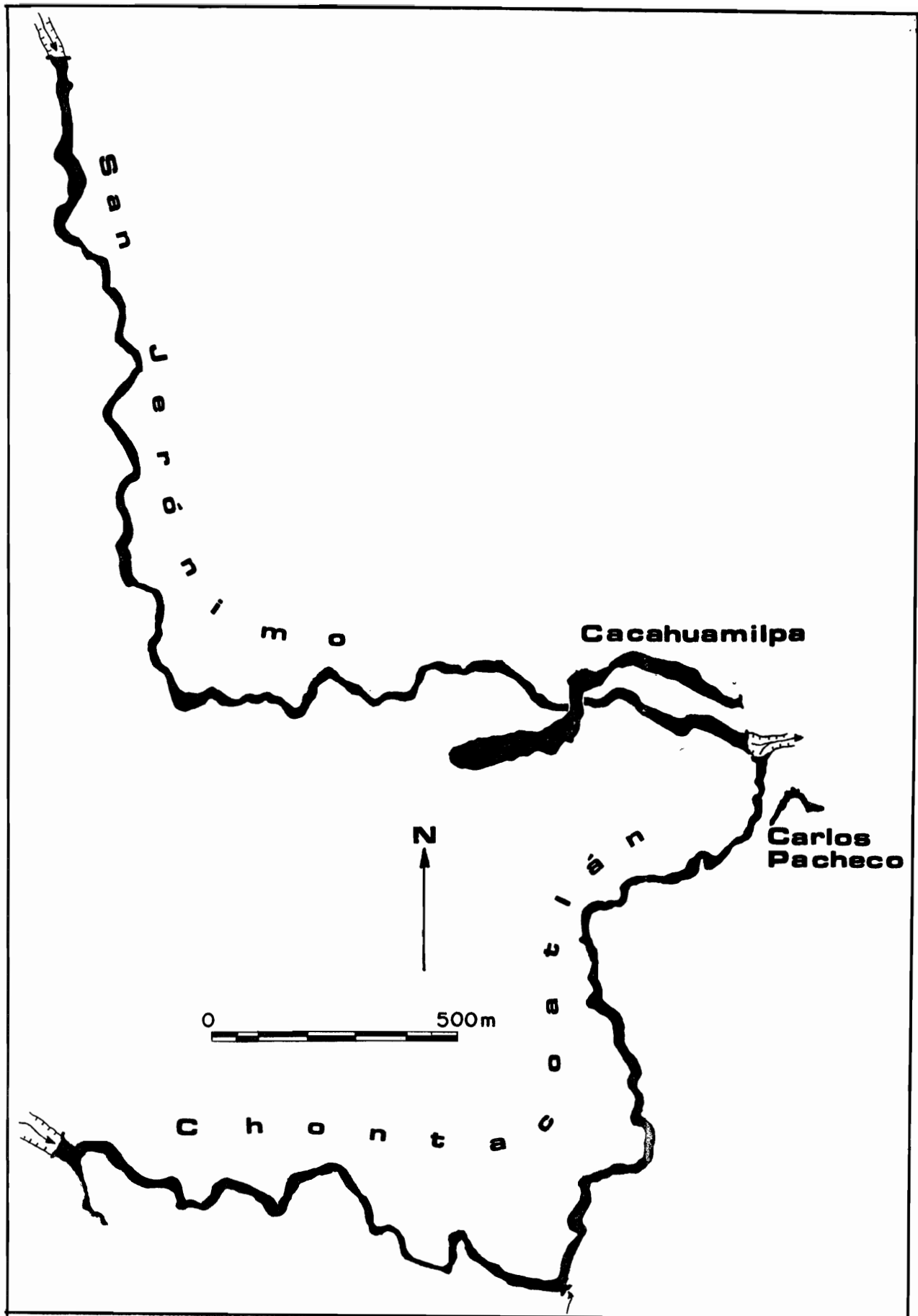


Fig. 50.- Planta de las cavidades del Area de Cacahuamilpa

2.- Cerca de la carretera Cacahuamilpa-Taxco las cavidades son de origen vadoso, con gran cantidad de tiros pequeños y galerías subhorizontales que siguen la estratificación. Estas son los resumideros de Zacatecolotla (1,600 m de longitud), La Joya (3,200 m), Gavilanes (1,100 m) y el Izote (1,650 m). Las tres primeras desaguan hacia el oriente, para resurgir en la cueva de Las Granadas. En cambio, la última desagua hacia el norte, para salir en la cueva de las Pozas Azules (1,400 m). Esto indica la presencia de un parteaguas subterráneo, que no coincide con el parteaguas superficial (Espinasa-Pereña, 1989).

3.- Entre las ciudades de Iguala y Taxco hay varias cavidades, como el Pozo Meléndez y la cueva de Agustín Lorenzo (fig. 51). Alcanzan profundidades cercanas a los 200 m, y la segunda se desarrolla en una brecha de falla muy notable.

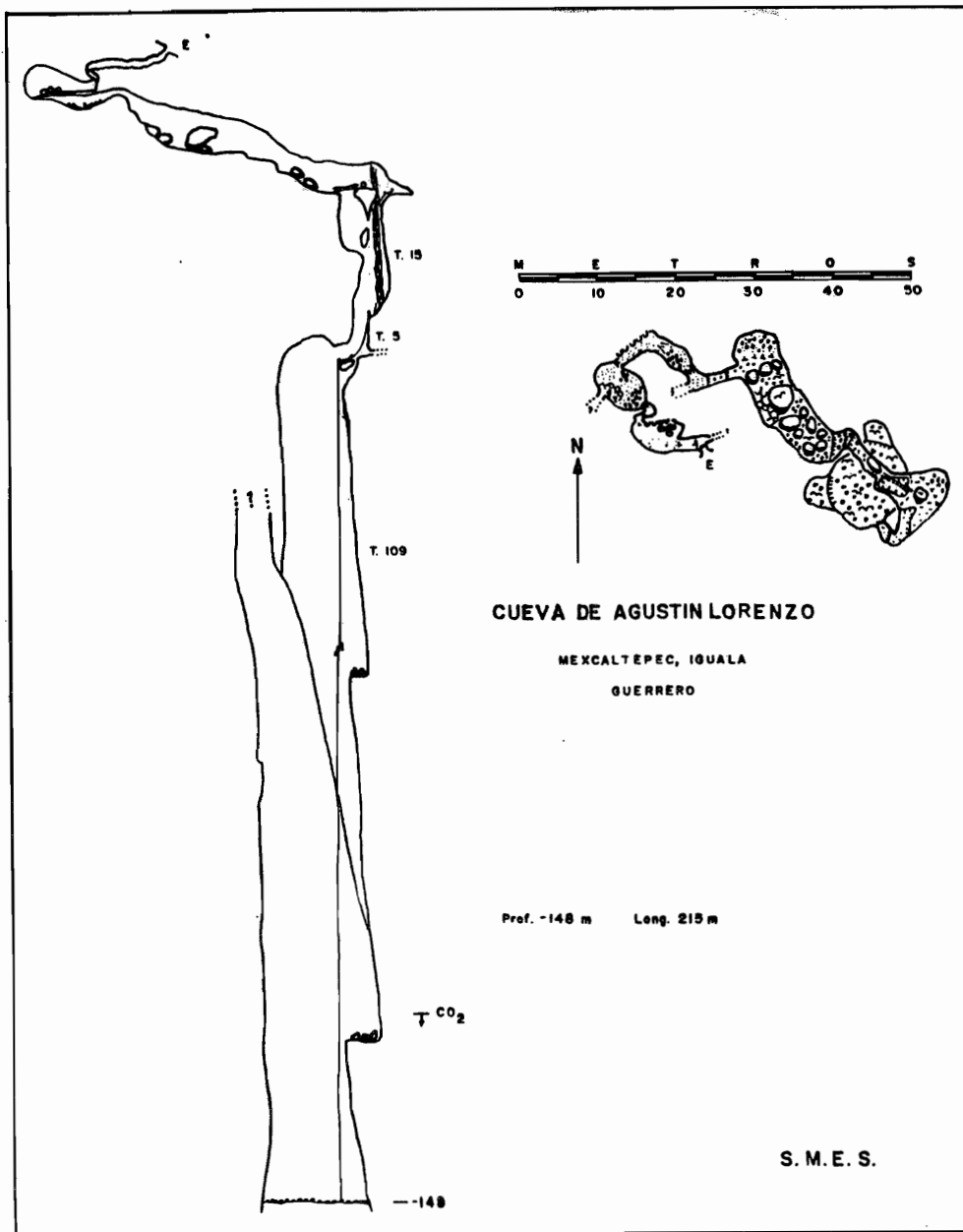


Fig. 51 Perfil y planta de la cueva de Agustín Lorenzo

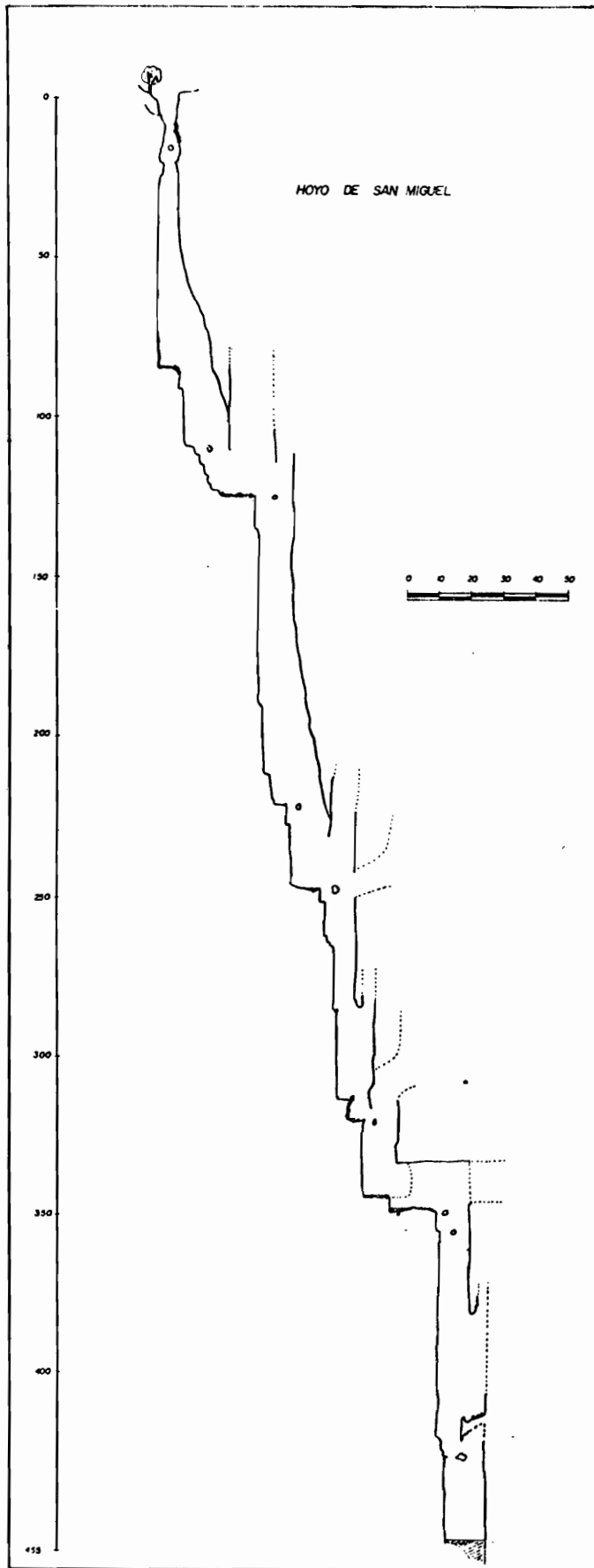


Fig. 52 Perfil del Hoyo de San Miguel

4.- En la porción mas al norte del área de **Chilacachapa**, en los alrededores del poblado de San Miguel, se localizan gran cantidad de cavidades de origen vadoso, verticales primordialmente, entre las que destaca el Hoyo de San Miguel (Espinasa-Pereña, 1984, Espinasa-Pereña *et al.*, en prensa), con 455 m de profundidad, formado a lo largo de una falla normal (fig. 52). Es interesante resaltar las diferencias morfológicas encontradas entre las cavidades desarrolladas en la Formación Morelos (amplias y de grandes dimensiones) y aquellas desarrolladas en la Formación Cuautla (de dimensiones mucho menores).

Algo más al sur, en los alrededores de los poblados de Chilacachapa y Apetlanca, existen algunas cavidades subhorizontales, como el resumidero de Aclalá y la gruta de Cuaxilotla. La primera de éstas, con una longitud de 1,744 m, consiste en una sucesión de tiros-cascadas y largos lagos, de origen evidentemente vadoso (fig. 53).

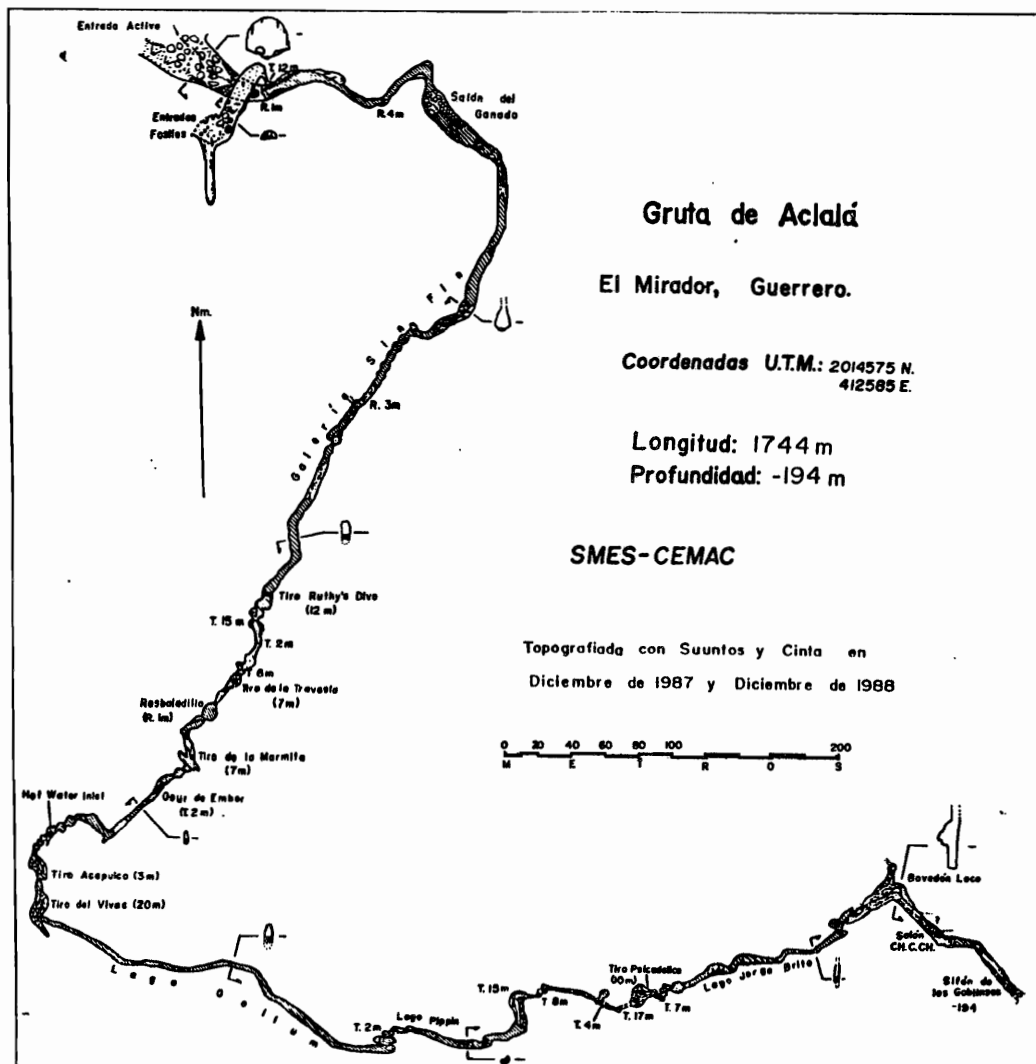


Fig. 53 Planta de la gruta de Aclalá

La segunda, una resurgencia fósil, tiene un origen mixto, con algunas porciones freáticas y otras vadosas, y muestra una influencia muy marcada de una falla normal (Espinasa-Pereña y Diamant, 1989) (fig. 54).

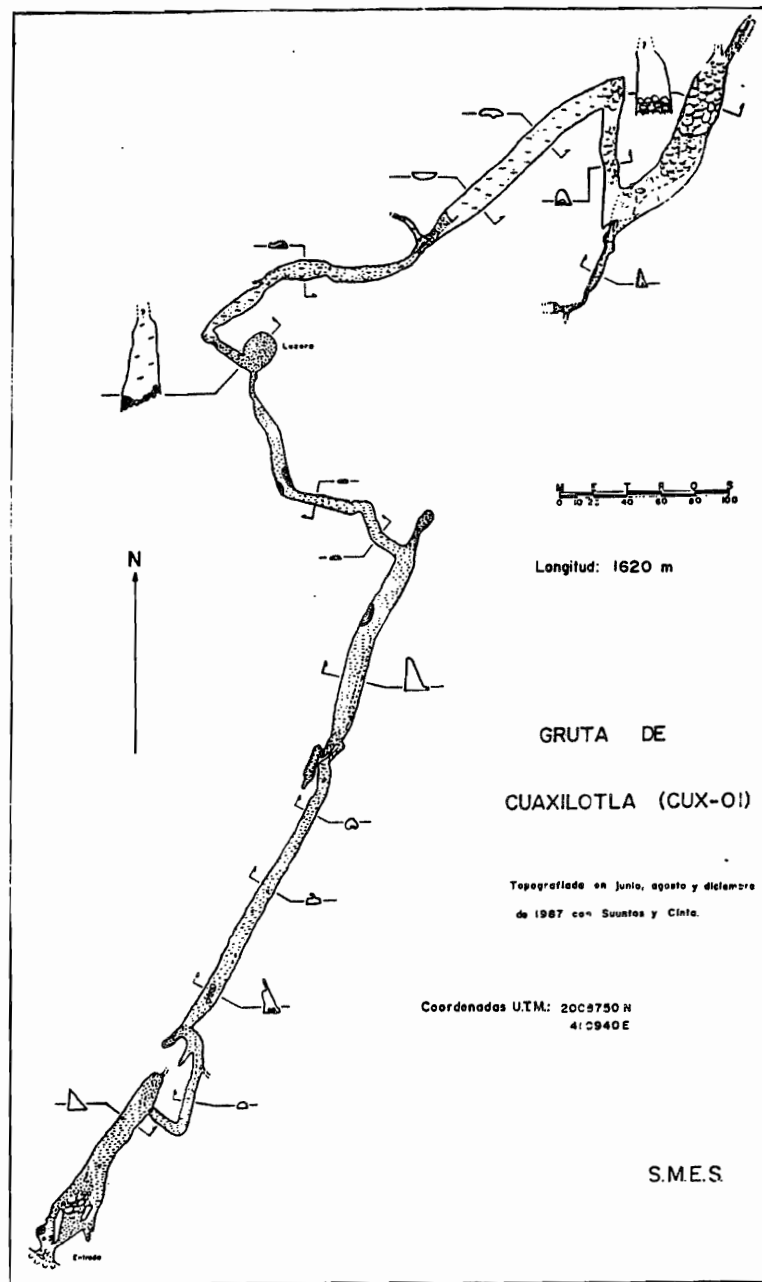


Fig. 54 Planta de la gruta de Cuaxilotla

Otras cavidades de la región muestran un desarrollo predominantemente vertical; el Resumidero del Platanar alcanza un nivel de base, con grandes galerías horizontales, aún no totalmente exploradas. La mayoría de estas cavidades se desarrollan en la Formación Morelos, pero algunas lo hacen en los intervalos más carbonatados de la formación Chilacachapa, como el Hoyo de la Tía Cuala (-192 m de profundidad) (fig. 55).

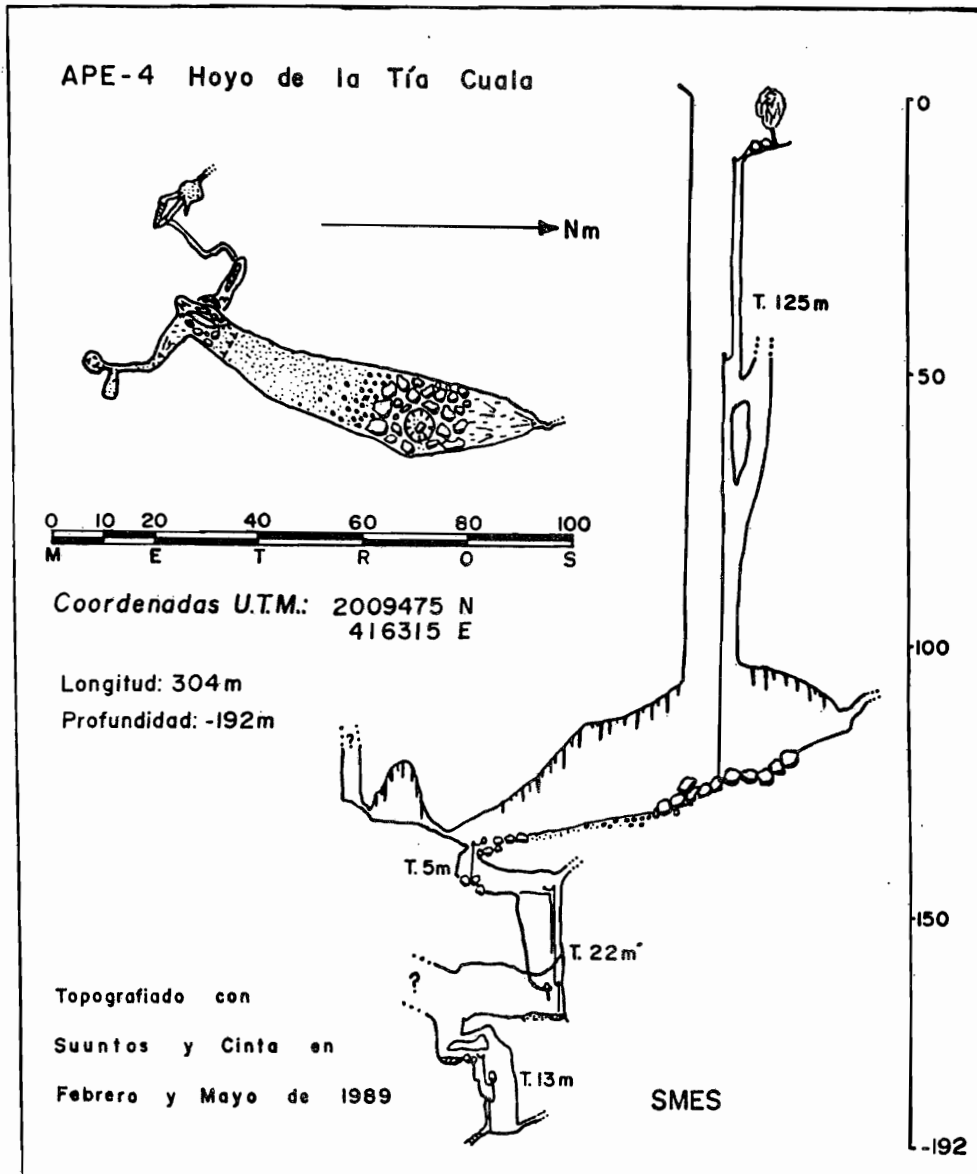


Fig. 55 Planta y perfil del hoyo de la Tía Cuala

5.- Más al sur, en las montañas ubicadas al oeste de Chilpancingo se han explorado varias cavidades, entre las que cabe destacar la cueva del Borrego (4,100 m de largo) (fig. 56), el sumidero de Xocomanatlán (2,200 m), y el resumidero de Ixtamalco (245 m de profundidad). La primera presenta un origen mixto, con las partes altas de tipo vadoso, mientras que la porción inferior es un laberinto de galerías de origen freático. En cambio las otras son en su totalidad de origen vadoso. Es interesante el hecho de que la más elevada de las tres sea la primera, ya que indica la presencia de un nivel freático "colgado" que afecta a la cueva del Borrego, pero por problemas estructurales no afecta a las cercanas cavidades de Xocomanatlán e Ixtamalco.

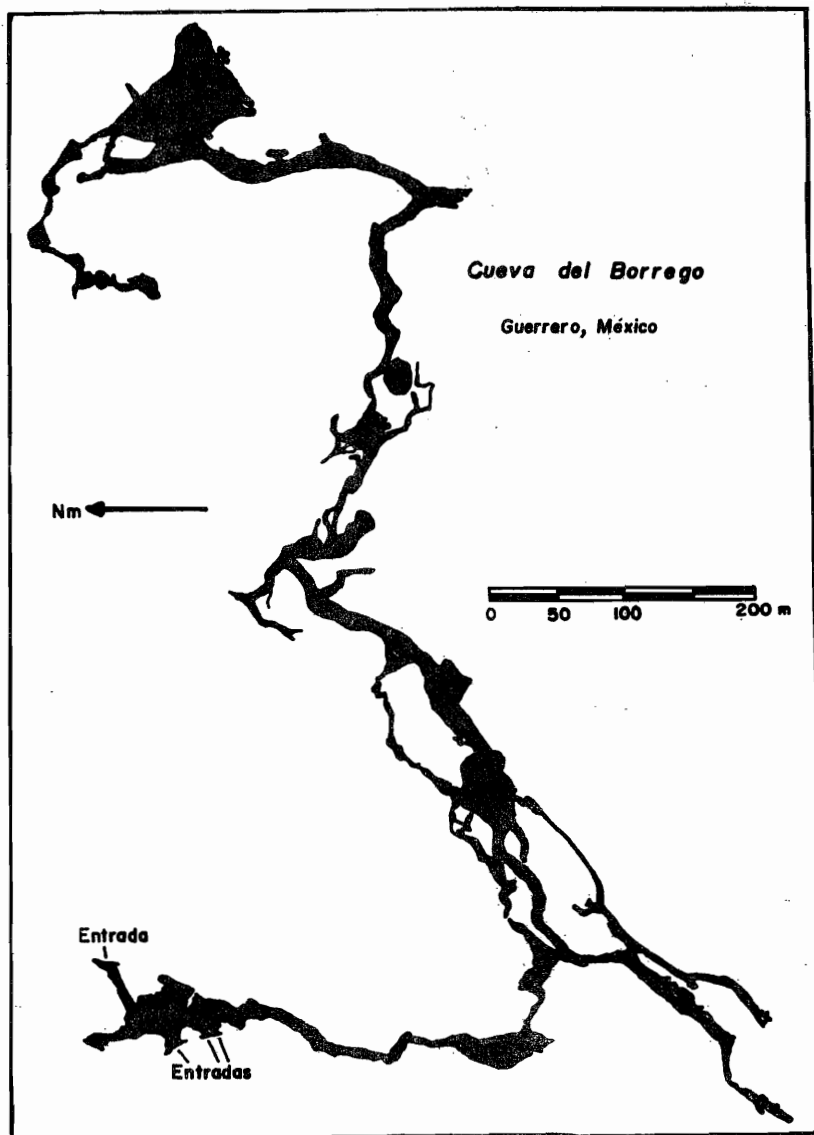


Fig. 56 Planta de la cueva del Borrego

6.- Al sureste de Chilpancingo se encuentra la gruta de Juxtlahuaca, también acondicionada para el turismo. Se trata de una serie de galerías fósiles de 5,098 m de largo, con abundantes concreciones estalagmíticas que impiden cualquier observación respecto al origen de la cavidad, la cual no tiene ninguna relación con la morfología actual de la zona. Aparentemente se trata de una antigua resurgencia, como parece indicarlo la presencia de varios manantiales situados por debajo de la gruta, en el mismo valle. En las montañas al noreste de la gruta se han explorado varias cavidades, todas vadosas y semiactivas, de profundidades cercanas a los 200 m, como los sótanos del Granchio y de Las Lianas, que probablemente son las formas de absorción relacionadas con las resurgencias antes mencionadas.

7.- Un poco más al sur, en los alrededores del pueblo de Acahuizotla, el sumidero de Acahuizotla (o Boca del río Apetlanca) consiste en un cañón vadoso con múltiples cascadas que atraviesa de parte a parte una pequeña cresta calcárea. Su longitud es de 2,600 m, y las aguas que circulan por esta cavidad son utilizadas, mediante bombeo, como fuente de agua potable para la ciudad de Chilpancingo.

8.- Todas las cavidades de esta provincia, mencionadas hasta ahora, se desarrollan en las Formaciones Morelos, Cuautla o Chilacachapa. Es notable que en un pequeño afloramiento de la Formación Balsas, al poniente de Cacahuamilpa, en los alrededores del poblado de El Mogote, existen una serie de cavidades, de dimensiones modestas (670 m de longitud para la más larga), desarrolladas en los conglomerados de dicha unidad (Bonet, 1971). Su origen es vadoso, pues consisten en tiros verticales o cañones subhorizontales, y se formaron gracias a que en ese lugar los conglomerados están integrados en su totalidad por clastos calcáreos provenientes de las Formaciones Morelos y Cuautla, y a que la roca está muy fracturada.

SIERRAS Y VALLES

(Sistema de crestas y valles intermontanos paralelos, controlados por la neotectónica)

En esta provincia del norte de México el desarrollo kárstico es muy escaso. Existen pocos trabajos y todos ellos son de carácter netamente espeleológico; el más importante es el de Reddell (1980). Las cavidades conocidas se forman en yesos de edad jurásica tardía y/o calizas de edad cretácica temprana, pertenecientes a las Formaciones Alcaparra, Cuchillo, y/o al Grupo Chihuahua (Morán, 1985). Estas rocas fueron deformadas por varios eventos desde el final del Mesozoico, de tal manera que las estructuras presentan ejes de orientación noroeste-sureste. Son frecuentes las recumbencias y fallas inversas con sentidos opuestos.

Se puede decir que se trata de un karst de elevaciones montañosas plegadas y falladas, en estado fósil. Las cavidades conocidas son todas fósiles, en un avanzado estado de relleno estalagmítico y sin relación con la morfología actual. Aparentemente se desarrollaron bajo el nivel freático o cerca de él, pero la disección superficial ha dejado a estas cavidades "colgadas" muchos metros por encima del actual nivel freático. La más importante es la gruta de Mapimi, a 18 km al SSW de Mapimi, de varios cientos de metros de longitud y hasta 50 m de ancho en algunos lugares. Es una cavidad horizontal, formada por una serie de grandes salones interconectados, compleja y con abundantes concreciones estalagmíticas.

MESA CENTRAL

(Planicies y elevaciones montañosas)

Esta provincia se encuentra subdividida en 3 regiones. Dos de ellas presentan un desarrollo kárstico de pequeña importancia (las Planicies y Montañas Plegadas y las Sierras Plegadas y Valles Intermontanos) mientras la tercera (Planicies y Sierras Volcánicas) no presenta una litología que permita el desarrollo del karst.

El karst de las dos primeras regiones está desarrollado en las mismas unidades que el de la provincia de la Sierra Madre Oriental, por lo que la geología será descrita más adelante. Basta mencionar que se trata de rocas calcáreas de edad cretácica temprana, plegadas y falladas por varios eventos desde fines del Cretácico. En la primera región (Planicies y Montañas Plegadas) se observan numerosos afloramientos de calizas, pero no existe ningún desarrollo kárstico notable, lo cual puede atribuirse a las condiciones áridas que han existido en esta zona desde el momento de su emersión. Se trata de un karst potencial.

En la región de las Sierras Plegadas y Valles Intermontanos se puede apreciar, en los mapas topográficos, la presencia de cerros amplios de formas convexas, con planicies en las porciones más elevadas, en las que se pueden observar algunas dolinas. Esto indica un karst de elevaciones montañosas plegadas y falladas con un desarrollo propio de un clima cálido-subhúmedo, debido a que alcanza a llegar a la zona algo de la humedad proveniente del Golfo, aunque se encuentra en la "sombra" de la Sierra Madre Oriental. No se encontraron trabajos acerca de esta región kárstica, aunque Russell & Raines (1967) mencionan la posibilidad de encontrar algunas cavidades hidrológicamente activas.

SIERRA MADRE ORIENTAL

(Montañas plegadas)

Lugo y Córdova (en prensa) subdividen a esta provincia en cuatro regiones. En todas ellas existe desarrollo kárstico, del tipo de elevaciones montañosas plegadas y falladas, aunque de muy diversas variedades. Esta fue la primera zona kárstica estudiada como tal en México, y deben mencionarse los trabajos de Bonet (1953a, 1953b), Russell & Raines (1967), Wenzens (1972, 1973a, 1973b, 1974, 1976), Mitchell *et al.* (1977), Hose (1981), y Lazcano (1984, 1986). Desde el punto de vista espeleológico, pero con datos de mucho interés sobre la geomorfología e hidrogeología kárstica se han publicado una gran cantidad de artículos, que se mencionarán a su debido tiempo.

1.- SIERRAS PARALELAS DE CHIHUAHUA

En esta región se encuentra un karst de tipo fósil, de origen freático, muy similar al de la provincia de Sierras y Valles descrito previamente. En realidad se trata de la misma zona kárstica.

2.- SIERRAS Y BOLSONES MENORES DE COAHUILA

La mejor descripción kárstica de esta provincia se encuentra en Russell y Raines (1967), a quienes se seguirá para su descripción, añadiendo algunos datos más recientes, obtenidos por Russell (1982), Duncan (1982), Steele (1984) y Pisarowicz (1984).

Geología.- El karst se ha desarrollado en calizas del Cretácico Temprano pertenecientes a las Formaciones Cupido y Aurora. Ambas son unidades de gran espesor, muy puras, en estratos medianos a gruesos y masivos, y contienen parches arrecifales. Estas rocas fueron plegadas, fracturadas y afalladas por varios eventos desde fines del Cretácico, formando amplios anticlinales, generalmente con "potreros" en el centro, donde afloran rocas jurásicas de menor resistencia (Morán, 1985).

Prácticamente todas las cavidades conocidas consisten en gigantescos salones de origen freático, totalmente fósiles, sin ninguna relación con la topografía actual. La más importante es la gruta del Palmito, cerca de Bustamante, Nuevo León. Es una inmensa sala alargada de hasta 100 m de ancho y 600 m de largo, con alturas de techo de hasta 50 m, ligeramente inclinada, y subdividida en varias cámaras por macizos estalagmíticos y derrumbes. Se formó en donde una zona de fractura cruza a un parche arrecifal, y algunas porciones se desarrollaron a lo largo de las fracturas, mientras otras lo hicieron en las zonas de mayor permeabilidad del arrecife.

Otra cavidad similar es la gruta de Villa García, acondicionada para el turismo y ubicada al noroeste de Monterrey. Consiste en dos grandes salones, el primero de 400 m de largo por 150 m de ancho y el segundo de 150 m de largo por 50 m de ancho. También está subdividida en pequeñas cámaras por macizos estalagmíticos e inmensos conos de derrumbe. Al igual que la gruta del Palmito, se ubica casi en la cumbre de una montaña, y es de origen freático indiscutible, al estar formada por disolución a lo largo de las zonas de mayor permeabilidad de un parche arrecifal de la Formación Cupido.

El ejemplo más claro de este tipo de cavidades es quizás la gruta del Precipicio (fig. 57), cercana a Bustamante. Consiste en una galería de 500 m de largo, de sección oval, que desemboca en un gran salón de 250 m de largo por 50 m de ancho. El origen es freático, como lo indica la sección de la galería, y se encuentra desarrollada a lo largo de una fractura, hasta llegar a una zona de alta permeabilidad en un parche arrecifal, sobre la que se formó el gran salón. Se localiza casi en la cumbre de una montaña, y no guarda ninguna relación con el relieve actual.

Russell y Raines (1967) consideran que estas cavidades se desarrollaron en la zona hidrodinámica de circulación profunda durante el Plioceno, cuando las condiciones geomorfológicas e hidrológicas eran muy diferentes a las de ahora. Actualmente no existe un relieve o drenaje kárstico en funcionamiento, por lo que se trata de un karst fósil. La única cavidad conocida con circulación activa de agua es la gruta del Carrizal, en Lampazos, Nuevo León, que funciona como resurgencia de las aguas captadas en el cerro del Carrizal, un intrusivo granítico que corta a las calizas. De todas maneras es evidente que esta cavidad fue formada bajo el nivel freático. Asimismo, la presencia de un manantial termal en el interior de la cueva indica que parte de las aguas



que por ella circulan pueden no ser de origen kárstico, sino hidrotermal.

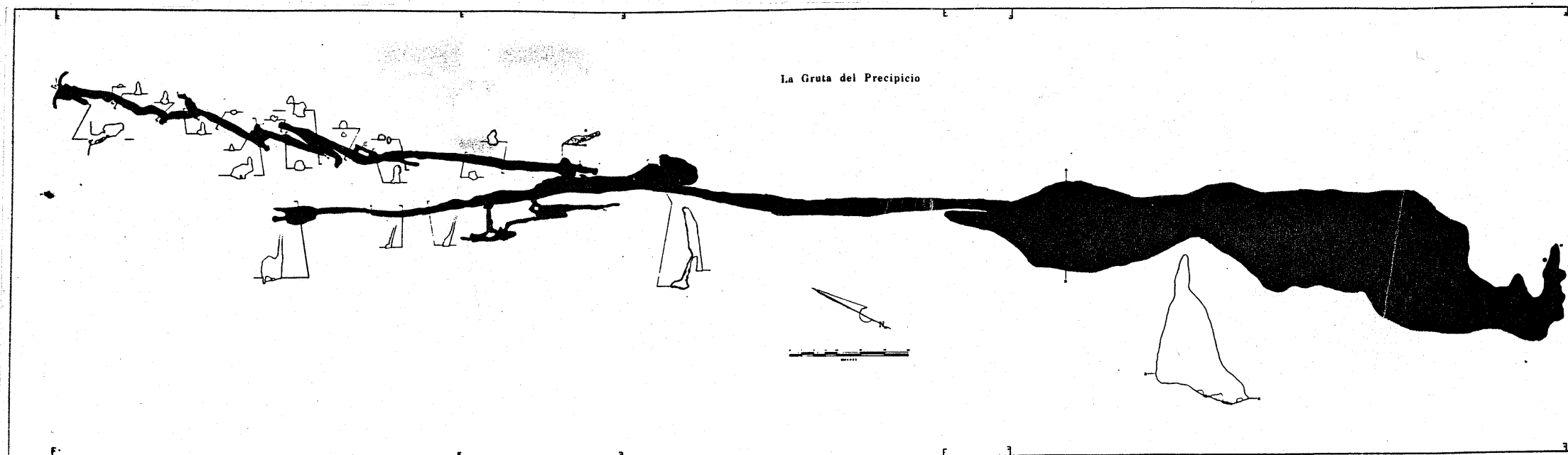


Fig. 57 Planta de la gruta del Precipicio

Otras cavernas interesantes de la región se localizan en el rancho Minas Viejas. Una de ellas, el pozo de Montemayor, es la única que presenta un desarrollo de origen vadoso (Duncan, 1982), a lo largo de una serie de tiros verticales, aunque también fósil (fig. 58). Exploraciones recientes han alcanzado en esta cavidad una profundidad de 501 m, (Minton, com.pers.).

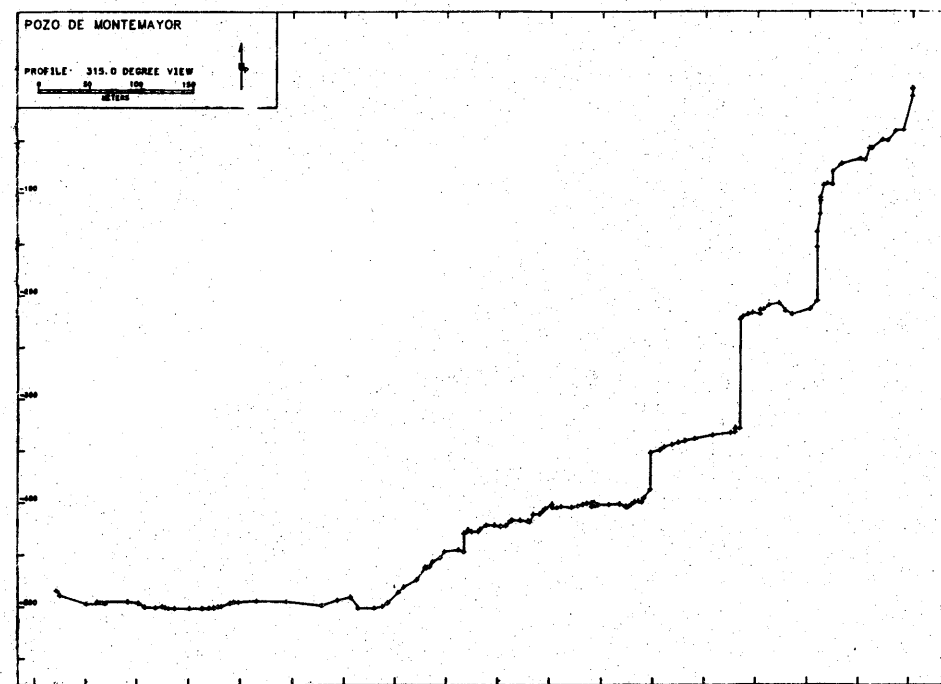


Fig. 58 Perfil del pozo de Montemayor

3.- SIERRAS TRANSVERSALES

Esta región también está descrita por Russell y Raines (1967) y hay algunos trabajos de índole espeleológica, como uno anónimo de 1975.

Geología.- En general, la litología es similar a la de la región anterior, aunque también afloran calizas de cuenca pertenecientes a las Formaciones Tamaulipas Inferior, Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura, con abundantes bandas y nódulos de pederrenal y algunos intervalos ligeramente arcillosos. Están cubiertas por margas y depósitos terrígenos pertenecientes a las Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez y sobreyacen a yesos y anhidritas jurásicos. Todas estas rocas se encuentran intensamente plegadas, fracturadas y afalladas a raíz de las deformaciones sufridas en diversos eventos a partir de fines del Cretácico, por lo que contrastan con los pliegues suaves ubicados más al norte.

Se conocen pocas cavidades en esta porción de la Sierra Madre Oriental. La más importante es la Cueva de la Boca, al sureste de Monterrey, una gran galería de 30 m de ancho y 250 m de largo, que termina en varios domos de más de 150 m de altura (fig. 59); es similar a las cuevas del Palmito, Precipicio y Villa García, en cuanto a que se trata de una cueva fósil, formada a gran profundidad bajo el nivel freático, ubicada en la parte alta de un cerro, sin ninguna relación con la topografía actual (Russell y Raines, 1967). En contraste, existen en la parte alta de la sierra, dolinas de disolución, y algunas cavidades de tipo vadoso, que hacen pensar en un karst alpino. Estas cavidades están en proceso de fosilización, mientras los abanicos aluviales rellenan las dolinas, debido a un cambio a un clima más árido que cuando se formaron (anónimo, 1975). Todo esto indica que se trata de un karst fósil freático, semejante al que se encuentra más al norte, pero al que se le ha sobrepuesto un karst alpino, que está actualmente en proceso de fosilización.

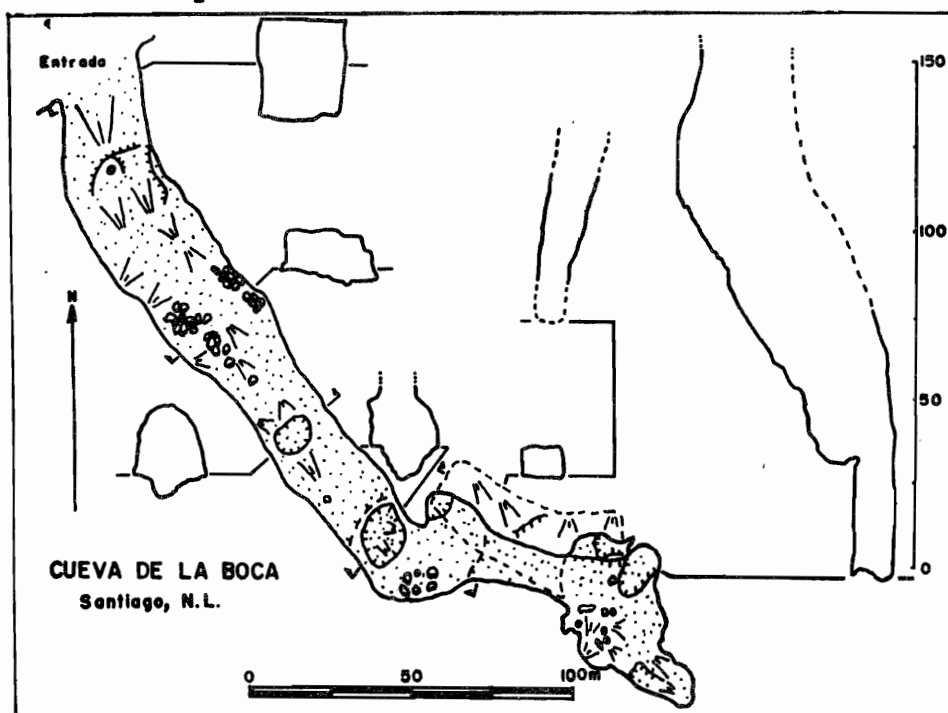


Fig. 59 Planta de la cueva de la Boca

4.- SIERRA ALTA

La porción más importante de la Sierra Madre Oriental desde el punto de vista kárstico es la denominada Sierra Alta. Existen numerosos trabajos que tratan acerca del karst de esta zona: Bonet (1953a, 1953b), Russell y Raines (1967), Davis (1974), Mitchell *et al.* (1977), Hose (1981), Lazcano (1984, 1986) y Huizar y Oropeza (en prensa). De índole espeleológica, pero que arrojan datos importantes sobre la geomorfología kárstica de la región, hay una gran cantidad de publicaciones, que se mencionarán en su oportunidad.

Geología.- Las rocas más antiguas sobre las que se desarrollan fenómenos kársticos en la Sierra Madre Oriental son los yesos de la Formación Olvido. Sobre ellos hay un intervalo terrígeno-carbonatado, representado por las Formaciones La Casita y Taraises, en las que no se conoce desarrollo kárstico. Sigue una secuencia carbonatada de edad cretácica temprana, formada por calizas de plataforma y/o arrecifales, en estratos medios a gruesos e incluso masivos, sin pedernal ni impurezas, que ha sido asignado en diferentes partes y por distintos autores a las Formaciones Cupido, Tamaulipas Inferior, El Abra, Tamabra, y El Doctor. En algunas zonas esta secuencia carbonatada está cubierta por un intervalo calcáreo-arcilloso de espesor variable, llamado Formación La Peña u Otates, por encima del cual una segunda secuencia calcarea de edad Albiano-Cenomaniana recibe los nombres de Aurora, Cuesta del Cura y/o Tamaulipas Superior. Ambas secuencias calcáreas son excelentes para el desarrollo del karst, especialmente las facies más puras de plataforma, arrecife y talud arrecifal. Todas estas rocas fueron cubiertas en el Cretácico Tardío por sedimentos calcáreo-arcillosos y terrígenos, dando origen a unidades sin desarrollo kárstico: Agua Nueva, San Felipe y Méndez (Segerstrom, 1961; Russell & Raines, 1967; Morán, 1985; Carrasco, 1970).

Esta secuencia mesozoica ha sido deformada por varios eventos desde fines del Cretácico, formando en general pliegues y fallas inversas de rumbo norte-sur. El estilo de deformación es variado: al oeste de Cd. Victoria existen pliegues relativamente amplios y casi no hay cabalgaduras (Hose, 1981). En los alrededores de Cd. Valles, la Sierra Madre Oriental se reduce a una serie de anticlinales y sinclinales, afectados por un fallamiento normal (Mitchell *et al.*, 1977). En la porción correspondiente a la sierra de Aquismón, Xilitla, Jalpan y hasta el río Moctezuma, la estructura es sumamente compleja, con pliegues anchos en la parte occidental (Lazcano, 1984, 1986) y pliegues estrechos, cabalgaduras, fallas inversas y normales en la porción oriental (Suter, 1980, 1984). Por último, en los alrededores de Cuetzalán, Puebla, la estructura se suaviza, formando básicamente un monoclinal (complicado localmente por algunos pliegues y fallas) que bajan de la Mesa Central hacia la planicie costera (Davis, 1974).

Existen una serie de ríos que cortan a la Sierra Madre Oriental y la separan en distintos bloques. Estos ríos funcionan como nivel de base para las resurgencias kársticas. La descripción se hará de norte a sur. Todo el karst es de elevaciones montañosas plegadas y falladas, exceptuando el de la región de Cuetzalán, que es de mesa monoclinal inclinada.

4.1.- En la porción más septentrional se encuentra la zona de Galeana, Nuevo León, donde el karst está bien formado, emplazado en dos litologías distintas: yesos de la Formación Olvido y calizas de la Formación Cupido. De acuerdo con Huizar y Oropeza (en prensa) se trata de un karst heredado, desarrollado en condiciones climáticas más húmedas, aunque no totalmente fosilizado. Las formas superficiales incluyen dolinas de disolución, de colapso, y abundantes sumideros, todos desarrollados en los yesos de la Formación Olvido. En las calizas se encuentran escasas dolinas de disolución parcialmente rellenas por aluviones. La cavidad más espectacular conocida es el pozo de Gavilán (fig. 60), ubicado al oeste de Galeana, y que consistía en un tiro de colapso de 60 m de diámetro por casi 100 m de profundidad, que conectaba a un salón inundado, cuyo nivel coincidía con el nivel freático (Russell y Raines, 1967). Recientemente, una recarga del acuífero elevó el nivel freático, y actualmente se encuentra a sólo 30 m del borde (Sprouse, 1988b).

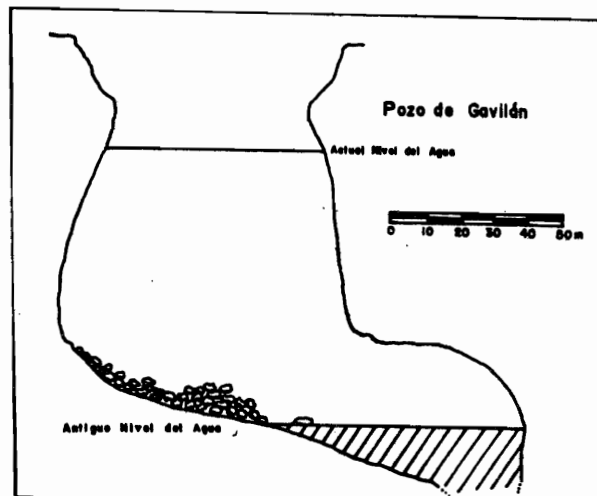


Fig. 60 Perfil del pozo de Gavilán

Otras cavidades desarrolladas en yesos son el Sumidero de Pabillo, una galería en forma de cañón vadoso de 150 m de largo y la Cueva de la Encinal (fig. 61), corto sumidero de 70 m, no terminado de explorar.

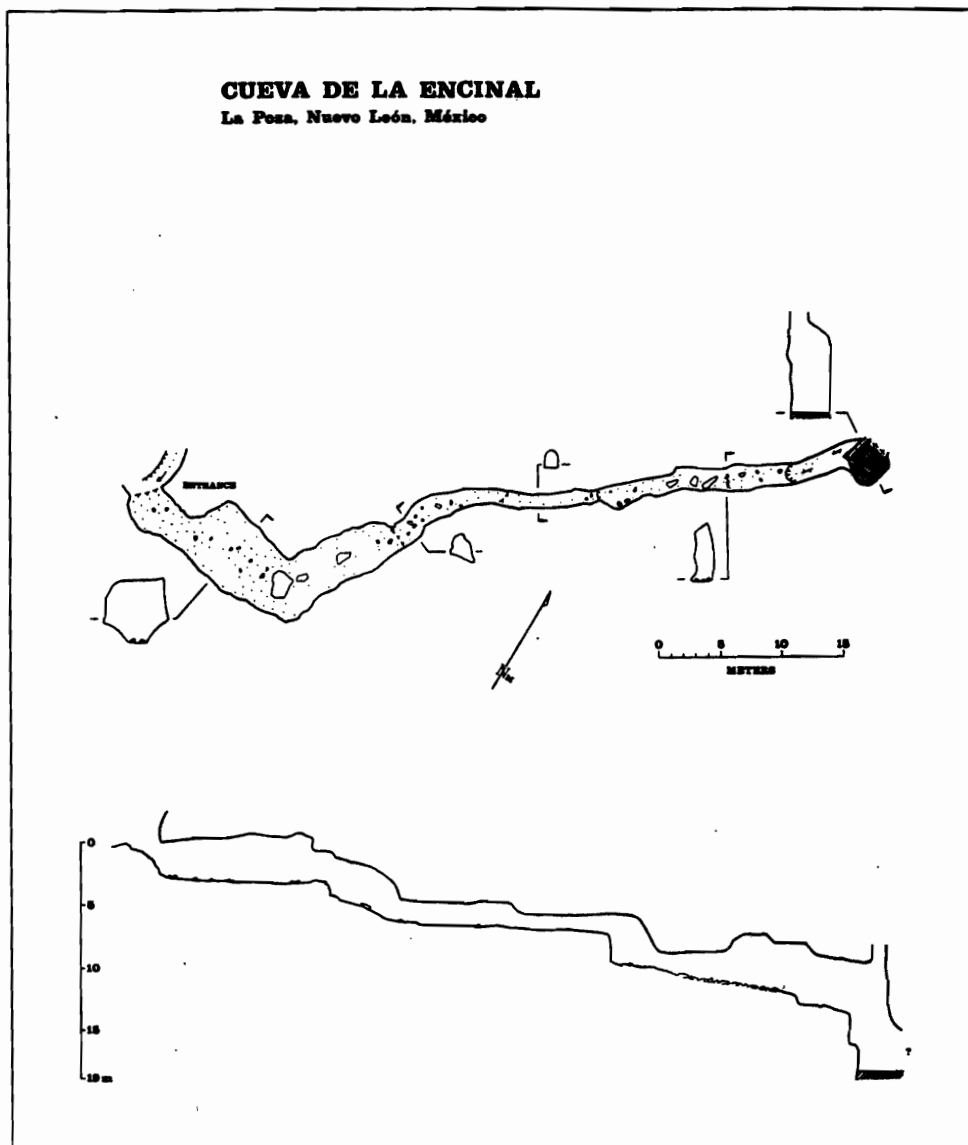


Fig. 61 Planta y perfil de la cueva de La Encinal

Las cavernas desarrolladas en calizas son, entre otras, la cueva de los Lateros y la cueva de los Cuervos (fig. 62), ambas fósiles, resultado de colapso.

Se trata de un karst fósil, en el que la presencia de yesos ha permitido el desarrollo sobrepuesto de un karst de tipo alpino, al tener una solubilidad mayor que las calizas.

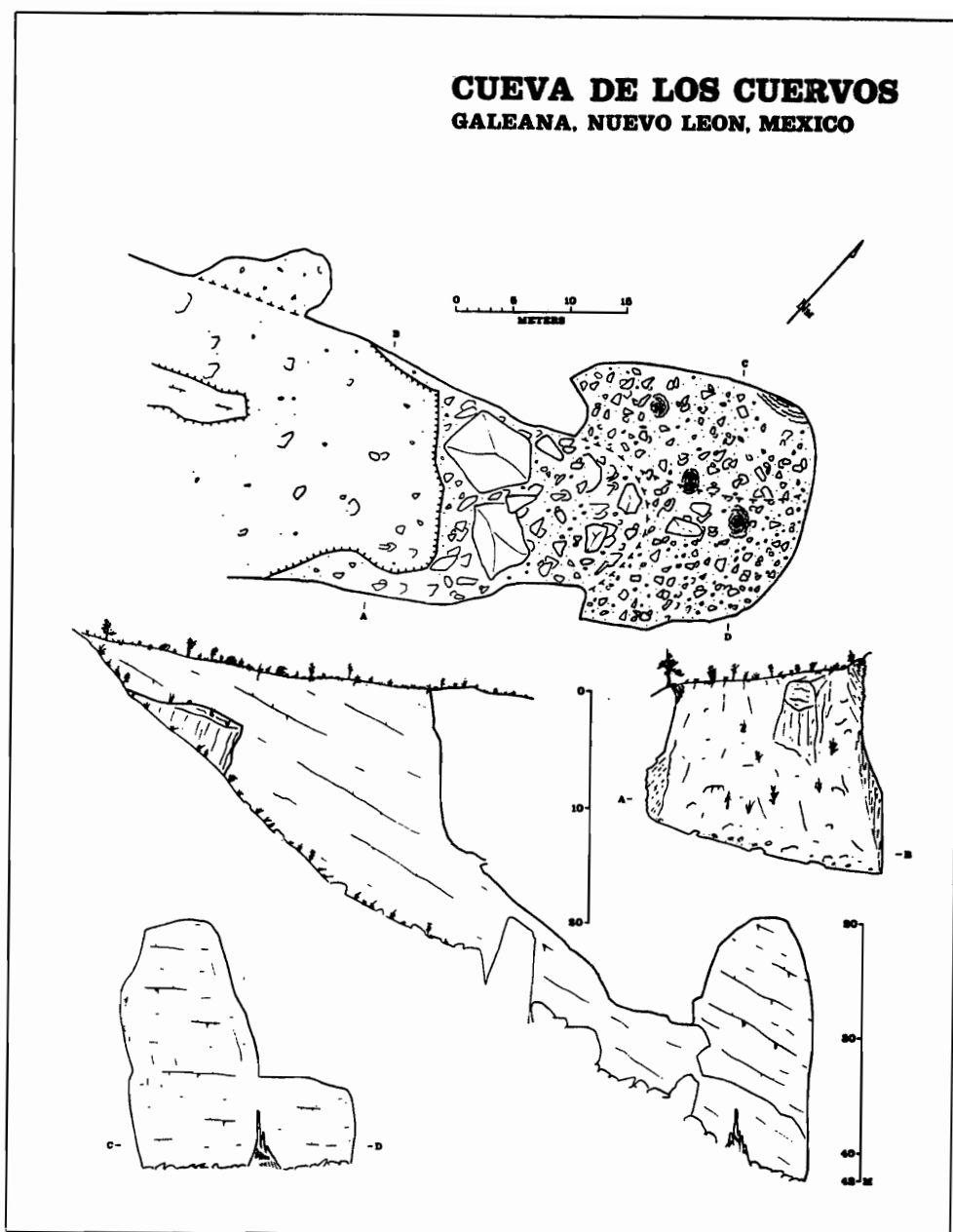


Fig. 62 Planta y perfil de la cueva de Los Cuervos

4.2.- Al sur del río Blanco y al oeste de Cd. Victoria se encuentra uno de los karsts más importantes de México, el de Purificación. En la siguiente descripción se sigue a Hose (1981), añadiendo los datos encontrados en las siguientes publicaciones espeleológicas: Sprouse (1977a, 1977b, 1982, 1983, 1985, 1987), Ediger (1978), Treacy (1979, 1980), Lloyd (1979), Stone (1979c), Pate (1979, 1980, 1983), Sprouse y Sprouse (1985), Sprouse y Vesely (1987), Pate et al. (1987), Sprouse et al. (1987), Pate y Sprouse (1988), Kambesis et al. (1988), Tapie P. (1988), Tapie M. (1988) y Diamant (1989).

La zona consiste en dos crestas alargadas en dirección norte-sur; la cresta oriental presenta una gran cantidad de

dolinas de disolución separadas por aristas afiladas, lo que hace pensar en un karst de tipo alpino. La cresta occidental tiene un relieve menos abrupto, formado por cerros amplios, convexos, con dolinas en las partes altas, lo cual parece indicar un karst de tipo cálido-subhúmedo. Sin embargo, las formas subterráneas no corresponden a ninguno de estos dos tipos. Las cavidades más importantes encontradas hasta ahora consisten en galerías y tiros de origen vadoso, activas, que intersectan, a uno o varios niveles distintos, extensas galerías horizontales de origen freático, fosilizadas y vueltas a reactivar por las actuales aguas vadasas. Se trata entonces de un karst mixto, en el que se superponen a un antiguo karst fósil freático, karsts de tipo alpino y/o cálido-subhúmedo.

La mayor cavidad conocida a la fecha en la región es el Sistema Purificación (fig. 63), con más de 8 entradas diferentes, 76 km de galerías exploradas (sin terminar) y 904 m de desnivel total, lo cual la coloca entre las 12 cavernas más largas del mundo (Courbon *et al.*, 1989) y en sexto lugar entre las mayores cavidades del mundo en longitud y profundidad (Bosted, 1988).

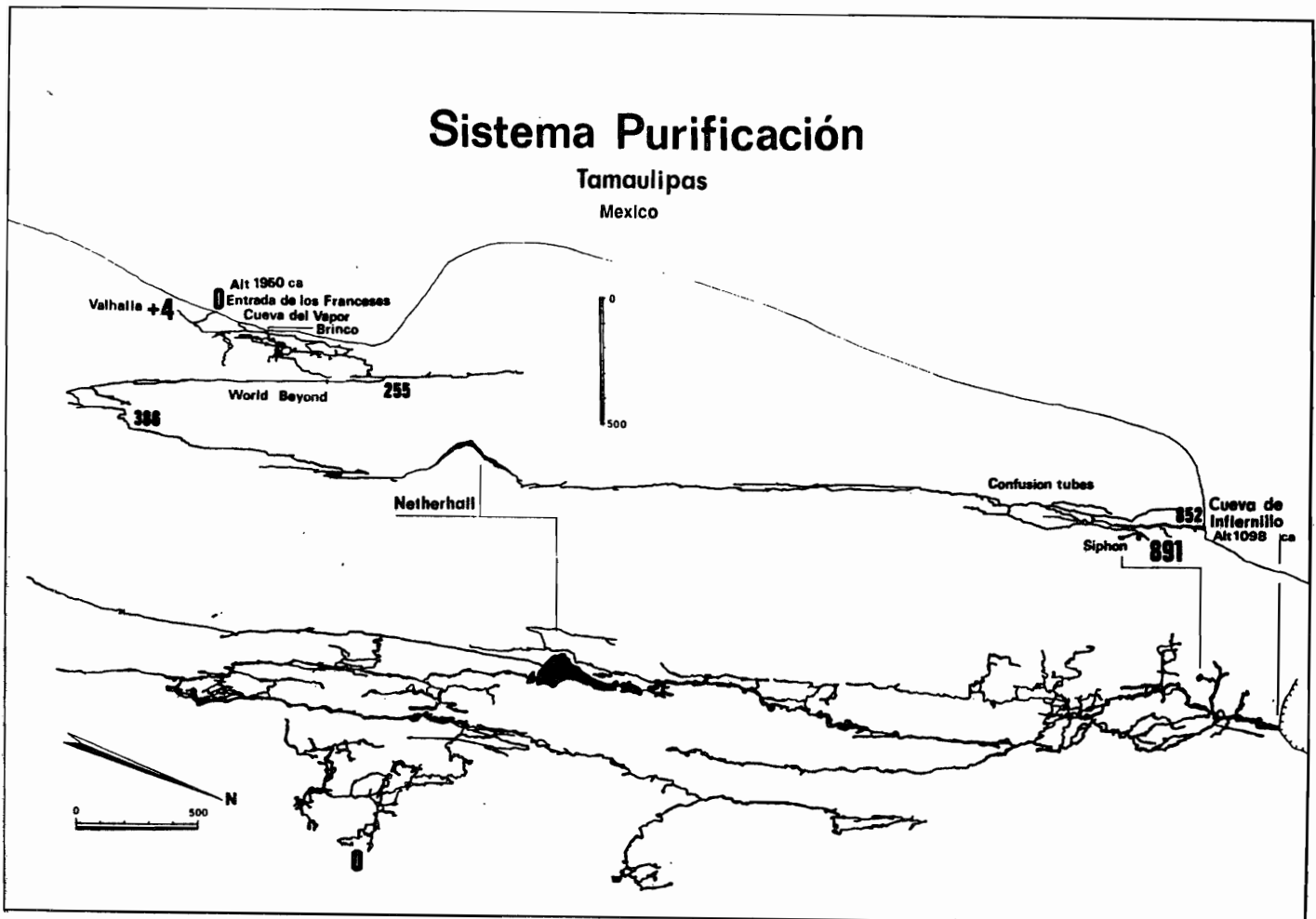


Fig. 63 Perfil y planta del sistema Purificación

La porción más elevada está integrada por un laberinto de antiguos pasajes freáticos en avanzado estado de fosilización, atravesados por los cañones y galerías vadosas del Sumidero de Oyamel, y algunos otros afluentes (Dragon River, Calcite Stream, Valhalla Stream), que llevan sus aguas a un gran túnel freático denominado "The World Beyond". Estas aguas se pierden en un sifón, pero a través de una serie de pasajes fósiles se alcanza un nivel inferior, por donde corren las aguas del "Nile River", probablemente continuación del anterior. Una serie de afluentes (Breakdown River, Midnight River) procedentes de galerías freáticas reactivadas situadas al sur se unen al "Nile River", antes de que éste se hunda en un derrumbe impresionante que forma el mayor salón de la cavidad: el "Netherhall", de 200 m de largo y ancho, y cerca de 100 de altura, formado en una zona de fracturamiento muy importante. Del otro lado de este derrumbe vuelve a surgir el río, ahora llamado "Isopod River", y después de varios cientos de metros de recorrido, desaparece en un sifón que no ha podido ser contorneado. Al oriente del "Isopod River" se encuentra un increíble laberinto de tubos de origen freático, reactivados por las aguas del río durante las crecidas, ya que funcionan como trop plein (vertedor de demasías), denominado "Confusion Tubes", que finalmente desembocan a una serie de grandes galerías que llevan a la entrada inferior, la cueva de Infiernillo.

Las otras cavidades importantes, como La cueva del Tecolote (20.8 km de largo por 258 m de profundidad) (fig. 64), el sótano de las Calenturas (6 km de longitud) y la cueva de la Llorona (3.5 km de largo por 412 m de profundidad) siguen un desarrollo parecido, con galerías vadosas jóvenes y activas que intersectan a grandes niveles freáticos fósiles, rejuvenecidos por estas aguas vadosas.

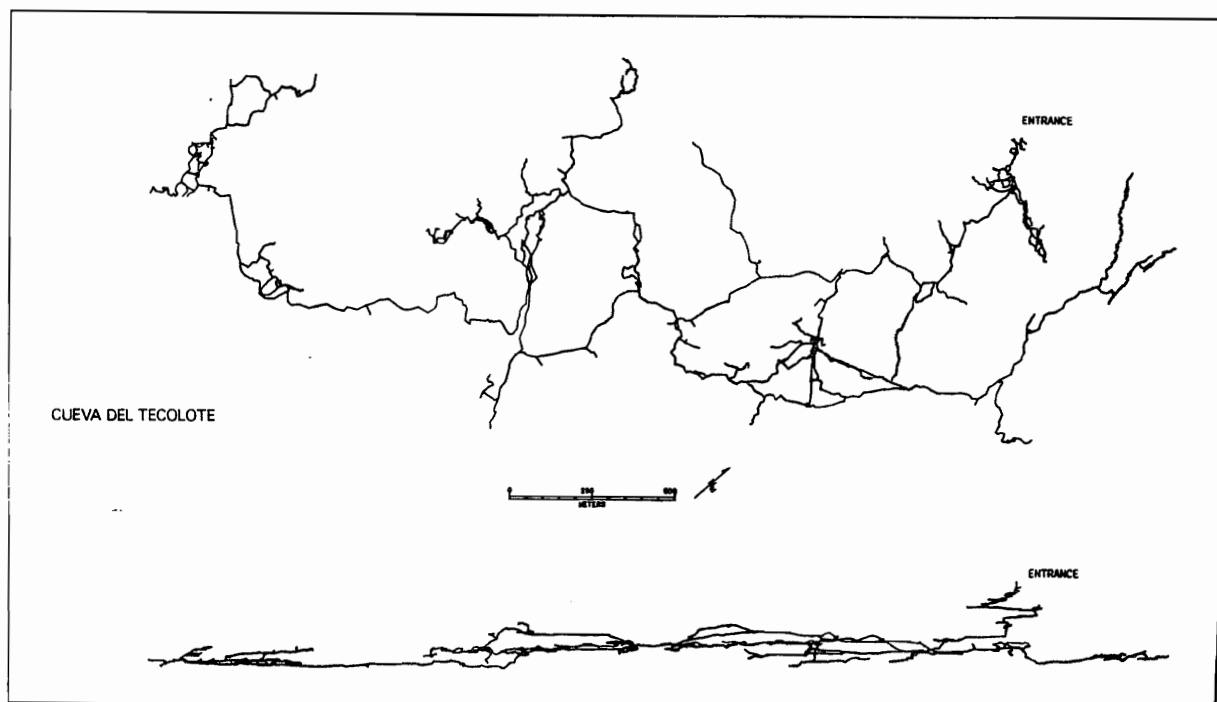


Fig. 64 Planta y perfil de la cueva del Tecolote

4.3.- Al sur del río Guayalejo, está la Sierra de Guatemala, cuya porción noreste presenta una topografía de cerros redondeados, convexos, que definen a un karst propio de un clima cálido-subhúmedo, mientras que en su porción meridional tiene un relieve muy marcado de cerros tipo cono (keggel), separados entre sí por grandes dolinas de hundimiento, que conforman un karst tropical. El extremo occidental de la sierra tiene un paisaje caracterizado por dolinas de disolución separadas por estrechas aristas, que definen un karst de tipo alpino.

Son pocas las cavidades conocidas en esta área; destaca el sótano de la Joya de Salas, un sumidero que capta gran cantidad de agua de temporal, de desarrollo primordialmente vertical, y de origen vadoso (Russell y Raines, 1967; Soukup, 1978; Minton, 1980); el sótano de Vásquez (Mothes y Jameson, 1984) consiste en una serie de 5 galerías horizontales superpuestas, separadas por tiros verticales, en estado fósil. Además, se conocen varias cavidades fósiles que funcionaron como resurgencias, entre las que cabe destacar la cueva de las Peñitas (fig. 65) (Elliot, 1979, 1982). Las resurgencias activas se encuentran al oriente, al nivel de la planicie costera; la mayor de ellas es el nacimiento del Río Sabinas, espectacular fuente a presión en la que se han podido bucear más de 50 m de profundidad (Stone, 1978; Exley, 1979).

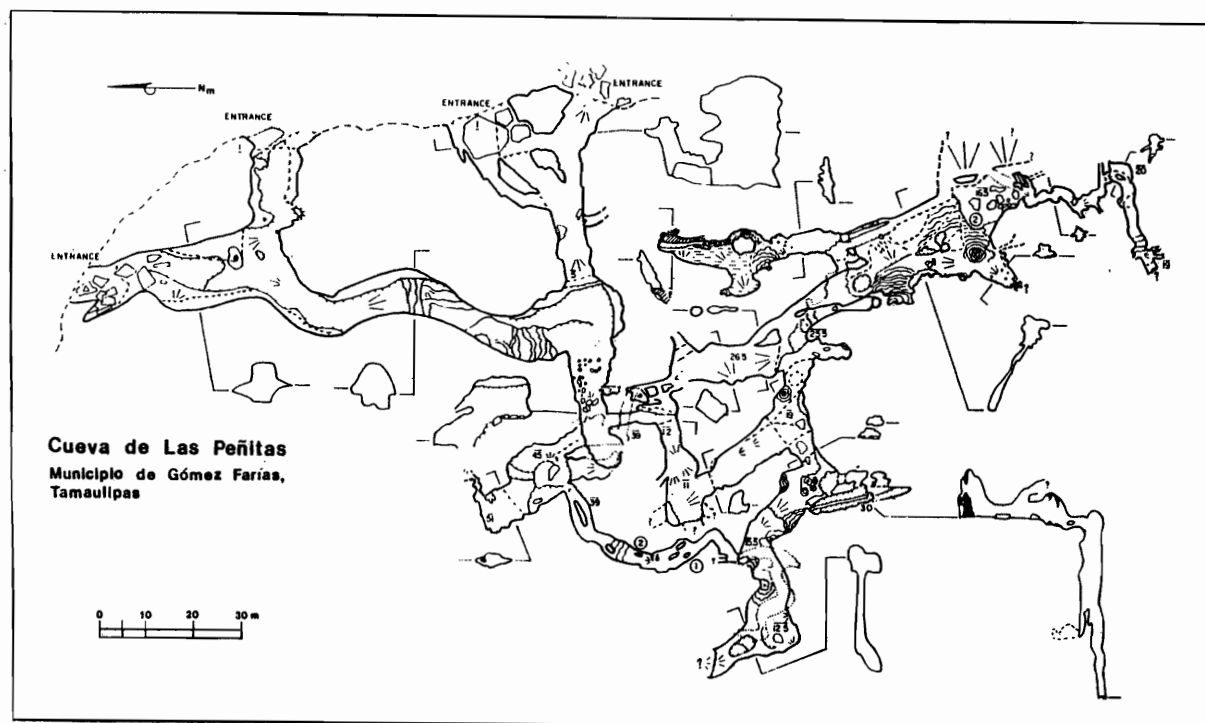


Fig. 65 Planta de la cueva de Las Peñitas

4.4.- Al oeste de la Sierra de Guatemala, en los alrededores de Miguihuana existen una serie de cerros de formas redondeadas, convexos, con dolinas en las partes más altas. Estos cerros están dispuestos en anticlinales de dirección norte-sur. Aunque casi no se conocen cavidades (Jameson, 1982), las formas superficiales indican la presencia de un karst propio de un clima cálido-subhúmedo.

4.5.- Al sur del río Boquillas-Comandante se nota un cambio muy marcado en la morfología de la Sierra Madre Oriental: en lugar de un gran macizo calcáreo al oriente y sierras relativamente aisladas al occidente, se tiene una serie de crestas calcáreas aisladas al oriente, entre las que sobresale la sierra El Abra (también llamada sierra de Tanchipa), y un macizo relativamente amplio al oeste. La sierra El Abra es una de las zonas kársticas mejor estudiadas de México. Los trabajos realizados son muchos, pero destacan los de Bonet (1953 b), Russell y Raines (1967), Atkinson (1982) y sobretodo Mitchell et al. (1977) que, aunque de interés principalmente biológico, contiene el mejor estudio sobre niveles freáticos, morfología superficial y morfología subterránea, del área en cuestión. Entre los trabajos espeleológicos, son importantes los de Morris (1976, 1989), y Minton (1978).

La sierra El Abra, junto con las sierras aledañas de Nicolás Pérez y de La Colmena presentan un relieve suave hacia el oeste y abrupto en su vertiente oriental, pero en general puede decirse que su morfología es la de cerros amplios, muy alargados (en dirección norte-sur), con planicies en la parte alta, en las cuales abundan las dolinas. Esto indica la presencia de un karst propio de un clima cálido-subhúmedo. La fuerte pendiente oriental de la sierra El Abra se ha interpretado como una falla normal (Bonet, 1953b) y, más recientemente, como un paleo-relieve exhumado (Mitchell et al., 1977; Atkinson, com. pers.). Hacia el lado occidental, en cambio, el relieve es mucho menos acentuado, formado por suaves laderas que pasan gradualmente a formar el piso del valle de Antigua Morelos.

Las cavidades presentan morfologías muy distintas, según donde se encuentran: En la vertiente occidental hay una serie de capturas de arroyos superficiales, desarrollados sobre la Formación San Felipe, que al alcanzar las calizas de la Formación El Abra se sumergen bajo tierra en grandes cavernas. El proceso por el que se llevan a cabo estas capturas y su evolución ha sido detallado por Mitchell et al. (1977). Entre las cavidades así formadas cabe destacar el sótano del Tigre (4 km de largo, 160 m de profundidad), el sótano del Venadito (2 km de largo, 180 m de profundidad, sin terminar), el sistema de Montecillos (3 km de largo, 114 m de profundidad) (fig. 66) y el sistema Los Sabinos, integrado por tres cavidades: el sótano de la Tinaja (5 km), el sótano del Arroyo (7 km) y la cueva de los Sabinos (2 km), con una profundidad total 180 m (Fish, 1974)). Todas estas cavidades siguen la misma tendencia: tiros verticales de entrada hacia una serie de galerías subhorizontales, en forma de cañón, controladas por la estratificación y el fracturamiento, activas, con algunos tiros cortos, vadosas hasta alcanzar el nivel de base, formado por amplias galerías de sección circular, lodosas, de origen

freático y que terminan en sifones o no se pueden explorar por presencia de CO_2 , pero que se encuentran en la zona hidrodinámica de fluctuación estacional, muy cerca de la zona freática.

EL SISTEMA DE MONTECILLOS
MUNICIPALITY of CIUDAD VALLES, S.L.R., MEXICO

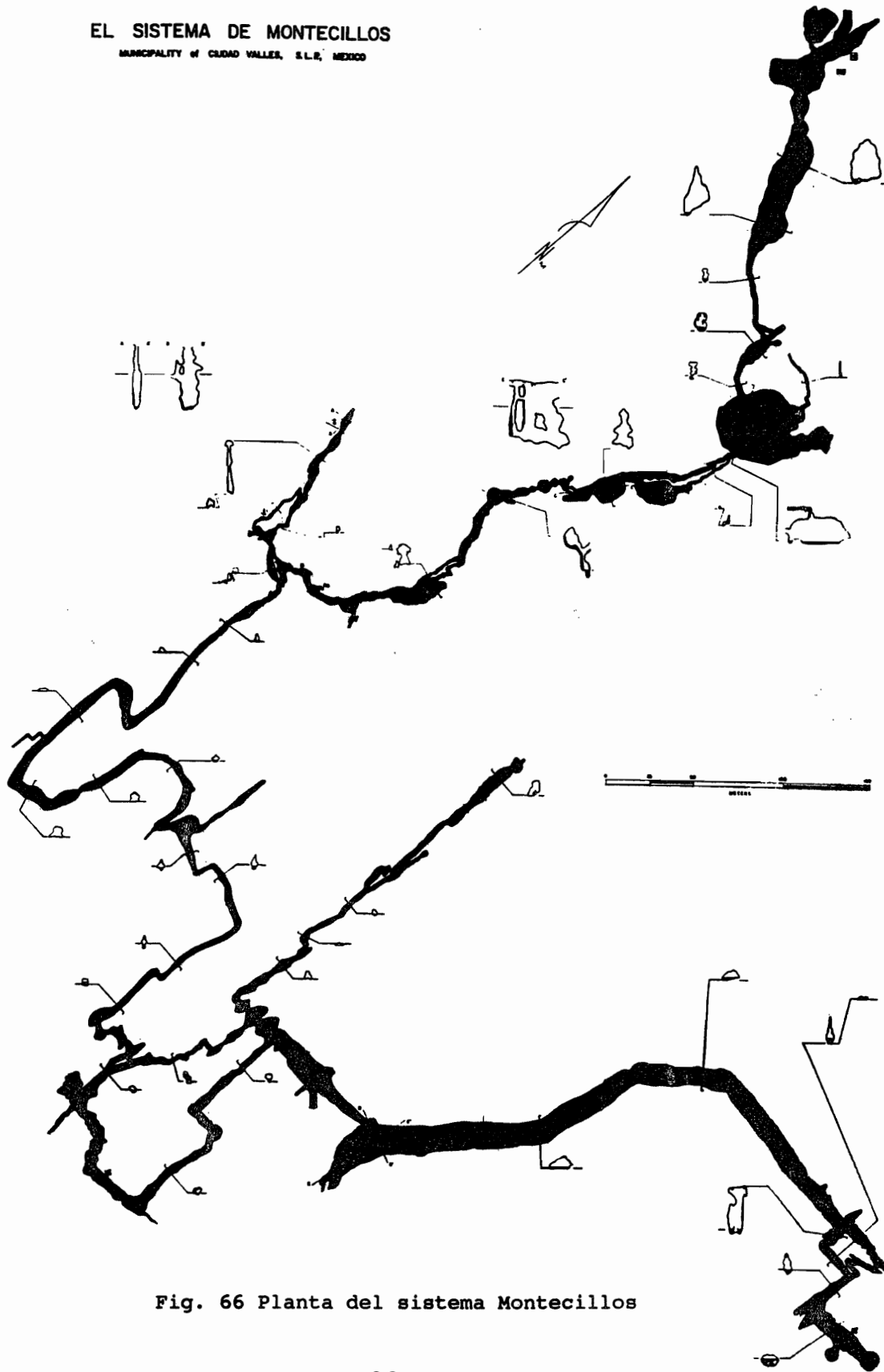


Fig. 66 Planta del sistema Montecillos

En la parte alta de la sierra se encuentran con frecuencia cavidades amplias, fósiles, de origen freático, como la Hoya de Zimapán, que es la porción ascendente de una antigua resurgencia de tipo vaclusiano, ahora fósil, con al menos 320 m de desnivel (Morris, 1989; Ford y Williams, 1989), y el sótano de la Cuesta, inmenso salón de 300 m de largo, 100 m de ancho y 200 m de alto (fig. 67). De acuerdo con Bonet (1953b) existen al menos tres antiguos niveles freáticos fósiles en la sierra El Abra.

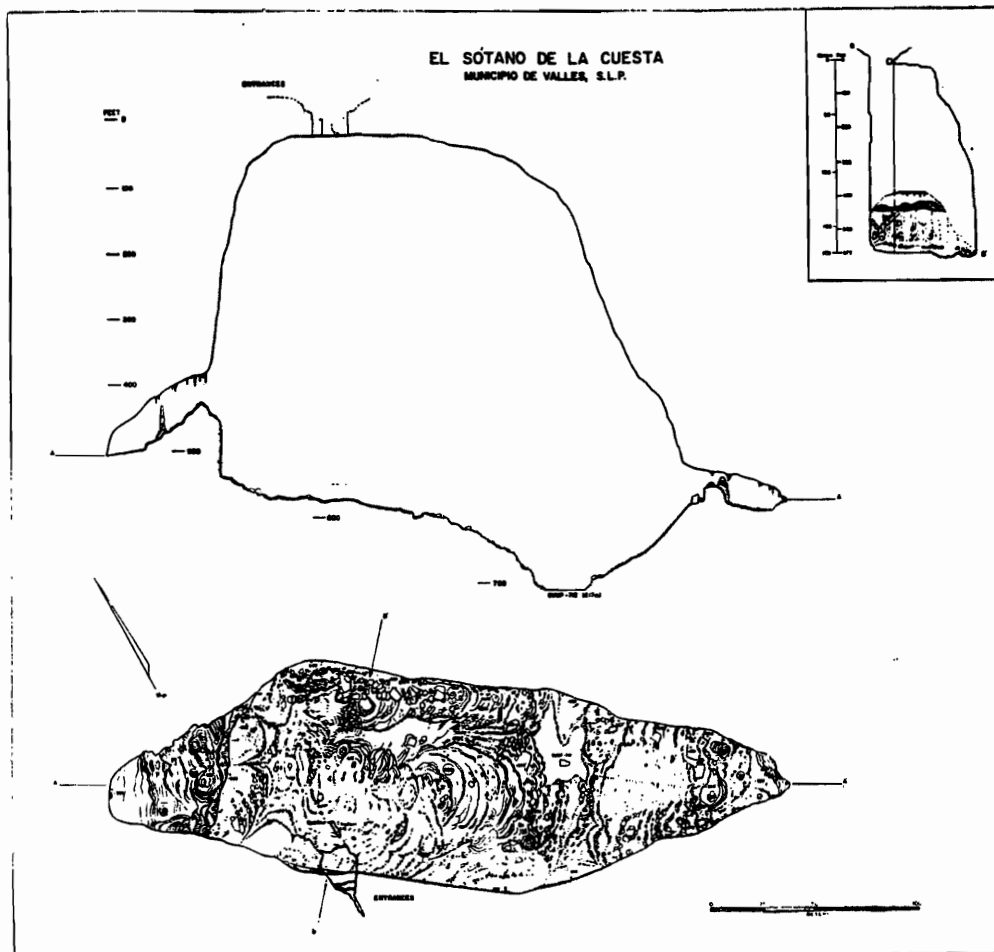


Fig. 67 Perfil y planta del sótano de la Cuesta

Además hay varias cavidades de origen vadoso, ubicadas en el fondo de grandes dolinas de disolución y relacionadas con el actual ciclo geomorfológico, entre las que destacan el sótano de los Monos, con un tiro de entrada de 142 m, seguido por galerías y series de tiros, todos de origen vadoso, que alcanzan una profundidad de 291 m y la cueva de Diamante, que consiste en una larga sucesión de cortos tiros verticales, casi sin galerías horizontales, y que alcanza una profundidad de 621 m, casi al nivel de las resurgencias (fig. 68).

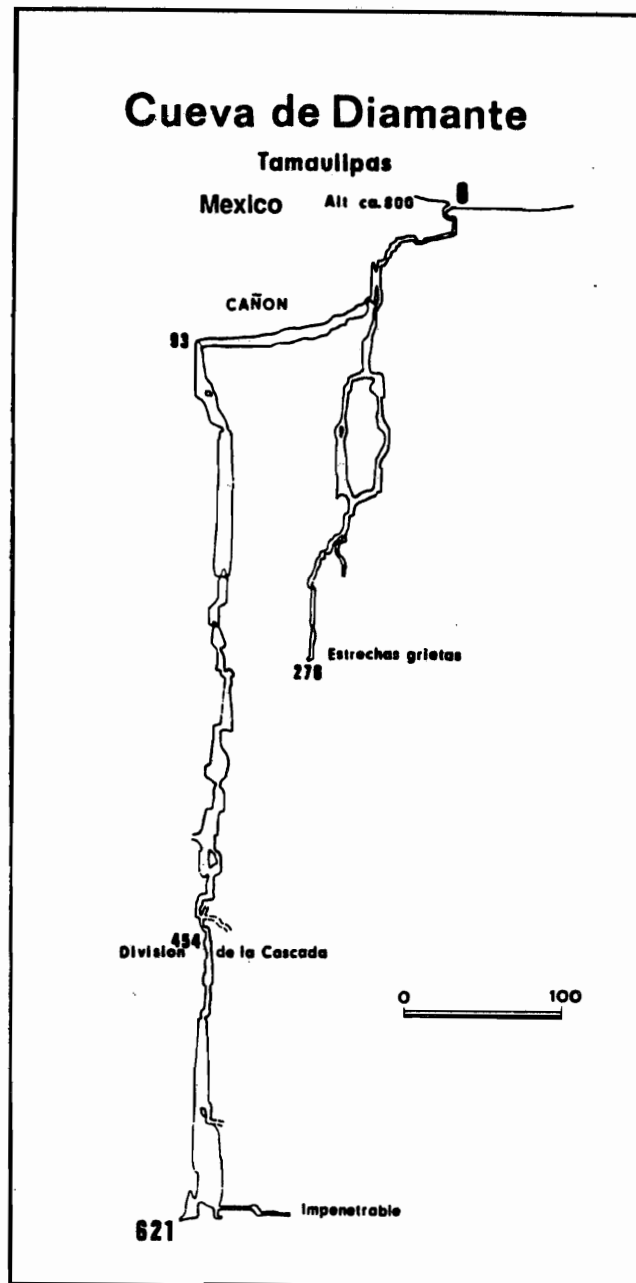


Fig. 68 Perfil de la cueva de Diamante

Por último, en el frente oriental de la sierra se encuentran cavidades resurgentes activas y fósiles, entre las que destacan la cueva del nacimiento del río Choy, de la que se ha explorado buceando, una distancia de 379 m, hasta una profundidad máxima de 40 m, y el nacimiento del río Mante (fig. 69), en el que se ha buceado hasta la increíble profundidad de 240 m (Exley, 1979, 1988). Ambas son cavidades freáticas, activas, con una descarga promedio de 335 millones de metros cúbicos anuales para el Mante y 141 millones para el Choy.

Las sierras de Nicolás Perez y de La Colmena, aunque no tan extensamente estudiadas, presentan una morfología similar a la Sierra El Abra. También se trata de karsts de un clima cálido-subhúmedo.

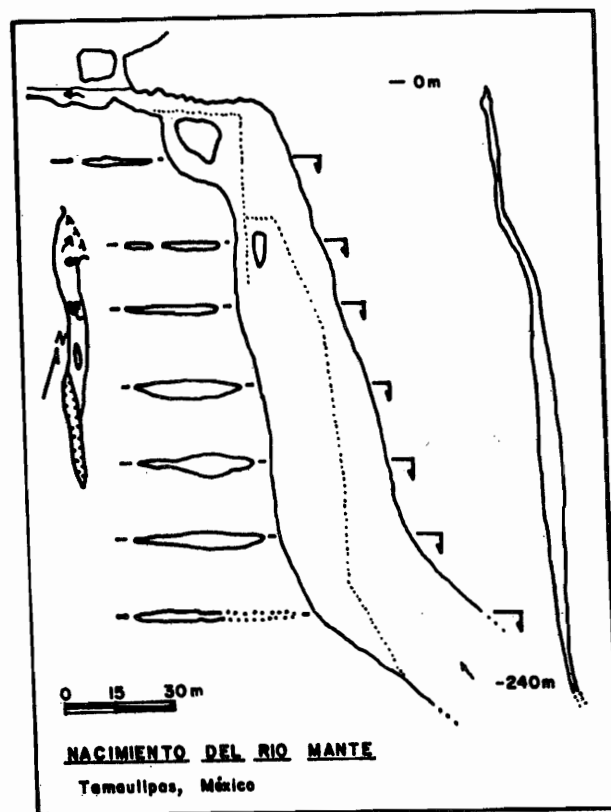


Fig. 69 Perfil del nacimiento del río Mante

4.6.- Hacia el occidente se encuentra una zona de afloramientos de calizas más amplia, la cual, en los alrededores del poblado de Papagayos, presenta un relieve conformado principalmente por cerros cónicos (keggel), que indican un karst tropical. Sin embargo, no se han realizado exploraciones en esta porción de la sierra.

4.7.- Aún más al oeste, en los alrededores del poblado de San Francisco (sierra de Alvarez) se encuentra un karst formado por dolinas de disolución muy marcadas, separadas por extensos campos de lapiaz puntiagudo estriado (valle de los Fantasmas), que marcan una zona estrecha de karst alpino. Se han explorado varias cavidades en esta región, entre las que destacan la cueva del Puente, con 3 km de longitud, formada por una larga galería en forma de cañón, de origen vadoso, activa; el sótano de Puerto de Lobos, que consta de un tiro vertical de 174 m; el sótano de San Francisco, que consiste en dos tiros verticales de más de 100 m cada uno hasta llegar a una corta galería horizontal, activa y de origen vadoso, que termina en un sifón (fig. 70); y el resumi-dero El Borbollón, con 677 m de profundidad total y con un tiro

de 217 m, que es de origen vadoso, y consiste en una serie de tiros semiactivos, que termina en un sifón (Cobb y Sprouse, 1989; Sumbera, 1989; Puente y Torres, 1989; Raines, com. pers.).

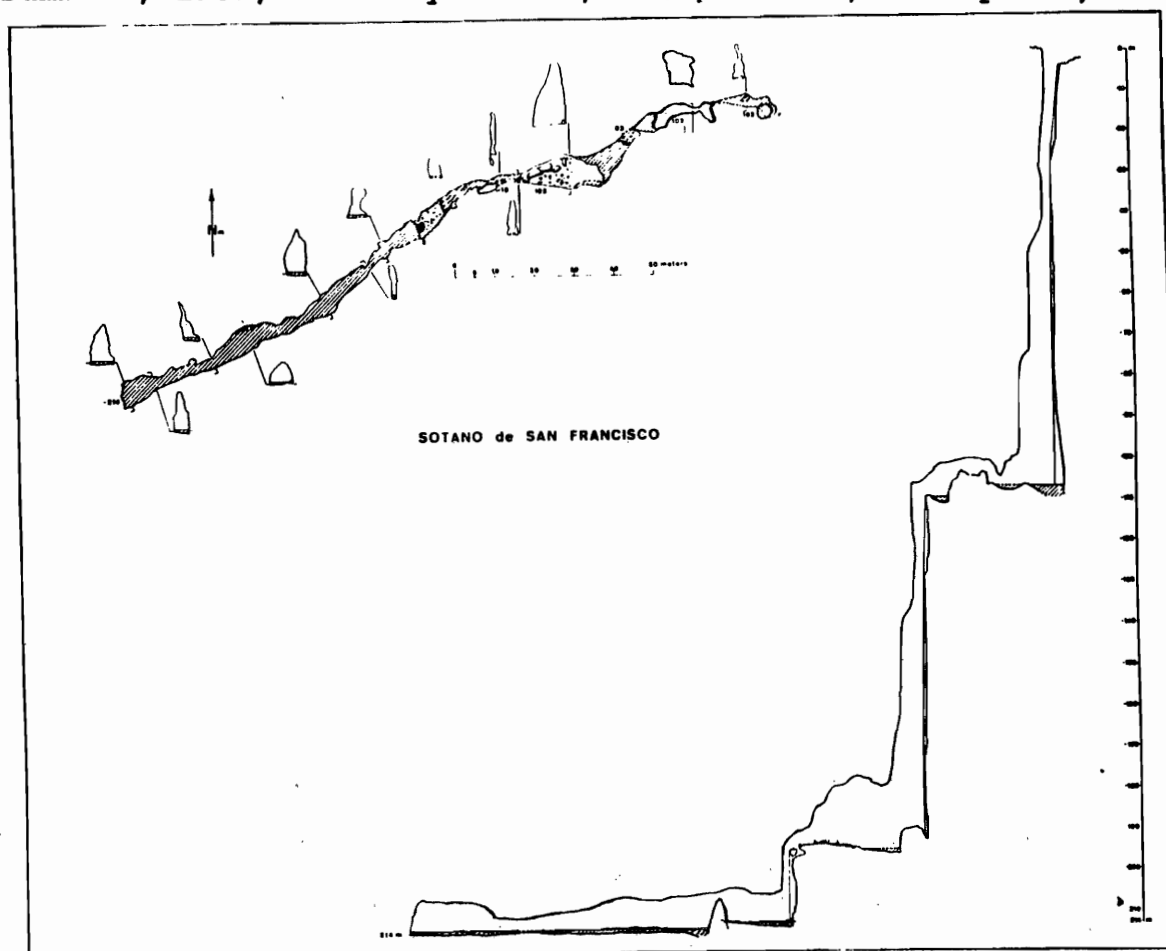


Fig. 70 Planta y perfil del sótano de San Francisco

4.8.- Al sur del río Santa María, está una de las zonas kársticas más bellas de México, la región de Xilitla-Jalpan. Fue una de las primeras regiones kársticas estudiadas (Bonet, 1953a; Russell y Raines, 1967) y recientemente han aparecido otros trabajos (Lazcano, 1984, 1986). Desde el punto de vista espeleológico destacan las publicaciones de Raines (1968, 1972), Stone y Jameson (1977), Jefferys (1979), Sprouse (1980a, 1980b), Zambrano (1980), Lazcano (1982a, 1982b, 1983a, 1983b, 1983c), Sprouse T. (1985) y el informe de la expedición británica a la zona en 1985-1986.

4.8.1.- En la porción oriental está el Macizo kárstico de Xilitla, uno de los karsts tropicales más desarrollados de México, especialmente al sur del poblado de Tampaxal, donde el relieve está marcado por grandes cerros cónicos (keggel) y en forma de torres (turm), y existen inmensas depresiones de colapso. Una de las cavidades más importantes encontradas en esta zona es el mundialmente famoso sótano de las Golondrinas (fig. 71), con un tiro vertical de 376 m, formado por el derrumbe de una gran cámara subterránea, y que lleva a uno de los salones más

voluminosos del planeta (Courbon *et al.*, 1989). Además, se conocen otras cavidades de formas similares, como la Hoya de Guaguas, una gran caverna de derrumbe de 200 m de largo y alto, por 100 m de ancho, conectada a otro inmenso salón de 250 m de largo, 150 m de ancho y 300 m de alto, y la Hoya de la Luz, de 188 m de profundidad por 200 m de ancho. Estas cavidades deben su origen al colapso del techo de grandes salones subterráneos cercanos a la superficie.

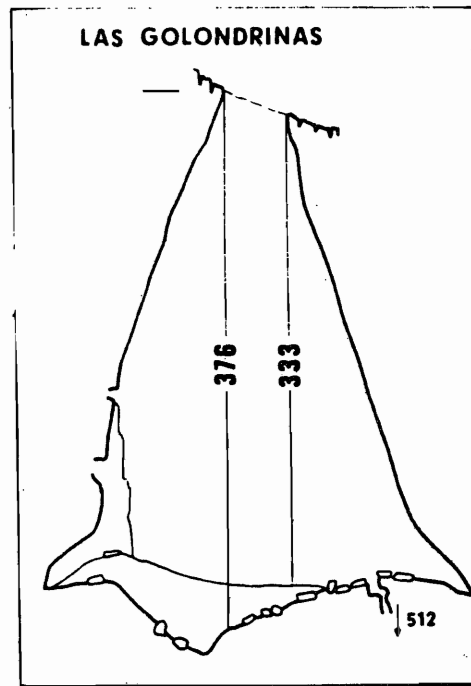


Fig. 71 Perfil del sótano de las Golondrinas

También se han encontrado cavidades activas, de origen vadoso, formadas por una serie de tiros verticales y/o galerías subhorizontales que siguen la estratificación, entre las que destacan el sótano de Huitzmolotitla (3 km de largo), el sótano de Tlamaya (3 km de largo, 447 m de hondo), la cueva 5 de Abril (2600 m de largo, 286 m de profundidad), la cueva de los Hornos (2600 m de largo, 340 m de profundidad), el sótano Arriba Suyo (1 km de largo, 560 m de prof.) y el sótano del Reefer Madness (1 km de largo, 411 m de prof.)(fig. 72).

Al nivel de la planicie costera se encuentran varias cavidades resurgentes; la más importante es el nacimiento del río Huichihuayán (Bonet, 1953a), que consiste en un inmenso salón derrumbado de 70 m de diámetro, casi totalmente ocupado por los bloques producto del derrumbe, entre los cuales sale el agua. Durante la realización de este trabajo se exploró esta cavidad hasta llegar a un sifón. En caso de lograrse pasar este obstáculo, todo parece indicar que se pueden encontrar extensas galerías horizontales de nivel de base, de origen freático.

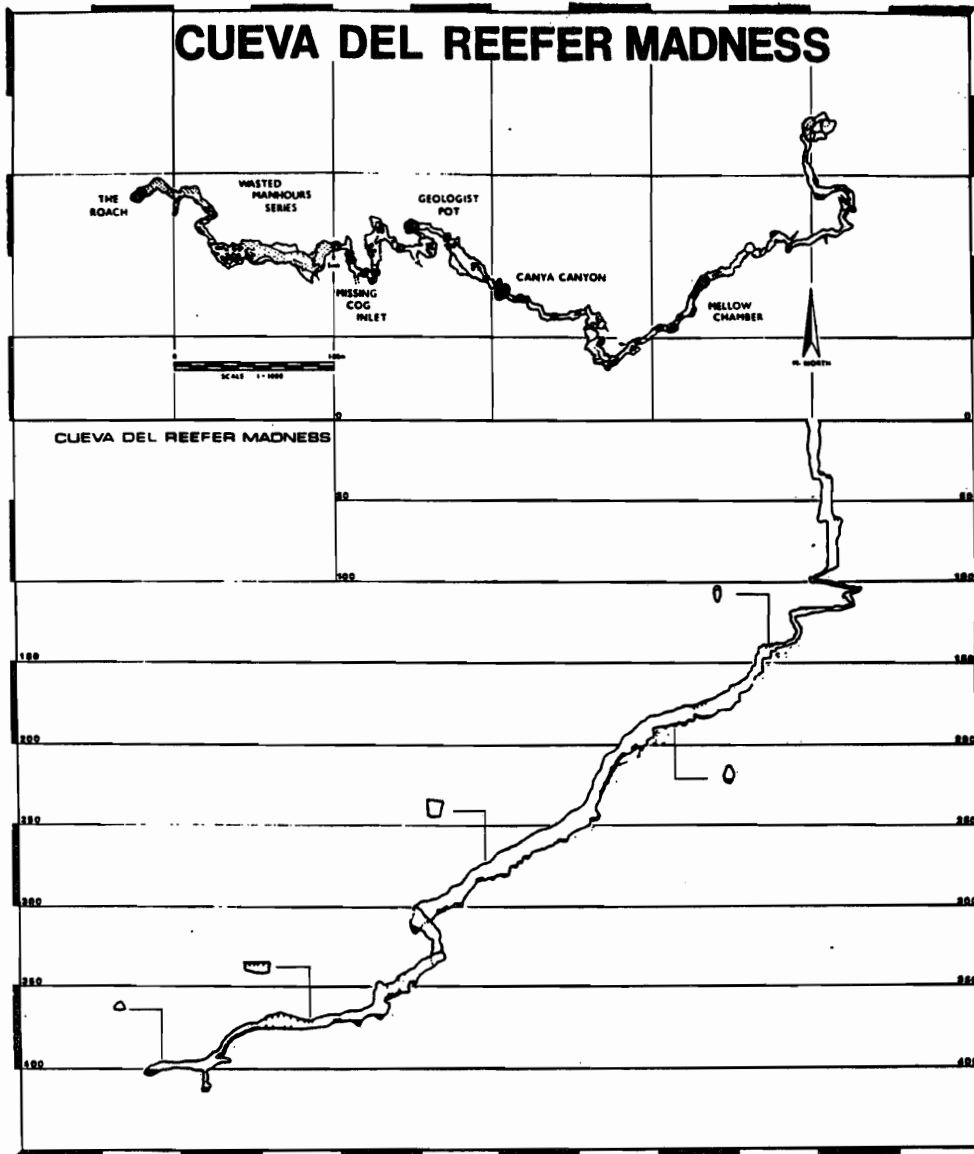


Fig. 72 Planta y perfil de la cueva del Reefer Madness

Hacia el oeste, a mucha mayor altitud, se encuentra un cambio radical en la morfología superficial (uno de los más claros observados en los mapas); se pasa a un relieve muy marcado de dolinas y uvalas de fondo relleno parcialmente por terra rossa, separadas por cerros de laderas abruptas y aristas estrechas, que conforman un karst alpino clásico. La cavidad más importante explorada en esta zona de difícil acceso es el sótano de Trinidad, con 834 m de profundidad (Fish, 1978; Courbon *et al.*, 1989), que consiste en una serie de tiros cortos, activos y de origen vadoso (fig. 73). Debido a lo remoto del área no se han explorado otras cavidades.

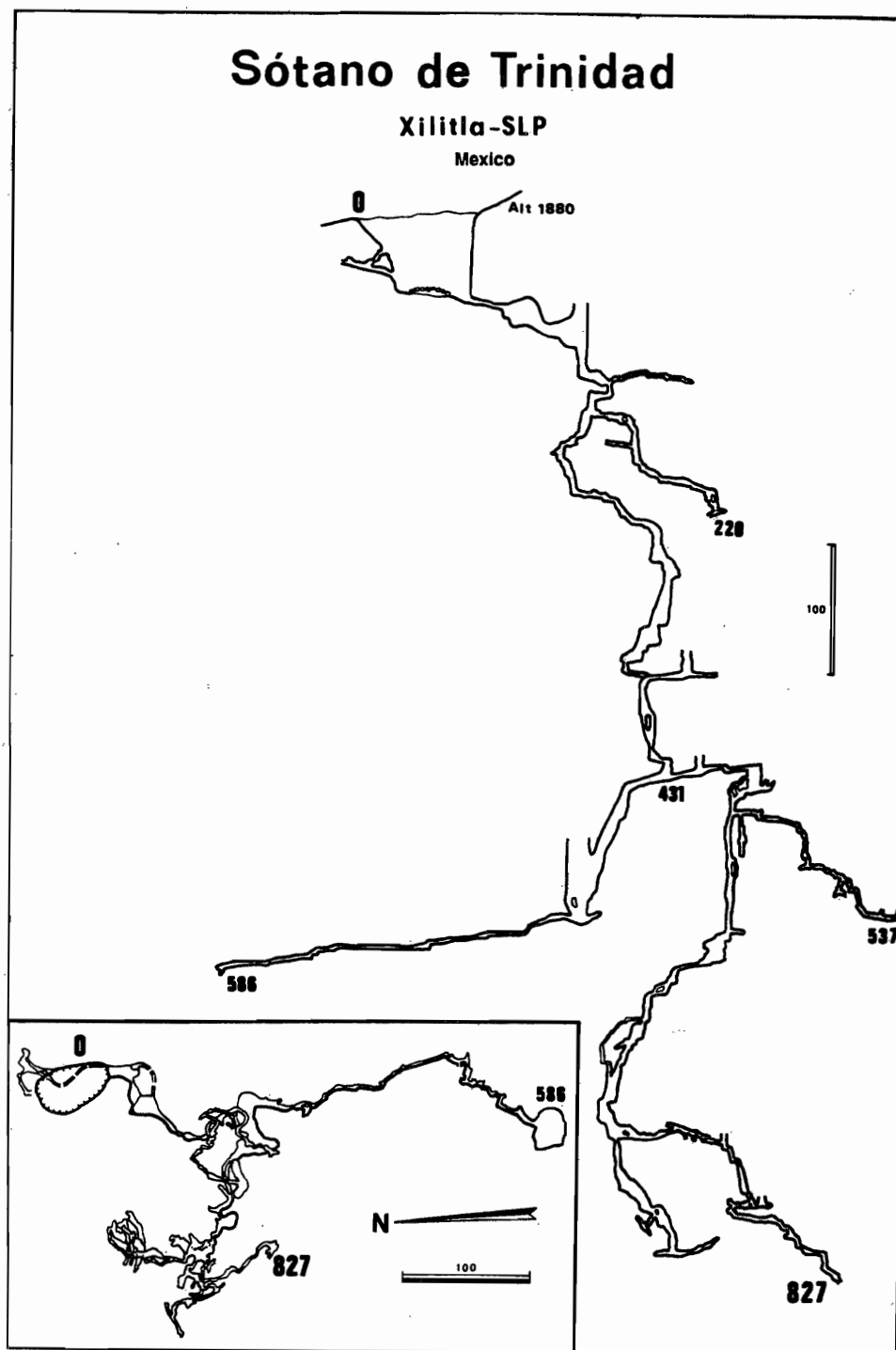


Fig. 73 Perfil del sótano de Trinidad

4.8.2.- Más al occidente, pasado el parteaguas superficial, y en la zona de "sombra" de las precipitaciones provenientes del Golfo de México, se encuentra la Sierra Gorda. La región tiene un relieve menos abrupto, formado por amplios cerros de laderas muy inclinadas pero con planicies en las partes elevadas, en las que se encuentran dolinas y otras formas de absorción,

separados por amplios valles de rocas no kársticas, o estrechos cañones por los que circulan arroyos como el río Jalpan. Se trata de un karst propio de un clima cálido-subhúmedo, probablemente uno de los más amplios de México, de este tipo.

En esta zona se han explorado más de 500 sótanos (Lazcano, 1986), la mayoría pequeños y fósiles. Sin embargo, también se han encontrado grandes cavernas, como el sótano del Buque (506 m de prof.), la Hoya de las Conchas (508 m de prof.), el sótano de Nogal (-529m), el sótano de las Coyotas (-581 m) y el sótano de Tilaco (-649m) (fig. 74). Todas estas cavidades consisten en series de tiros estrechos, vadosos y activos, que captan agua de las pequeñas dolinas en que se encuentra su entrada.

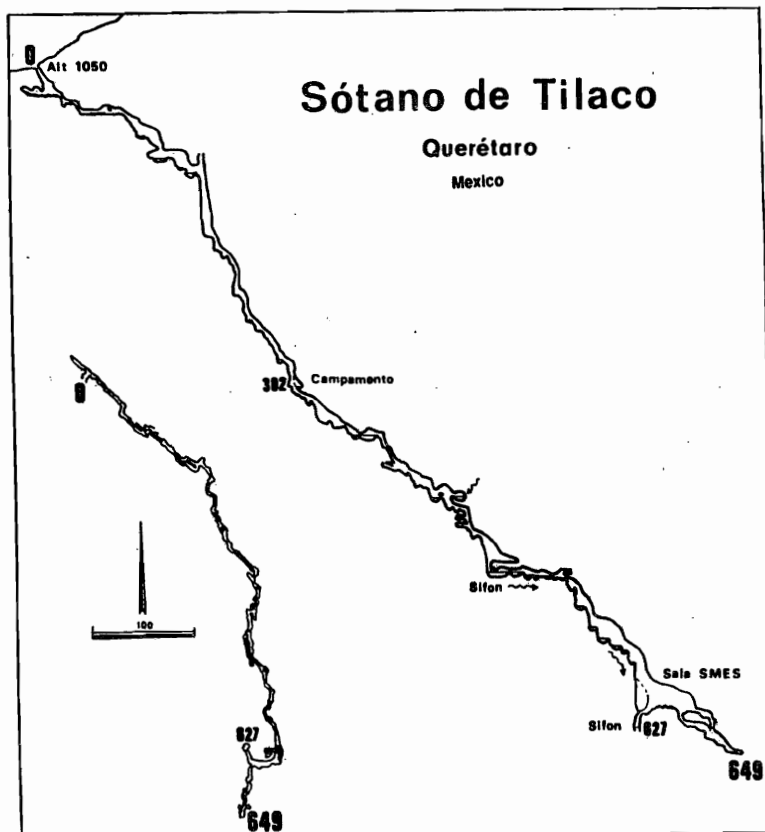


Fig. 74 Perfil del sótano de Tilaco

Además se han encontrado algunas cuevas horizontales, tanto fósiles como activas, cerca del nivel de las resurgencias, entre ellas la cueva de los Riscos (440 m de longitud), la cueva del Puente de Dios del río Jalpan (650m de long.) y la cueva del Río Jalpan (3,440 m de long.) (fig. 75). Estas últimas son sumidero y resurgencia respectivamente de un tramo subterráneo del río, que corta una pequeña cresta calcárea en las cercanías del poblado de Jalpan de Serra, Qro.; aparentemente están desarrolladas cerca del nivel de saturación, y son de origen freático.

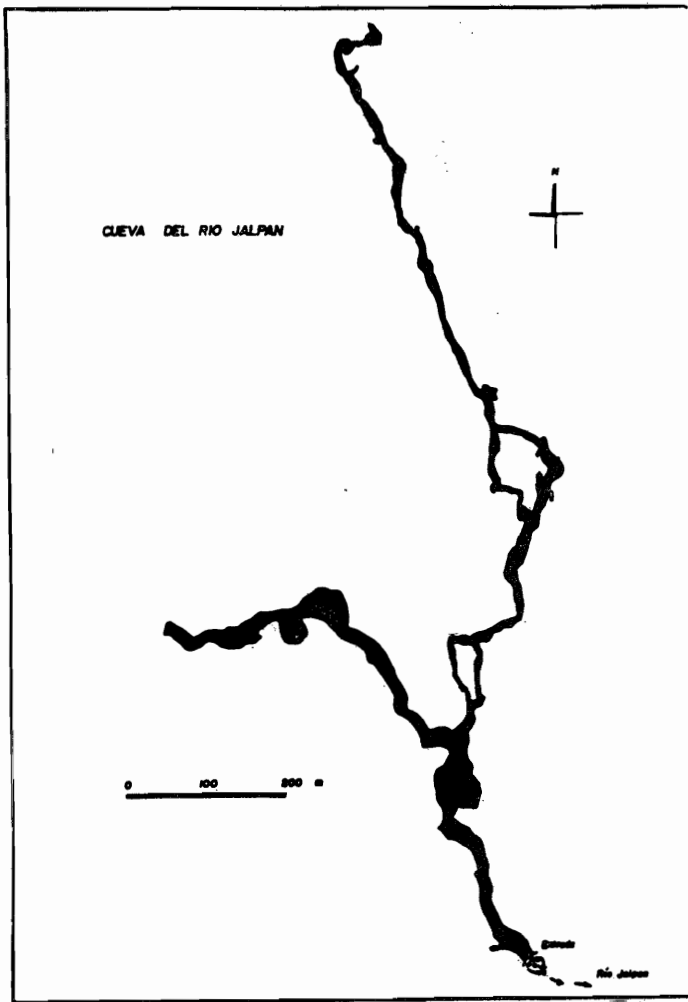


Fig. 75 Planta de la cueva del rio Jalpan

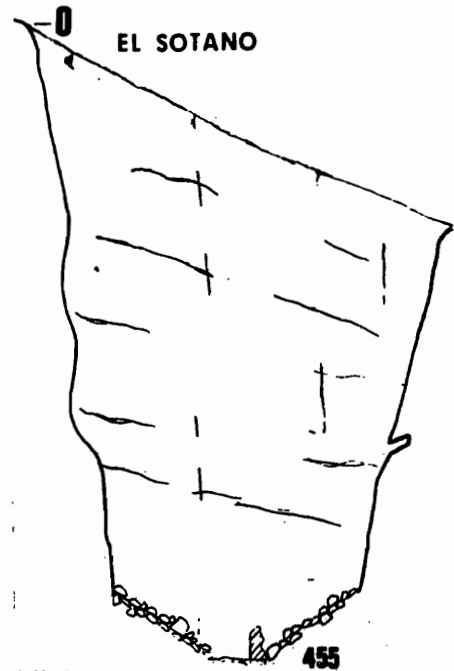


Fig. 76 Perfil de El Sótano

Destaca también una cavidad de colapso de dimensiones gigantescas: El Sótano (también conocida como Sótano del Barro), inmenso tiro de 455 m de profundidad, 400 m de largo y 200 m de ancho (fig. 76) (Bittinger, 1979; Courbon *et al.*, 1989). Aunque existen otras cavidades de colapso en la región, ninguna alcanza dimensiones semejantes.

4.9.- Al sur del rio Moctezuma se encuentra una extensa región kárstica casi no explorada (Lazcano, 1983d), pero con una expresión topográfica similar a la de la región de Xilitla-Jalpan: en la porción oriental, más baja, un relieve tropical formado por conos (keggels) y depresiones de colapso; en la porción central, más elevada, un relieve de dolinas y crestas correspondiente a un karst alpino, y en la porción occidental, cerros convexos aislados con dolinas en las partes altas, típicos de un karst de clima cálido-subhúmedo.

Únicamente se han explorado algunas cavidades cercanas a la carretera México-Tamazunchale: el sótano del Perro Vivo (-350 m de prof.; Raz-Guzmán, 1985), cavidad vadosa y activa, en la zona alpina, y la gruta de Xoxafi, complicado laberinto de galerías fósiles, con desarrollo tanto freático como vadoso, en la zona cálido-húmeda (Blásquez, 1950; Veni, 1983).

Además, al oriente de Ixmiquilpan, las Grutas de Tolantongo (Blásquez, 1950; Veni, 1983; Villagomez, 1983) han sido consideradas por la mayoría de los autores como un fenómeno kárstico. Espinasa-Pereña (1988b, 1988c), encontró que esta cavidad, curso subterráneo del arroyo Tolantongo, no es de origen kárstico, sino de precipitación hidrotermal. El agua del arroyo se origina en una serie de manantiales termales, y deposita carbonato de calcio y otros minerales en una porción estrecha del cañón en que labra su curso, formando así el techo de la cavidad. Se trata pues, de una cavidad formada por precipitación, y no por disolución y erosión, característica esencial de las cavidades kársticas.

4.10.- Al sur del río Vinasco la morfología de la Sierra Madre Oriental cambia totalmente, pasando de una estructura muy compleja formada por pliegues, fallas, etc., a un monoclinal inclinado hacia el noreste. El karst desarrollado en esta región, a diferencia de todos los demás de la Sierra Madre Oriental (que son de elevaciones montañosas plegadas y falladas), es de mesa monoclinal inclinada. Este monoclinal se extiende desde el río Vinasco hasta los alrededores de Teziutlán, y se trata en realidad del flanco oriental de un gran anticlinal, en cuyo núcleo aflora la Formación Huayacocotla y otras, del Jurásico, y cuyo flanco oriental está cubierto por los depósitos volcánicos terciarios de la Mesa Central y el Eje Neovolcánico.

Existe un solo trabajo sobre el karst de esta zona (Davis, 1974), que es anterior a las exploraciones espeleológicas efectuadas en la región. Cabe aclarar que todas las exploraciones se han concentrado en los alrededores del poblado de Cuetzalán, debido a su fácil acceso, y a que los afloramientos de calizas más extensos de todo el monoclinal se encuentran en las cercanías de esta población. Por ello, esta región se describirá con mayor detalle. Posterior al trabajo de Davis, se han realizado numerosas exploraciones espeleológicas, que han determinado la existencia de varios grandes sistemas de drenaje subterráneo, pero desgraciadamente nadie los ha coordinado, no se han publicado mapas completos de estos sistemas, ni existe un control de las cavidades ya exploradas y de las que faltan por explorar. La presente descripción se basa en el trabajo realizado durante esta investigación, complementado por los datos de los trabajos espeleológicos de Plantz (1978), Cavanaugh (1978), Boon (1978), anónimo (1979), Pace (1979), Sprouse (1979), Knutson (1979, 1980, 1982, 1984), Colton (1980), Liebman (1980), Braun (1981), y Bosted (1983).

En general, en el área las calizas presentan una estratificación mediana a delgada, con abundantes bandas y nódulos de pedernal en algunos intervalos. El echado regional es hacia el nornoreste, y el relieve es concordante con la estructura. Se aprecian algunas pequeñas zonas de deformación local, pero son la excepción. En toda el área, pero especialmente en la porción sur,

son abundantes las huellas de la actividad volcánica terciaria que cubrió a las calizas. Se trata de un karst exhumado. El relieve superficial está formado por laderas abruptas que separan valles de dirección sur-norte, desarrollados en la cubierta volcánica, y que terminan en sumideros al alcanzar el contacto con las calizas. Tanto al este como al oeste se encuentran profundos cañones (ríos Zempoala y Apulco), que funcionan como nivel de base para la erosión kárstica.

A la fecha se han explorado numerosas cavidades, entre las que cabe destacar el sistema Cuetzalán, de 22,432 m de longitud, y 587 m de profundidad, que consiste en dos sumideros (Chichicaseapan y Atiscalla) cuyas galerías se dirigen hacia el norte, son sensiblemente paralelas y están unidas por una galería fósil. Las dos terminan en bloqueos por colapso. Al mismo sistema de drenaje pertenecen Atepolihuit de San Miguel (7,700 m de largo, 443 m de hondo), Atepolihuit de San Andrés (4,471 m), el sistema Zoquiapán (4,107 m) y algunas otras pequeñas cavidades; éstas también consisten en largas galerías activas subhorizontales, de origen vadoso, que siguen el echado de la estratificación, y presentan abundantes depósitos de derrumbe. No se conoce aún la resurgencia del sistema Cuetzalán y cavidades asociadas, pero se supone que se encuentra en el cañon del río Tozán o en el del río Zempoala (fig. 77).

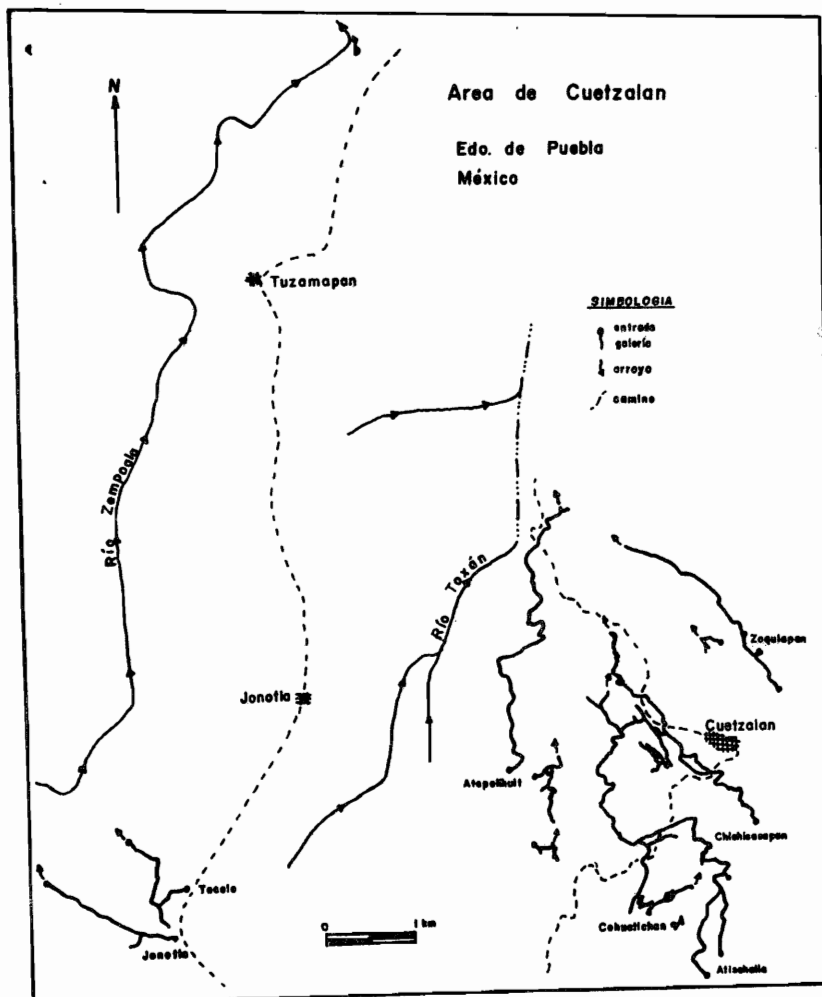


Fig. 77 Mapa del área de Cuetzalán

Otros sistemas importantes, pero que drenan de forma independiente al sistema Cuetzalán son el sumidero de Jonotla (6,381 m de long.), el sumidero San Bernardo (3,931 m), Atepolehuit de Nauzontla (3,066 m), el sistema Huayateno (1,718 m, sin terminar) y el sumidero Santa Elena (7,884 m de largo, 400 m de hondo). Todos ellos presentan las mismas características que el sistema Cuetzalán, y drenan hacia el norte para resurgir en diversas cavidades a lo largo del río Zempoala.

Es interesante hacer notar como todas las cavidades están controladas en su mayor parte por la estratificación, y se desarrollan en general paralelas a la superficie, lo cual indica que las juntas de estratificación son, en este caso, los sistemas de fisuras más adecuados para el establecimiento de una red de drenaje subterránea, a diferencia de las regiones más al norte, en que, debido a su compleja estructura, se establecen las redes de drenaje principalmente sobre fracturas (aunque siempre con influencia de la estratificación). También son muy abundantes los derrumbes, favorecidos por la estratificación delgada y la cercanía a la superficie.

Una última característica notable de estas cavidades es que fueron rellenadas por materiales volcánicos, como lo evidencia la presencia de un conglomerado retrabajado de fragmentos de tobas y lapilli andesíticos (Davis, 1974) que ocupa parcialmente todas las cavidades encontradas, y que actualmente está siendo erosionado por los arroyos que circulan por el interior de ellas. Otros autores (Pace, 1979; Liebman, 1980; Lord, com. pers.) consideran que este conglomerado no es un relleno, sino una litología que subyace a las calizas, no descrita formalmente, que limita el desarrollo vertical de las cavidades. Durante este trabajo, se encontraron evidencias que apoyan esta teoría: Las cavidades tienen un desarrollo horizontal en correspondencia con este contacto, y subvertical por encima de él; las dimensiones de las galerías aumentan considerablemente, y en ningún lugar se observa que la erosión haya alcanzado las calizas por debajo de este conglomerado, cosa que podría esperarse en caso de que se tratara de un relleno de una galería preexistente.

Todas las cavidades exploradas son activas, debido al clima existente (muy lluvioso) y a las condiciones extremadamente favorables para la captura hacia un drenaje subterráneo del escurrimiento superficial (cubierta parcial impermeable), lo cual hace que algunos de los caudales subterráneos sean muy grandes (1 a 2 m³/s en Atepolihuit de San Miguel, 1 m³/s en el Sistema Huayateno) y, aunque pueden alcanzar desniveles considerables (-587 m en el Sistema Cuetzalán), las cavernas se desarrollan cerca de la superficie, pues siguen el echado regional, al igual que las laderas superficiales.

Es muy interesante hacer notar la presencia de varias cuencas en esta región, aisladas por parteaguas subterráneos, que no coinciden con el superficial. Es mucho lo que falta por explorar en esta región, pero hace falta terminar antes los trabajos iniciados: aún no se ha publicado un mapa completo del Sistema Cuetzalán, la tercera cavidad más extensa del país, ni el de muchas de las otras cavidades. También faltan por explorar las extensiones del monoclinal hacia el noroccidente, al norte del río Zempoala hasta el río Vinasco.

CAPITULO 5

APLICACIONES

=====

Hasta ahora se ha hablado sobre el karst en una forma exclusivamente científica, sin tomar en cuenta la posible utilización práctica que se le puede dar a estos conocimientos. En el presente capítulo se mencionarán en primer lugar, las aplicaciones que pueden tener en general los estudios geomorfológicos, geohidrológicos y espeleológicos sobre el karst, y en segundo, las aplicaciones específicas de este trabajo de clasificación de las zonas kársticas en México.

5.1. APLICACIONES GENERALES

5.1.1.- GEOHIDROLOGIA. Se calcula que un 25 % de la población mundial, incluyendo grandes poblaciones y extensas zonas rurales, depende del karst para obtener agua (Ford y Williams, 1989). En México, algunas ciudades, como Monterrey, Nuevo León; Saltillo, Coah.; Ciudad Valles, S.L.P.; Ciudad Mante, Tamps.; Chilpancingo y Teloloapan, Gro., obtienen la totalidad de su agua potable de acuíferos kársticos. Es evidente entonces la importancia que tienen los estudios hidrogeológicos en zonas kársticas.

Para un manejo racional de las aguas kársticas es necesario un análisis objetivo y cuantitativo de este recurso. Se debe determinar si se trata de un holokarst activo, en el cual existe la zona hidrodinámica de saturación completa y de circulación profunda, con recarga (como en la península de Yucatán), o se trata de un holokarst fósil, sin recarga (como en Monterrey y Saltillo) o de un merokarst (como en Chilpancingo y Teloloapan). A partir de esto se puede decidir si el mejor sistema de explotación es con pozos, por bombeo, o mediante la desviación de un curso de agua, ya sea en la superficie o en el subsuelo, o bien captando el agua en la resurgencia. También es necesario estudiar con el máximo detalle, las zonas de absorción, galerías accesibles y zonas de emergencia, así como los posibles parteaguas, para cuantificar los recursos y establecer el ritmo de recarga anual. Para ello son importantes los estudios espeleológicos y el uso de trazadores; ambos permiten determinar el tipo de cavernas existentes y el régimen de circulación de las aguas, delimitar cuencas de absorción y precisar conexiones entre distintos sistemas kársticos.

Un problema grave, asociado con la explotación de las aguas kársticas es el de la contaminación. Desde el siglo pasado, Martel (1894) reconoció que en los acuíferos kársticos no hay un sistema de filtrado natural de las aguas subterráneas. Actualmente se sabe que en el karst, el tratamiento natural de aguas contaminadas es poco efectivo ya que: la rápida infiltración inhibe la evaporación de los componentes orgánicos volátiles como solventes y pesticidas; no existe filtración, pues la circulación subterránea se hace a lo largo de cavernas y no a través de

pequeños poros; es frecuente el transporte de partículas, debido a que la circulación del agua se realiza en forma turbulenta; y, los mecanismos de eliminación de bacterias y virus que dependen del tiempo pasado bajo tierra, pierden efectividad por la alta velocidad con que las aguas atraviesan un sistema kárstico.

La contaminación se incrementa por el uso de conductos kársticos para la eliminación de subproductos industriales, y como vía de evacuación de desechos humanos y/o agua. Como ejemplos se tiene la ciudad de Teloloapan, Gro., donde las aguas negras son conducidas a un sumidero, aguas arriba y en contacto directo con la cavidad de la cual se extrae el agua "potable" de la ciudad, y el caso de la ciudad de Mérida, Yuc., donde las aguas negras y la basura se tiran a un cenote, y se extrae agua "potable" de otro ubicado a varios kilómetros de distancia, en el que se ha comprobado contaminación proveniente del primero.

En zonas rurales, los campesinos tiran al interior de cavidades toda la basura, los animales domésticos muertos o enfermos, y otros desechos, sin saber que con ello contaminan los acuíferos kársticos. Se ha podido descender a una cavidad y encontrar en ella decenas de pañales desechables usados, gallinas y vacas muertas, llantas, plásticos y demás basura en el cauce de un pequeño arroyo subterráneo de aguas "limpias" y "cristalinas" que resurge a poca distancia y es usado como agua potable por una rancharía cercana.

5.1.2.- INGENIERIA CIVIL. El desconocimiento del funcionamiento del karst como drenaje natural provoca grandes erogaciones innecesarias. Un ejemplo es el de la ciudad de San Cristobal, Chiapas, ubicada en un polje que drena naturalmente a través de varios sumideros, que con frecuencia se azolvaban y obstruían en una estrechez cercana a la entrada, provocando grandes inundaciones. Para evitar este problema, en lugar de llevar a cabo una desobstrucción y ampliación de dichos sumideros, proceso relativamente barato, se perforó un túnel de 4.27 km de largo, con amplio gasto de recursos económicos.

El conocimiento de la circulación kárstica es importante también para la planificación y explotación de embalses y presas en zonas kársticas. Milanović (1981) presenta un amplio tratado sobre los estudios necesarios para construir una presa en estas zonas, y evitar pérdidas innecesarias de agua. Todas las naciones que tienen amplios afloramientos de terrenos kársticos han sufrido fracasos en la construcción de presas, ya sea porque estas nunca contuvieron agua, o porque presentan grandes pérdidas, y se puede afirmar que el costo en medidas de prevención o reparación llega a varios millones de dólares anuales (Ford y Williams, 1989). Es común que, una vez llena una presa, aparezcan decenas de nuevos manantiales aguas abajo de la cortina, al reutilizarse antiguos conductos fosilizados o abrirse nuevos al elevarse el nivel freático. Sin embargo, para evitar estas pérdidas, puede en ocasiones realizarse una impermeabilización, pero en la mayoría de los casos es mejor modificar el proyecto. En México se han construido varias presas en zonas kársticas, como Chicoasén y Malpaso, y está en planeación la de Zimapán, en donde se conocen algunas cavidades resurgentes aguas abajo de la boquilla.

También se debe mencionar la posibilidad de emplear las

aguas subterráneas para generar energía eléctrica. Existen en México cascadas subterráneas de hasta 300 m de desnivel, y algunas corrientes tienen desniveles de más de 500 y hasta 1,000 m. En algunos casos estos arroyos y ríos circulan a poca distancia de la superficie, y una pequeña excavación y desviación del curso permitiría su utilización. El mejor ejemplo es el sistema Cuetzalan, Pue., en donde varios arroyos de hasta 1 m³/s en estiaje, corren por galerías subterráneas a pocos metros de profundidad, relativamente cerca del cañón del río Zempoala, en donde resurgen. Este caudal podría desviarse hacia la superficie, y llevarlo al borde del cañón para obtener una caída de más de 500 m hasta el fondo, donde se ubicaría la casa de máquinas. Para ello se necesitaría un estudio muy detallado del sistema de cavernas, con topografía del mismo, en relación con la superficie, afloros, etc.

Otra aplicación consiste en conocer en dónde pueden ocurrir hundimientos bruscos, y evitar así la construcción de obras en esas zonas. En Yucatán se han realizado sobre cavidades, muchas construcciones habitacionales que posteriormente se han derrumbado; otro caso específico es el de la construcción de un puente sobre el río Atoyac, en Veracruz, sin haber realizado un estudio previo sobre las cavidades de la zona. Una vez concluido se contrató a espeleólogos para determinar si las grutas de Atoyac y de la Pila 6 podían dañar al puente; afortunadamente ninguna de las cavidades lo afectaba, pues el costo de reparación hubiera sido muy elevado (Lazcano, 1983e; com. pers.).

El problema de los hundimientos es aún mayor en zonas en que el karst se encuentra cubierto por depósitos posteriores (suelos, morrenas, tobas, etc.), debido a hundimiento de la cubierta hacia depresiones kársticas infrayacentes, causado por un descenso importante del nivel freático, desde el interior del suelo hacia las profundidades del macizo kárstico. Ocurre entonces, principalmente cuando hay una extracción importante de agua por bombeo, por ejemplo, el caso de las minas de oro de Far West Rand, en Sudáfrica, donde sedimentos no consolidados cubren un karst tropical muy desarrollado, subyacente por areniscas de cuarzo en que se encuentran los yacimientos. Para ayudar en la extracción se bajó el nivel del agua hasta las dolomías kársticas. Los primeros colapsos fueron casi inmediatos, y en el más catastrófico, una planta trituradora y sus 29 ocupantes fué destruida en la mina West Dreifontein en pocos segundos. En estas ocasiones las estructuras construidas sobre el terreno que se está hundiendo, no pueden ser protegidas hasta que el proceso termina.

5.1.3.- RECURSOS MINERALES Y PETROLEO. Respecto a la minería, son conocidos los yacimientos tipo Valle del Mississippi, en que los minerales de mena yacen en cavidades kársticas anteriores. Varias minas en el norte de México son de este tipo, entre otras la de Potosí, en Santa Eulalia, Chihuahua (Walker, 1928). Además, Llopis (1970) menciona yacimientos de bauxita como relleno en dolinas azolvadas, el caso más conocido el de Jamaica.

Un peligro que puede presentarse durante la excavación de túneles de minas en regiones kársticas, es encontrar una galería activa, especialmente si el túnel está en la zona freática, ya que no habría ningún aviso previo a la inundación brusca del túnel en excavación, con el consiguiente riesgo de pérdida de

vidas humanas. Para evitar esto, Ford y Williams (1989) sugieren sondeos previos para localizar las posibles cavidades inundadas, que pueden ser selladas por inyección de concreto o contorneadas. De esta manera se puede evitar el tener que bajar el nivel freático mediante bombeo, lo cual puede producir los hundimientos catastróficos como el mencionado en el inciso anterior.

Otro uso importante que podría darse al estudio del karst es en el almacenaje de hidrocarburos. Se han realizado perforaciones en el interior de domos salinos para utilizarlos como depósitos de petróleo. Recordando que la halita es una de las rocas más susceptibles de karstificarse, esto podría acarrear problemas de pérdidas, por un lado, y de contaminación de acuíferos por otro, así que antes de almacenar el petróleo en estas grandes cuevas artificiales debiera hacerse un estudio detallado de la circulación kárstica en el área. Por otro lado, es del todo imposible utilizar cavernas naturales para esta función, ya que por su misma génesis, de conductos para transportar agua, se tendrían graves pérdidas de petróleo, además del peligro de contaminación que existiría para los acuíferos.

5.1.4.-TURISMO. Por último, están los usos recreativos a que se pueden dedicar las zonas kársticas. Las cavidades fósiles decoradas por estalactitas y estalagmitas pueden acondicionarse para ser visitadas. Existen alrededor de 650 cavernas turísticas en el mundo; en México destacan a este respecto las grutas de Cacahuamilpa y Juxtlahuaca, en Gro., la de Villa García, Nvo. León y la de Loltún, en Yucatán, y hay una gran cantidad que podrían serlo, entre otras la de Bustamante y varias cavidades cercanas a Cacahuamilpa. Este es un renglón que la infraestructura turística de México ha desaprovechado mucho. Para poder llevar a cabo un aprovechamiento racional de este recurso turístico, sería conveniente que las autoridades responsables de ello se asesoraran por espeleólogos, para poder lograr que, en un ambiente seguro, los turistas puedan percibir las maravillas que guarda el mundo subterráneo, sin afectarlo. Ejemplos de mal aprovechamiento pueden ser el sótano de las Golondrinas, al que se le hace mucha propaganda, lo cual ha tenido como resultado que en el fondo se encuentre mucha basura, y que gente inconsciente se dedique a matar a las aves que lo habitan, con lo que su número se ha reducido drásticamente. Otro son la gruta de Coconá, Tab., iluminadas para el turismo de forma muy mal planeada, de tal manera que la iluminación misma impide ver las formaciones que la decoran, fomenta el crecimiento de plantas en el interior de la caverna, y por si fuera poco, tiene un sistema de sonido en el que emiten música moderna a todo volumen, destruyendo la sensación de paz y serenidad que puede transmitir la gruta.

Muchas zonas kársticas presentan en superficie un paisaje muy atractivo, como los campos de lapiaz cercanos a Teloloapan, Gro., y el Valle de los Fantasma, cercano a la ciudad de San Luis Potosí. Estas zonas pueden acondicionarse como parques. Otras regiones, como Cerro Rabón, Oax. y la Sierra de Guatemala, S.L.P., presentan ecosistemas muy interesantes, que debieran conservarse mediante la creación de parques nacionales.

Por último, en gran cantidad de cavidades se han encontrado abundantes restos arqueológicos. En la Gruta de Balancanché,

Yucatán, son ellos el principal atractivo turístico, lo mismo que en Ioltún, Yuc. y Juxtlahuaca, Gro. Se debiera hacer un estudio y rescate arqueológico de aquellas cavidades en que se han encontrado restos de este tipo, y una posterior adaptación para que puedan ser admirados por el turismo.

5.2.- APLICACIONES ESPECIFICAS DEL TRABAJO.

Para poder optimar el aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con el karst y evaluar los riesgos relacionados con el mismo, el primer paso consiste en saber en qué lugares de la República Mexicana se presenta este proceso geológico, con qué intensidad, etc. Para ello se utilizan los mapas kársticos, que pueden ser elaborados en varias escalas. El mapa resultado de este trabajo (Anexo 1) se realizó en escala pequeña, debido a que se utilizó el formato de los mapas que integran el Atlas Nacional de México, del Instituto de Geografía de la UNAM, y básicamente por tratarse del primer mapa completo de zonas kársticas que se hace en México. Debido a su escala (1:8,000,000), puede ser impreciso, pero aun así presenta información acerca de los tipos de karst que existen en cada región, cuáles son las formas que lo caracterizan, tanto superficiales como subterráneas, y la factibilidad de encontrar merokarst u holokarst. La descripción que acompaña a este mapa (Capítulo 4) aporta datos sobre las cavidades de cada región, su hidrología, morfología e importancia.

Evidentemente, es necesario, previo a cualquier estudio sobre una región kárstica, ya sea con propósitos meramente científicos o de aplicación práctica, la elaboración de un mapa de esa región kárstica. La clasificación aquí propuesta, al estar basada en las formas superficiales identificables en un mapa a escala 1:50,000, como los editados por el INEGI para toda la república, es fácil de utilizar como una primera clasificación. Después es conveniente hacer un mapa hidrogeológico a una escala más grande, utilizando la simbología propuesta en la figura 79 (Ford y Williams, 1989). Así, el mapa aquí propuesto puede servir de base para estudios posteriores, con cualquier fin, relacionados con el karst.

Orificios de Conductos Kársticos	ENTRADA		
	Impenetrable	Penetrable	
		Cueva (horizontal)	Tiro(vertical)
1.- MANANTIAL - Permanente - Temporal			
2.- SUMIDERO - Permanente - Temporal			
3.- VENTANA KARSTICA - Sobre Arroyo Perm. - Sobre Arroyo Temp.			
4.- CAVIDAD FOSIL			

Fig. 79.- Simbología Hidrológica para terrenos kársticos

Por último, la descripción del karst de México, desarrollada en el capítulo anterior, proporciona información sobre las formas kársticas estudiadas hasta ahora en México. Estos datos están en su mayoría dispersos en publicaciones principalmente de otros países, y han sido en su mayoría ignorados por los investigadores nacionales. Al estar reunida toda esta información en un solo trabajo, será más fácil que aquellas personas interesadas en el Karst de México, ya sea desde un punto de vista práctico, científico, recreativo o deportivo (espeleológico) puedan orientarse en una forma más concreta y específica, sin necesidad de repetir las exploraciones y estudios ya realizados.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

=====

Las conclusiones más importantes derivadas de este trabajo se han dividido de acuerdo al tema al que se refieren:

PROCEDIMIENTO CARTOGRAFICO DE CLASIFICACION DE ZONAS KARSTICAS

1.- Los métodos de clasificación de zonas kársticas usados hasta ahora se basan principalmente en las diferentes provincias geomorfológicas previamente definidas para una zona determinada. Estas provincias generalmente se han definido sin tomar en cuenta las posibles diferencias o semejanzas que puedan existir en el desarrollo kárstico de las zonas incluidas en dicha provincia. Por tanto, hace falta un esquema de clasificación de zonas kársticas que sea independiente de la provincia geomorfológica a la que pertenezca un determinado karst.

2.- Para realizar esta clasificación, desde un punto de vista geomorfológico, es necesario considerar, tanto la morfología superficial como la subterránea. Esta última generalmente es menospreciada por los cartógrafos y geomorfólogos que han realizado estudios sobre el karst.

3.- La clasificación debe examinar los principales factores que tienen una influencia determinante en la morfología superficial y subterránea, es decir, marco estructural de las rocas karstificables y clima bajo el que se ha desarrollado el karst (independientemente de cual sea el clima actual), y factores relacionados con el grado de evolución del karst, como son la densidad de formas kársticas, la morfología subterránea y la actividad hidrológica del karst en cuestión.

4.- Basado en estos preceptos, se realizó un cuadro de clasificación (fig. 13) en el que se da un marco estructural con las categorías siguientes: Planicie de plataforma, Planicie escalonada por fallas, Mesa horizontal, Mesa inclinada en estructura monoclinial, Elevaciones menores plegadas y de pliegue-bloque, y Elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque. Respecto al clima se toman los cuatro más importantes respecto a la evolución kárstica: Tropical (cálido húmedo), Templado a cálido subhúmedo, Alpino (frío húmedo o pluvionival) y Desértico (templado a cálido seco). Respecto a las formas superficiales, pueden ser abundantes o escasas, las galerías subterráneas pueden ser predominantemente verticales u horizontales, y respecto al grado de evolución, el karst puede ser activo, fósil, rejuvenecido o potencial.

5.- Cada una de las posibles categorías así obtenidas tendrá una morfología superficial y subterránea específica (figuras 16 a 22). La gran ventaja de este método de clasificación es que permite, una vez conocido el marco estructural de una región kárstica, clasificarlo tentativamente con base en su morfología superficial, que aparecerá claramente en la cartografía topográfica de la región y, una vez realizadas las exploraciones espeleológicas pertinentes, dar la clasificación definitiva.

6.- Al usar una clasificación de este tipo, no existe problema en ordenar, para la descripción de los tipos de karst de un área determinada, a las distintas zonas kársticas de dicha área de acuerdo a una división política, a unidades geográficas, provincias geológicas o provincias geomorfológicas, o cualquier otra división semejante, siempre y cuando se eviten (punto 1) expresiones del estilo "karst tipo Yucatán" o "karst tipo Querétaro", pues entonces se caería en una clasificación en que el principal parámetro sea la ubicación geográfica del karst en cuestión, y no su génesis o morfología. En este trabajo, la descripción de los karst se hace (capítulo 4) ordenándolos por provincias geomorfológicas, por considerarse lo más adecuado.

CLASIFICACION DEL KARST DE MEXICO

7.- Con base en el método propuesto, se realizó por primera vez una clasificación de las zonas kársticas de México (Anexo 1). En este mapa se puede observar que aproximadamente el 20 % del territorio nacional está afectado por fenómenos kársticos.

8.- A grandes rasgos, se puede distinguir la existencia de dos provincias kársticas mayores: La Península de Yucatán y los sistemas montañosos de Chiapas, Sierra Madre del Sur, y Sierra Madre Oriental.

9.- En la península de Yucatán existen 3 tipos de karst de planicie de plataforma: Las ciénagas costeras (zona de resurgencias), la porción noroccidental (con una densidad moderada de formas) y la porción nororiental (con una densidad elevada de formas). En la porción oriental se distingue la única zona de México que presenta un karst de planicie escalonada por fallas; al sur y suroeste, el karst es de elevaciones menores plegadas y de pliegue-bloque, en la Sierrita de Ticul, fósil, con una densidad moderada de formas y en la Sierra de Bolonchén, activo, tropical y con gran abundancia de formas.

10.- Todo el resto del karst de México es de elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque. Sin embargo, hay grandes diferencias en la morfología. En la porción sur y este (Chiapas, Sierras Orientales de Oaxaca y Sierra Alta), el karst es de tipo tropical en la vertiente nororiental, debido a la influencia climática del Golfo de México. En las porciones más elevadas de estas Sierras, se aprecia un cambio en la morfología, el karst pasa a ser de tipo alpino, debido a los climas más fríos en esas áreas. En la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental, el resto de la Sierra Madre del Sur y la Depresión Central de Chia-

pas el karst pasa a ser de tipo Templado a Cálido Subhúmedo, por encontrarse en la zona de "sombra" de las precipitaciones pluviales provenientes del Golfo. Por último, en la Mesa Central, aunque existen afloramientos potencialmente karstificables el karst no se ha desarrollado, probablemente por las escasas precipitaciones. Este patrón: Tropical-Alpino-Templado a Cálido Subhúmedo-Potencial se aprecia en la mayor parte del karst de México, al viajar de oriente a occidente. Es importante mencionar que se encuentra en correspondencia con los climas actuales de dichas regiones.

11.- En la porción más septentrional de la Sierra Madre Oriental (Sierras y Bolsones menores de Coahuila y Sierras Paralelas de Chihuahua) el clima actual es totalmente desértico, y no hay un desarrollo kárstico reciente. Sin embargo, se conoce de la existencia de varias cavidades freáticas fósiles, que demuestran que hubo un periodo, probablemente durante el Terciario, en que el clima fue más apropiado para el desarrollo del karst.

12.- En las Sierras Transversales y en la porción más al norte de la Sierra Alta se aprecia también este periodo de karsificación anterior al actual. En la primera existen formas kársticas de tipo alpino, fósiles, sobrepuestas a las formas freáticas fósiles, mientras que en la segunda, al occidente de Cd. Victoria se encuentra un karst mixto, en el que las formas superficiales corresponden a un karst alpino y/o cálido-subhúmedo, y las cavidades presentan segmentos recientes, vadosos y activos, y segmentos freáticos antiguos reactivados.

13.- Esto indica que en la porción norte de México hubo un periodo de desarrollo de cavidades kársticas, probablemente durante el Terciario, seguido de su fosilización, y posteriormente una reactivación, mucho más importante en la porción cercana a Cd. Victoria. Es factible que este fenómeno haya sido más generalizado hacia el sur, pero el amplio desarrollo kárstico actual de estas porciones no permite reconocerlo.

BIBLIOGRAFIA.-

- ACKERMANN, P., 1981, Spéléologie sur les hauts bassins du rio Tonto, etat de Veracruz, Mexique; hidrographie kárstique de la Sierra de Zongolica, partie méridionale; Actes du Colloque de Seysins sur le Karst; Spelunca Mémoires No 11 (1983), F.F.S., pp. 139-147.
- ALLEN, J.R.L., 1984, Sedimentary structures, their character and physical basis; Developments in Sedimentology 30, Elsevier Pub. Co., V.I, 593 pags., V.II, 633 pags.
- ANONIMO, 1975, Alpine Paleokarst; AMCS Activities Newsletter No 2, Austin, Texas, USA, p. 11.
- , 1979, Interview: Peter Lord on Cuetzalan; Caving International Magazine No 2, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 13-17.
- , 1987, Mexico 85/86, Expedition Report; Great Britain, sin editor, 122 pags.
- ARAGON ARREOLA, M. de J., 1989, La cueva de Agustín Lorenzo; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 21-23.
- ATKINSON, J., 1978, Zoquitlán, return to the river caves; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 46-50.
- , 1980, Sistema Huautla, project report; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 13-17.
- , 1982, Caves of the Sierra de El Abra; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 87-92.
- 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, pp. 75-92.
- BEDINGER, M.S., 1966, Electric-analog study of cave formation; Nat. Speleo. Soc of America Bull., Vol 28(3), pp. 217-231.
- BITTINGER, C., 1989, The discovery of El Sótano; AMCS Activities Newsletter No 9, Austin, Texas, USA, pp. 80-83.
- BLASQUEZ, L., 1950, Las grutas de Xoxafi y Tonalongo, Municipio de Santiago Anaya, Estado de Hidalgo; Bol. Soc. Geológica Mexicana, tomo XV, pp. 1-19.
- BOGLI, A., 1980, Karst hydrology and physical speleology; Springer-Verlag, New York, 284 pags.
- BONET, F., 1953a, Cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla; Inst. de Geología, UNAM, México, Boletín 57, 96 p.
- , 1953b, Datos sobre las cavernas y otros fenómenos erosivos de la Sierra de El Abra; Mem. Congr. Cient. Mex. 5, pp. 238-273.
- , 1956, Espeleología de la región de Cacahuamilpa, Gro; Libreto guía de la excursión C-14, Congreso Geológico Internacional, XX sesión, México (edición preliminar).
- , 1971, Espeleología de la región de Cacahuamilpa, Gro; Inst. de Geología, UNAM, México, Boletín 90, 98 pags.
- BOON, M., 1978, Cuetzalan in 78; The longest and going, AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, p. 77.
- BOSTED, P., 1983, Cueva Ayockal; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 64-67.
- , 1988, The world's mayor caves, how does Mexico rate?; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA pp. 24-25.

- BRAUN, J.P., 1981, Recent explorations at Cuetzalan, Mexico; Caving International Magazine No 13, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 32-34.
- BRETZ, J.H., 1942, Vadose and phreatic features of limestone caverns; Jour. Geology 50, pp. 675-811.
- , 1955, Cavern-making in a part of the Mexican plateau; Jour. Geology 63(4), pp. 364-375.
- BUTTERLIN, J. y Bonet, f., 1963, Mapas geológicos de la península de Yucatán. I.- Las formaciones cenozoicas de la parte mexicana de la península de Yucatán; Ingeniería Hidráulica en México, 17:63-71, mapa.
- CAMPA, M.F. y J. Ramirez, 1979, La evolución geológica y la metalogénesis del noroccidente de Guerrero; Univ. Aut. de Guerrero, Serie Tecnológica Científica 1, 101 pags.
- CARRASCO, B., 1970, La Formación El Abra (Formación El Doctor) en la Plataforma Valles - San Luis Potosí; Revista Inst. Mexicano del Petróleo, Vol. II, No 3, pp. 97-99.
- CAVANAUGH, M., 1978, Cuetzalan in 77; The longest and going, AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, p. 76.
- COBB, A. and P. Sprouse, 1989, Catastro de las cuevas de San Francisco, S.L.P.; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 6-20.
- COKE, J., 1987, Underwater caverns of Quintana Roo; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 59-63.
- , 1988, Cenote Sac-Actún, The white cave; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, U.S.A. pp. 100-103.
- COLTON, B., 1980, Atepolihuit de Nauzontla; Caving International Magazine No 8, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 17-21.
- COMBREDET, J.P., 1980, L'Expedition 1978 au Mexique; Grottes et Gouffres, Bulletin du Spéleo-Club de Paris, Club Alpin Français, Paris, France, pp. 5-28.
- COONS, D., 1976, The river caves; Canadian Caver No 8(1), pp. 35-41, 1 map.
- COURBON, P., C. Chabert, P. Bosted and K. Lindsley, 1989, Atlas of great caves of the world; Cave Books, St. Louis, MO, USA, 369 pags.
- CSERNA, Z. de, M. Palacios -Nieto y J. Pantoja-Alor, 1978, Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y en áreas colindantes de México y Michoacán; UNAM., Inst. de Geología, Revista, Vol. 2, pp. 8-18.
- , F. Ortega-Gutiérrez y M. Palacios-Nieto, 1980, Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla; Soc. Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión Geológica a la Cuenca del Alto Río Balsas, pp. 1-33.
- , y C. Fries, 1981, Hoja Taxco 14 Q-h(7) con Resumen de la Geología de la Hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos; Inst. de Geología, UNAM, México, Carta Geológica de México, serie 1:100,000, 1 plano y 47 pags.
- , (en prensa), Hoja Iguala 14 Q-h(6) con Resumen de la Geología de la Hoja Iguala, Estado de Guerrero; Inst. de Geología, UNAM, México, Carta Geológica de México, serie 1:100,000.
- CVIJIC, J., 1893, Das karstphänomen; Versuch einer morphologischen monographie. Geograph. Abhandl., 5(3), pp. 218-329.

- , 1918, Hidrographie souterraine et évolution morphologique du Karst; Rec. Trav. Instit. Geogr. Alpine 6(4).
- DAVIS, N.W., 1974, A preliminary report on the Zacapoaxtla-Cuetzalan area, northern Puebla, México; AMCS Newsletter Bulletin, Vol. IV, No 5-6, pp. 153-190.
- DAVIS, W.M., 1930, Origin of limestone caverns; Geol. Soc. of America Bull. 41, pp. 475-628.
- DIAMANT-ADLER, R., 1988, El Hoyito de Zopantle; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 2-3, México D.F., pp. 32-36.
- DIAMANT, A.R., 1989, Participación de la SMES en TECOLOTE 89; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 47-52.
- DUNCAN, P., 1982, Caves of El Rancho Minas Viejas; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 55-58.
- DUNHAM, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture; Am. Assoc. of Pet. Geol., Mem. 1, pp. 108-121.
- EDIGER, G., 1978, Brinco update; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 55-57.
- ELLIOT, W.R., 1979, Sierra de Guatemala; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 16-21.
- , 1982, Sierra de Guatemala, Project report; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 19-24.
- ENGLER, S., 1982, Exploration of Boca del Río Apetlanca; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 43-48.
- ESPINASA-PEREÑA, R., 1984, Caving near Plaza de Gallos, Guerrero; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 88-92.
- , 1986a, Meseta de San Miguel - Plaza de Gallos, proyecto 1985; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 1, México D.F., pp. 5-7.
- , 1986b, El Resumidero del Izote; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 1, México D.F., p. 11.
- , 1988a, Expedición Huacalapan 86; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 2-3, México D.F., pp. 19-23.
- , 1988b, Las Grutas de Tolantongo; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 2-3, México D.F., pp. 29-31.
- , 1988c, Tolantongo: the through trip; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 140-145.
- , 1989, El resumidero del Izote y la cueva de las Pozas Azules; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 24-27.
- , (en prensa), Geology of the Zongolica Area; Expedition Report; México, the Black Holes Expedition, Great Britain.
- y Diamant, R., 1989, Proyecto Chilacachapa, reporte de progreso; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 32-39.
- , Riba-Ramírez, A y Barceló-Duarte, J., en prensa, Relaciones kársticas y geológicas del área de San Miguel, estado de Guerrero; Soc. Geológica Mexicana.
- EXLEY, S., 1979, Nacimientos!; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 22-31.
- , 1988, World depth record broken in México; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 96-99.
- FARR, W. and Vesely, C., 1988, Proyecto Papalo: Birth of an Area; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 59-70.

- FELLERS, G., Bestgen, P. & Grebeude, R., 1987, Belgian explorations at Zoquitlan; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 51-58.
- FISCHESSER, M., 1984, Dos Aguas Expedition; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 76-79.
- FISH, J., 1966, Caves of Guerrero and Morelos; AMCS Newsletter Bulletin, Vol II, No. 5, Austin, Texas, USA, pp. 111-123.
- , 1974, La sistema de Los Sabinos, México's longest cave; Canadian Caver No 6, pp. 3-20.
- , 1978, The Xilitla plateau and sótano de Trinidad; The Canadian Caver No 10 (2), pp. 39-53 (part 1), No 11 (1), pp. 3-23 (part 2).
- FORD, D.C., 1971, Geologic structure and a new explanation of limestone cave genesis; Trans. of the Cave Research Group 13, Great Britain, pp. 81-94.
- , and Williams, P., 1989, Karst geomorphology and hydrology; Unwin Hyman, London, 601 pags.
- FREZZOTTI, M., 1987, Le cavità della Selva del Mercadito e della Sierra Los Altos (Chiapas-Messico) esplorate durante le spedizione C.S.R.: Note geologiche e speleogenetiche; Notiziario del Circolo Speleologico Romano, Nuova Serie, No 2, pp. 65-86.
- FRIES, C., 1960, Geologia del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México; Inst. Geología, Bol. 60, IX + 123 pags.
- , 1966, Resumen de la geología de la Hoja de Cuernavaca, estado de Morelos; Inst. de Geología, carta geológica de México, serie 1:100,000, hoja de Cuernavaca 14 Q-h(8).
- GVOZDEKIJ, N.A., 1965, Types of karst in the USSR; Problems of the speleological research, Int. Speleol. Conference, Brno, 1964, Czechoslovak Academy of Sciences, 1965, pp. 47-54.
- HALE, M., 1986, Chorreadero, classic through trip in México; Caves and Caving No 34, Bull. of the British Cave Research Association, London, G.B., pp. 26-27.
- HEIM, A., 1878, Untersuchungen über den mechanismus der; Gebirgsbildung Bâle, II, pp. 311-316.
- HERAK, M., and Stringfield, V.T., 1972, Historical review of hydrogeologic concepts; in Important karst regions of the northern hemisphere; edited by M. Herak and V.T. Stringfield, Elsevier Pub. Co., New York, pp. 19-25.
- , 1972, Important karst regions of the northern hemisphere; Elsevier Pub. Co., New York, 551 pags.
- HILL, C.A., 1976, Cave minerals; Nat. Speleol. Soc of America, Huntsville, Alabama, USA.
- HOSE, L.D., 1981, The geology and hydrology of the Sistema Purificación area, Villa Hidalgo, Tamaulipas, México; Master of science thesis, California State University, L.A., USA, 148 pags. (inédita).
- HUIZAR, R.A. y Oropeza, O.O., (en prensa), El karst en la región de Galeana, Nuevo León; Inst. de Geología, UNAM, Revista.
- IBARRA, J., 1979, Cavernas que existen en el área de las Grutas de Cacahuamilpa hasta Iguala, Gro.; Asoc. Mex. de Espeleología, Bol. No 2, México D.F.

- ISPHORDING, W.C., 1975, The physical geology of Yucatan; Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. 25, pp. 231-262.
- JAMESON, R., 1982, Recon to Miquihuana; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 93-94.
- JEFFERYS, R., 1979, Sótano del Buque; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 70-75.
- KAMBESIS, P., P. Sprouse, and C. Vesely, 1988, Cueva del Tecolote, 1987 Expedition; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 89-95.
- KNUTSON, S., 1979, Cuetzalan, Spring 1979; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 64-69.
- , 1980, Sumidero de San Bernardo; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 71-73.
- , 1982, Progress at San Bernardo; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 30-33.
- , 1984, Sumidero San Bernardo; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 80-81.
- LAMMLI, R., 1988, Chiapas 1986, the french and italian expedition; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 155-159.
- LAZCANO, S.C., 1982a, SMES project report, Tilaco area; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 25-27.
- , 1982 b, Exploraciones de 1980 en el área de La Florida, Querétaro; SMES, Bol. No 1, México D.F., 70 pags.
- , 1983a, Area de Tilaco; SMES, Bol. No 2, México D.F., pp. 5-21.
- , 1983b, Area de San Joaquín; SMES, Bol. No 2, México D.F., pp. 27-30.
- , 1983c, Sótano de las Coyotas; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 33-35.
- , 1983d, Area de Jacala; SMES, Bol. No 2, México D.F., pp. 36-38.
- , 1983e, Area de Atoyac; SMES, Bol. No 2, México D.F., pp. 39-41.
- , 1983f, Regionalización de los karst de México; Primer congreso interno del Instituto de Geografía, UNAM, México, Memorias, pp. 244-253.
- , 1984, Las formas kársticas del área de La Florida en la Sierra Gorda de Querétaro; Inst. de Geografía, U.N.A.M, serie VARIA, tomo 1, Num. 9, México, 123 pags.
- , 1985, Deep Cenotes; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 70-75.
- , 1986, Las cavernas de la Sierra Gorda; Tomos I y II, Colección Encuentro 2, Univ. Autónoma de Querétaro, SEDUE, SMES, México.
- , 1988, Las cavernas del Cerro Grande, Estados de Colima y Jalisco; Laboratorio Natural Las Joyas, Universidad de Guadalajara, México, 144 pags.
- LEHMANN, H., 1936, Morfologische studien auf Java; Geog. Abhandlungen 9 (series 3), pp. 1-114.
- LIEBMAN, W., 1980, The Piloztoc Connection; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 40-41.
- LLOPIS LLADO, N., 1970, Fundamentos de hidrogeología kárstica; Editorial Blume, Madrid, España, 269 pags.

- LLOYD, H., 1979, The deepest through trip; AMCS Activities Newsletter No 9, Austin, Texas, USA, pp 78-79.
- LONDON, J.C., 1989, Exploraciones del G.S.A.B. en la Sierra Zoquitlán; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 28-31.
- LOPEZ-RAMOS, E., 1979, Geología General y de México; 3 Tomos, México D.F., México.
- LOPEZ SANTOYO, A., 1971, El relieve kárstico de Valle de Bravo, Estado de México; Inst. de Geografía, UNAM, México, Boletín, Vol. IV, pp. 87-93.
- LUGO, H. J., 1989, Diccionario geomorfológico; Inst. de Geografía, Coord. de Ciencias, UNAM, México, 337 pags.
- , y Cordova, C., (en prensa), Regionalización Geomorfológica de la República Mexicana; Inst. de Geografía, UNAM, México, Atlas Nacional de México.
- MAIRE, R., 1980, Elements de karstologie physique; Publication Spelunca, Special No 3, Fédération Française de Spéléologie, pp. 1-56.
- MARTEL, E.A., 1894, Les abimes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie; Librairie Charles Delagrave, Paris, France, 590 pags.
- , 1908, L'Evolution souterraine; Ernest Flammarion, Editeur, Paris, France, 388 pags.
- , 1911, Notice sur les travaux scientifiques de M. Edouard-Alfred Martel; Masson et Cie. editeurs, Paris, France, 103 pags.
- MEUS, Ph., 1987, Aperçu de L'Hydrographie karstique de la Sierra de Zongolica; Regards No 2, Bulletin Trimestriel de L'Union Belge de Speleologie, Bruxelles, Belgique, pp. 17-19.
- MEYERS, K., 1988, Proyecto Cerro Rabón; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 108-119.
- MILANOVIC, P.T., 1981, Karst hydrogeology; Water resources publications, Colorado, USA, 434 pags.
- MINTON, M., 1978, The Diamante story: Four years under the El Abra; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 6-15.
- , 1980, Across the Sima Grande; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 61-63.
- , 1984, Huautla Project.- Christmas in Huautla; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 66-72.
- , 1985, Huautla Connection; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 54-62.
- , 1988, The Nanta Connection; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 26-30.
- MITCHELL, R.W., W.H. Russell, and W.R. Elliot, 1977, Mexican eyeless Characin fishes, Genus Astyanax: Environment, distribution and evolution; Special Publications No 12, The Museum, Texas Tech. University, USA, 89 pags.
- MORAN, Z.D., 1985, Geología de la República Mexicana; INEGI-Fac. Ingeniería, UNAM, México, 88 pags.
- MORRIS, N., 1976, The Otates mine area, Sierra de El Abra, Tamaulipas, México; AMCS Activities Newsletter No 4, Austin, Texas, USA, pp. 17-22, map.
- , 1989, Sierra de El Abra cave map folio; AMCS Membership Comitee, Austin, Texas, USA, 3 area maps, 10 cave maps.

- MOTHES, P., and R. Jameson, 1984, Sotano de Vasquez; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 36-39.
- NUÑEZ, J.A., Panos, V. y Stelcl, O., 1968, Carsos de Cuba; Serie espeleológica y carsológica No 2, Depto. de Espeleología del Inst. de Geografía, Acad. de Ciencias de Cuba, 47 pags.
- PACE, N., 1979, Sima Zoquiapan - Sewer of Cuetzalan; Caving International Magazine No 2, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 18-26.
- PARADIS, C., 1989, Dans le Sistema de Angel; Sous Terre, Magazine de la Societé Québécoise de Spéleologie, Vol. 6, No 4, pp. 12-15.
- PATE, D., 1979, Sistema Purificacion; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 82-101.
- , 1980, The exploration of Sumidero de Oyamel; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 54-60.
- , 1983, Sotano de las Calenturas; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 60-63.
- , P. Sprouse and T. Sprouse, 1987, Cueva de la Llorona; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 89-93.
- , and P. Sprouse, 1988, Sistema Purificacion - Camp 1, 1988; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 81-88.
- PEZZOLATO, P., 1987, Messico 1986; Atti e Memorie della Commissione Grotte "Eugenio Boegan", Vol. XXVI, pp. 15-40.
- PICKNETT, R.G., 1973, Saturated calcite solutions from 10 to 40 C Trans. Cave Res. Group 15/2, Great Britain, pags 67-80.
- PISAROWICZ, J., 1984, Cueva de la Tia Rosa; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 61-65.
- , 1987, Caving in Tabasco; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 30-37.
- , 1988, The revenge of Chac, 1988 in Tabasco; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 129-139.
- PLANTZ, C., 1978, Cuetzalan in 74; The longest and going, AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 74-76.
- POPOV, I.V., N.A. Gvozdetskiy, A.G. Chikishev and B.I. Kudelin, 1972, Karst of the U.S.S.R.; in Important Karst Regions of the Northern Hemisphere, edited by M. Herak & V.T. Stringfield, Elsevier Pub. Co., New York, pp. 355-416.
- PUENTE MARTINEZ, R. y G. Torres, 1989, Resumidero "El Borbollón", su descubrimiento y exploración; TSAVAL, Bol. No 1, Asoc. Potosina de Montañismo y Espeleología, pp. 11-15.
- RAINES, T., 1968, Sotano de las Golondrinas; AMCS Bulletin 2, Austin, Texas, USA, 20 pags., 1 map, 8 photos.
- , 1972, Sotano de Ahuacatlan, Sierra Madre Oriental, Jalpan, Ahuacatlan; AMCS Cave Report Series No 1, Austin, Texas, USA, 20 pags, 1 map.
- , 1987, Sotano de Ocotempa; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 64-67.
- RAZ-GUZMAN, M.A., 1985, Exploration in Hidalgo; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 48-52.

- REDELL, J.R., 1977, A preliminary survey of the caves of the Yucatan peninsula; AMCS Bulletin 6, Austin, Texas, USA, 296 pags.
- , 1980, Caving in western Mexico; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 46-53.
- RENAULT, P., 1971, La formation des cavernes; Collection Quésais-je, No 60, Presses Universitaires de France, Paris, France, 125 pags.
- ROBERTSON, S., 1983, Zongolica Project - 1983; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 36-41.
- 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, pp. 1-19.
- RUSSELL, W., 1982, Sump diving in Carrizal; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 49-51.
- , and T. Raines, 1967, Caves of the Inter-American Highway; Bulletin 1, AMCS, Austin, Texas, USA, 126 pags.
- SALAZAS SALINAS, L., 1922, A la caverna de Cacahuamilpa en automóvil; Inst. Geología Mex., 17 pags., 3 mapas.
- SEGERSTROM, K., 1961, Estratigrafía del área Bernal-Jalpan, estado de Querétaro; Bol. A.M.G.P. No 5-6, pp. 183-206.
- SLAGMOLEN, A., 1988, Reflexions sur la denomination de "Karst Tropical"; Regards No 3, Bulletin trimestriel de l'Union Belge de Speleologie, pp. 12-13.
- SLAGMOLEN, Ch., et Slagmolen, A., 1988, Cuba-Dessins rupestres et karst tropical; Regards No 3, Bulletin trimestriel de l'Union Belge de Speleologie, pp. 3-11.
- SMETS, L., 1987, Chiapas, the dutch expedition; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 43-50.
- SMITH, J., 1988, The 1988 Huautla expedition; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 31-38.
- SOLLAZI, G., 1988, Messico 1988; Atti e Memorie della Commissione Grotte "Eugenio Boegan", Vol XXVII, pp. 15-44.
- SOUKUP, C., 1978, Return to Salas; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 58-60.
- SPROUSE, P., 1977a, Cueva de Infiernillo and Cueva del Brinco; AMCS Activities Newsletter No 7, Austin, Texas, USA, pp. 20-22.
- , 1977b, La Sistema Purificacion: A theory and a goal; AMCS Activities Newsletter No 7, Austin, Texas, USA, p. 27.
- , 1979, Discovery in Cuetzalan; AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 60-63.
- , 1980a, Xilitla karst, project report; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 10-12.
- , 1980b, La Silleta, gateway to the Xilitla Plateau; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 80-85.
- , 1982, Sistema Purificacion; AMCS Activities Newsletter No 12, Austin, Texas, USA, pp. 13-18.
- , 1983, Explorations in the Purificacion area - 1982. Sistema Purificación passes 50 kilometers; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 14-23.
- , 1985a, Proyecto Espeleologico Purificacion 1984-1985; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 34-47.

- , 1987, Camp V, Proyecto Espeleologico Purificacion, 1987; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 80-88
- , 1987b, Mexico News; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 4-15 y 42
- , 1988a, Caving near Valles; The Texas Caver, Vol.33, No 2, Austin, Texas, USA, pp. 40-44.
- , 1988 b, Cave hunting near Galeana, Nuevo Leon; The Texas Caver, Vol. 33, No 4, Austin, Texas, USA, pp. 79-93.
- , 1990, Cueva del Tecolote, 1990 Expedition; Texas Caver, Vol. 35, No 4, Austin, Texas, USA, pp 82-85
- , and T. Sprouse, 1985, Sotano de San Marcos; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 76-81.
- , and C. Vesely, 1987, Camp Challenger, Proyecto Espeleologico Purificacion 1986; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 72-79.
- SPROUSE, T., 1985, Xilitla project report, AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 18-29.
- , P. Sprouse and C. Vesely, 1987, Cueva del Tecolote; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 94-99.
- STEELE, C.W., 1978, Huautla expedition report; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 24-35.
- , 1984, Gruta del Precipicio; AMCS Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 56-60.
- , 1985, Yochib, the river cave; Cave Books, St. Louis, MO., USA, 164 pags.
- STONE, W., 1977, Ten days at La Grieta; AMCS Activities Newsletter No 7, Austin, Texas, USA, pp. 8-17.
- , 1978, Diving the Nacimiento del Rio Sabinas; AMCS Activities Newsletter No 8, Austin, Texas, USA, pp. 61-61.
- , 1979a, The Agua de Carrizo expedition; AMCS Activities Newsletter No 9, Austin, Texas, USA, pp. 32-52.
- , 1979b, San Agustin Expedition, AMCS Activities Newsletter No 10, Austin, Texas, USA, pp. 32-59.
- , 1979c, A journey to Conrado Castillo; AMCS Activities Newsletter No 9, Austin, Texas, USA, pp. 84-90.
- , 1983, Reconnaissance to the Huautla resurgence; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 42-46.
- , 1984, The challenge of the Peña Colorada; AMCS, Activities Newsletter No 14, Austin, Texas, USA, pp. 46-55.
- , and R. Jameson, 1977, Caves of the San Juan plateau; AMCS Bulletin 7, Austin, Texas, USA, 59 pags. 7 maps.
- SUMBERA, J., 1989, Observations on karst and pit development in the San Francisco area; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 4, México D.F., pp. 8-9.
- SUTER, M., 1980, Tectonics of the external part of the Sierra Madre Oriental foreland thrust-and-fold belt between Xilitla and the Moctezuma river (Hidalgo and San Luis Potosi states); Inst. de Geologia, UNAM, México, Revista, Vol. 4, No 1, pp. 19-31.
- , 1984, Cordilleran deformation along the eastern edge of the Valles - San Luis Potosi carbonate platform, Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, east-central México; Geol. Soc. of America Bull., Vol 95, pp. 1387-1397, 12 figs.

- SWEETING, M.M., 1981, Karst geomorphology; Benchmark papers in geology 59, Hutchinson Ross Pub.Co., Pennsylvania, USA, 427 pags.
- SWINNERTON, A.C., 1932, Origin of limestone caverns; Bull. Geol. Soc. Amer. 43(3), pp. 662-693.
- SZCZERBAN, E. y Urbani, F., 1974, Formas cársicas en areniscas precámbricas del territorio federal Amazonas y Estado Bolívar; in Carsos de Venezuela, parte 4, Bol. Soc. Venez. Espeleol. 5, pp. 27-54.
- TAPIE, M., 1988, Proyecto Espeleológico Purificación; Tepeyollo-tli, Gaceta SMES, No 2-3, México D.F., pp. 14-18.
- TAPIE, P., 1988, La Cueva del Tecolote; Tepeyollotli, Gaceta SMES, No 2-3, México D.F., pp. 2-4.
- , and M. Tapie, 1985, Caving near Tenerias, Guerrero; AMCS Activities Newsletter No 15, Austin, Texas, USA, pp. 82-88.
- TERRAGNI, F., 1986, Caratteristiche climatologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area di Malpaso, principale oggetto delle spedizione; in La spedizione speleologiche "Malpaso '81" e "Malpaso '84" in Chiapas (Messico), Notiziario del Circolo Speleológico Romano, 1986, Roma, Italia, pp. 31-39.
- THORNBURY, W.D., 1969, Principles of geomorphology; Wiley International Edition, USA, 594 pags.
- TRANBARGER, O., 1989, A weekend at Minas Viejas; The Texas Caver, Vol. 35, No 3, San Antonio, Texas, USA, pp. 51-57
- TREACY, T., 1979, Proyecto Espeleologico Purificacion; AMCS Activities Newsletter No 9, Austin, Texas, USA, pp. 6-31.
- , 1980, Purificacion area - Project report; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 24-29.
- TREMBLAY, M., 1988, Mexpé 88 - Quebec expedition to Sierra Negra; AMCS Activities Newsletter No 17, Austin, Texas, USA, pp. 120-128.
- TROMBE, F., 1952, Traité de spéléologie; Edit. Payot, Paris, France, 376 pags.
- , 1969, Les eaux souterraines; Collection Qué-sais-je No 455, Presses Universitaires de France, Paris, France, 128 pags.
- , 1974, La spéléologie; Collection Qué-sais-je No 106, Presses Universitaires de France, Paris, France, 125 pags.
- TRUDGILL, S., 1985, Limestone geomorphology; Geomorphology texts 8, Longman Inc., New York, 196 pags.
- URBANI, F. y Szczerban, E., 1974, Venezuela caves in noncarbonate rocks; Nat. Speleol. Soc. News 34/1, USA, pp. 194-195.
- VENI, G., 1983, Hydrothermal caving: Grutas de Tolantongo; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 68-73.
- VILLAGOMEZ, A., 1979, El Hoyanco, una menor aventura; Asoc. Mexicana de Espeleología, Bol. No 2, México D.F.
- , 1983, Upstream in Tolantongo; AMCS Activities Newsletter No 13, Austin, Texas, USA, pp. 74-75.
- VINIEGRA, F., 1966, Paleogeografía y tectónica del mesozoico en la provincia de la Sierra Madre y macizo de Teziutlán; Bol. A.M.G.P., Vol XVIII, No 7-8.

- WALKER, R.T., 1928, Deposition of ore in pre-existing limestone caves; American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Mining and Metallurgy Technical Publication # 154.
- WARILD, A., 1987, Chilchotla '85, Australian expedition to México; AMCS Activities Newsletter No 16, Austin, Texas, USA, pp. 21-29.
- WENZENS, G., 1972, Morphologische entwicklung der "Basin-Ranges" in der Sierra Madre Oriental; Z.Geomorph. N.F. Suppl., Bd. 15. S, pp. 39-54.
- , 1973 a, Fossile und rezente karstformen im semiariden bereichder Sierra-Madre-Oriental (NordMexiko); Geographische Zeitschrift Geheft 34.
- , 1973 b, Investigaciones geomorfológicas en la región cárs-tica del norte de San Luis Potosí y sur de Nuevo León; Soc. Geológica Mexicana, Bol. 34, 1 y 2, pp. 71-91
- , 1974, Synsedintär entstandene kalkkrusten als morphologische zeugen quartärer kaltzeiten in NordMexiko und ihre bedeutung für die datierung der pedimente; Dynamische Geomorphologie, 1 Symposium des Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie. Ed. J Büdel de H. Hagedorn (Würzburger Geographische Arbeiten 43), 1975, pp. 164-173.
- , 1976, Morphologische entwicklung ausgewahlter regionen NordMexikos unter besonderer berücksichtigung des kalkkrusten-pediment-und-polje problems; Düsseldorf Geographische Schriften, 2, 330 pags.
- WHITAKER, T.W., 1988, The caves of Chiapas, Southern Mexico; Cave Science Vol. 15 No 2, Transactions of the British Cave Research Association, pp. 51-81.
- WHITE, W.B., 1988, Geomorphology and hydrology of karst terrains; Oxford University Press, New York, USA, 464 pags.
- WORTHINGTON, S., 1989, Spéléogénese des cavernes de la Sierra Negra; Sous Terre, Magazine de la Societé Québécoise de Spéléologie, Vol. 6, No 4, pp. 4-7.
- ZAMBRANO, S., 1980, Tilaco project report; AMCS Activities Newsletter No 11, Austin, Texas, USA, pp. 18-19.

ANEXO 2. INDICE DE FIGURAS Y FUENTES.-

<u>FIGURA</u>	<u>PAGINA</u>	<u>FUENTE</u>
1.- Holokarst	6	-----
2.- Merokarst	7	-----
3.- Tipos de lapiaz	8	Allen, 1984
4.- Origen de dolinas	9	-----
5.- Zonas de máximo desarrollo de cavernas	12	White, 1988
6.- Distintos tipos de cavernas freáticas	13	Ford y Williams, 1989
7.- Etapas del desarrollo de cavidades freáticas	20	Ford, 1971
8.- Merokarst de mesa	21	-----
9.- Holokarst y merokarst de zonas plegadas	21	-----
10.- Karst de cabalgadura	21	-----
11.- Karst de fallas inversas imbricadas	22	-----
12.- Karst de fallas normales	22	-----
13.- Karst de plataforma	23	-----
14.- Tipos de karst tropical	25	-----
15.- Cuadro sinóptico de clasificación del karst	28	-----
16.- Expresión topográfica del karst de planicie de plataforma	29	E16-C65 INEGI
17.- Expresión topográfica del karst de planicie escalonada por fallas	30	E61-A46 INEGI
18.- Expresión topográfica del karst de elevaciones menores	31	E15-B59, E16-B29 INEGI
19.- Expresión topográfica del karst de mesa inclinada	32	E14-B15 INEGI
20.- Expresión topográfica del karst montañoso tropical	33	F14-C29 INEGI
21.- Expresión topográfica del karst montañoso alpino	34	D51-B33 INEGI
22.- Expresión topográfica del karst montañoso cálido a templado subhúmedo	34	F14-C38 INEGI
23.- Regionalización geomorfológica	39	Modificado de Lugo y Córdova, en prensa
24.- Cueva Quebrada	41	Sprouse, 1987b
25.- Cenote Xkolac	42	Lazcano, 1985
26.- Cenote Sac Actun	43	Coke, 1988
27.- Grutas de Loltún	44	-----
28.- Gruta de Xtacumbil-Xunam	45	-----
29.- Gruta de Coconá	47	Pisarowicz, 1987
30.- Sistema la Lucha	48	Frezzotti, 1987
31.- Sumidero Yochib	48	Steele, 1985
32.- Gruta de Rancho Nuevo	49	Frezzotti, 1987
33.- Veshtucoc	50	Whitaker, 1988
34.- Sótano del Berro	53	-----
35.- Sótano Itamo	54	-----

<u>FIGURA</u>	<u>PAGINA</u>	<u>FUENTE</u>
36.- Perfil hidrológico de la sierra de Zongolica	54	-----
37.- Sótano de Ahuihuitzcapa	55	Robertson, 1983
38.- Boquerón de Tzintempa	56	Robertson, 1983
39.- Perfil de la sierra Zoquitlán	56	GSAB (com. pers.)
40.- Akemati	57	GSAB (com. pers.)
41.- Sistema de Ocotempa	58	GSAB (com. pers.)
42.- Coyolatl	59	GSAB (com. pers.)
43.- Cavidades de la sierra Negra	60	Worthington, 1989
44.- Perfil del área de Chilchotla	61	Warild, 1987
45.- Planta del sistema Huautla	62	Courbon et. al., 1989
46.- Perfil del sistema Huautla	63	Courbon et. al., 1989
47.- Perfil del sistema Cuicateca	64	Courbon et. al., 1989
48.- Pozo de los Lentiscos	66	Lazcano, 1988
49.- Resumidero de Toxín	67	Lazcano, 1988
50.- Cavidades del área de Cacahuamilpa	70	Coons, 1976
51.- Cueva de Agustín Lorenzo	71	Aragón Arreola, 1989
52.- Hoyo de San Miguel	72	Espinasa-Pereña, 1984
53.- Gruta de Aclalá	73	Espinasa-Pereña y Diamant, 1989
54.- Gruta de Cuaxilotla	74	Espinasa-Pereña y Diamant, 1989
55.- Hoyo de la Tía Cuala	75	Espinasa-Pereña y Diamant, 1989
56.- Cueva del Borrego	76	Combredet, 1980
57.- Gruta del Precipicio	80	Steele, 1984
58.- Pozo de Montemayor	80	Tranbarger, 1990
59.- Cueva de la Boca	81	Russell y Raines, 1967
60.- Pozo de Gavilán	83	-----
61.- Cueva de la Encinal	84	Sprouse, 1988b
62.- Cueva de los Cuervos	85	Sprouse, 1988b
63.- Sistema Purificación	86	Courbon et. al., 1989
64.- Cueva del Tecolote	87	Sprouse, 1990
65.- Cueva de las Peñitas	88	Elliot, 1979
66.- Sistema de Montecillos	90	Morris, 1989
67.- Sótano de la Cuesta	91	Morris, 1989
68.- Cueva de Diamante	92	Courbon et. al., 1989
69.- Nacimiento del río Mante	93	Exley, 1988
70.- Sótano de San Francisco	94	Cobb y Sprouse, 1989
71.- Sótano de las Golondrinas	95	Courbon et. al., 1989
72.- Cueva del Reefer Madness	96	anónimo, 1987
73.- Sótano de Trinidad	97	Courbon et. al., 1989
74.- Sótano de Tilaco	98	Lazcano, 1982a
75.- Cueva del río Jalpan	99	Lazcano, 1986
76.- El Sótano	99	Courbon et. al., 1989
77.- Area de Cuetzalan	101	modificado de Sprouse, 1979
78.- Simbología hidrológica para terrenos kársticos	107	Ford y Williams, 1989

ANEXO 3.- LISTAS DE LAS MAYORES CAVIDADES DE MEXICO

=====

Por Profundidad.-

(Actualizado a Octubre 1990)

1	Sistema Huautla	Oaxaca	1,353 m
2	Sistema Cuicateco	Oaxaca	1,340 m
3	Akemati	Puebla	1,200 m
4	Sistema Ocotempa	Puebla	1,070 m
5	Akemabis	Puebla	1,015 m
6	Kijahi Shunthua	Oaxaca	970 m
7	Guixani Ndia Guinjao	Oaxaca	954 m
8	Sonconga	Oaxaca	943 m
9	Sistema Purificación	Tamaulipas	904 m
10	Nitá Cho	Oaxaca	894 m
11	Sótano de Agua de Carrizo	Oaxaca	848 m
12	Sótano de Trinidad	San Luis Potosí	834 m
13	Xoy Tixá	Oaxaca	811 m
14	Nitá Ka	Oaxaca	758 m
15	Sistema H31-H35	Puebla	753 m
16	Sonyance	Oaxaca	745 m
17	Nia Quien Nitá	Oaxaca	743 m
18	Nitá Xongá	Oaxaca	740 m
19	Yuá Nitá	Oaxaca	704 m
20	Aztotempa	Puebla	700 m
21	Sótano de los Planos	Puebla	694 m
22	Resumidero El Borbollón	San Luis Potosí	677 m
23	Sótano del Berro	Veracruz	656 m
24	Sótano de Tilaco	Querétaro	649 m
25	Nitá Nashí	Oaxaca	641 m
26	Sistema Atlalaquia	Puebla	623 m
27	Cueva de Diamante	Tamaulipas	621 m
28	R'ja Man Kijao	Oaxaca	613 m
29	Nitá He	Oaxaca	595 m
30	Meandre qui Traverse (CH 54)	Puebla	588 m
31	Sistema Cuetzalán	Puebla	587 m
32	Sótano de las Coyotas	Guanajuato	581 m
33	Sótano Arriba Suyo	San Luis Potosí	563 m
34	Olfastle Ehecoilh	Puebla	533 m
35	Sótano del río Iglesia	Oaxaca	531 m
36	Sótano de Nogal	Querétaro	529 m
37	Grutas de Rancho Nuevo	Chiapas	520 m
38	Olfastle Niebla (TP 4-13)	Puebla	518 m
39	Sótano de Ahuihuitzcapa	Veracruz	515 m
40	Sótano de las Golondrinas	San Luis Potosí	512 m
41	Hoya de las Conchas	Querétaro	508 m
42	Sótano del Buque	Querétaro	506 m
43	Pozo de Montemayor	Nuevo León	501 m
44	Cueva de Agua Carlota	Oaxaca	500 m
45	Nitá Chakí	Oaxaca	493 m
46	Hoya de las Guaguas	San Luis Potosí	478 m
47	Cueva de San Agustín	Oaxaca	461 m
48	El Sótano (Sótano del Barro)	Querétaro	455 m
49	Hoyo de San Miguel	Guerrero	455 m
50	Sótano Itamo	Veracruz	454 m

Por Longitud.-

1	Sistema Purificaci3n	Tamaulipas	76,110 m
2	Sistema Huautla	Oaxaca	52,653 m
3	Sistema Cuetzal3n	Puebla	22,432 m
4	Cueva del Tecolote	Tamaulipas	20,796 m
5	Sistema Cuicateco	Oaxaca	20,415 m
6	Coyolatl	Puebla	19,000 m
7	Atlixicaya	Puebla	11,120 m
8	Nohoch Nah Chich	Quintana Roo	10,363 m
9	Grutas de Rancho Nuevo	Chiapas	10,218 m
10	Cenote Nahar3n	Quintana Roo	9,693 m
11	Yohualapa	Puebla	8,000 m
12	Sumidero Santa Elena	Puebla	7,884 m
13	Cueva de la Pe3a Colorada	Oaxaca	7,793 m
14	Atepolihuit de San Miguel	Puebla	7,700 m
15	S3tano del Arroyo	San Luis Potosi	7,200 m
16	Act3n Kaua	Yucat3n	6,700 m
17	Cueva del Mano	Oaxaca	6,630 m
18	Sumidero de Jonotla	Puebla	6,381 m
19	S3tano de las Calenturas	Tamaulipas	6,322 m
20	Xongo Dwini	Oaxaca	6,300 m
21	Chontalcoatl3n	Guerrero	5,827 m
22	Sistema H31-H35	Puebla	5,745 m
23	San Jer3nimo	Guerrero	5,200 m
24	Gruta de Juxtlahuaca	Guerrero	5,098 m
25	Cueva Quebrada	Quintana Roo	5,000 m
26	Veshtucoc	Chiapas	4,930 m
27	Olfastle Ehecoклh	Puebla	4,857 m
28	Sistema Ocotempa	Puebla	4,720 m
29	Sac Act3n	Quintana Roo	4,633 m
30	Nacimiento del r3o San Antonio	Oaxaca	4,570 m
31	Sistema Atlalaquia	Puebla	4,530 m
32	Cueva de la Tinaja	San Luis Potosi	4,502 m
33	S3tano de Japon3s	San Luis Potosi	4,500 m
34	Sistema San Andr3s	Puebla	4,471 m
35	Sumidero Pecho Blanco # 2	Chiapas	4,435 m
36	S3tano de Agua de Carrizo	Oaxaca	4,426 m
37	S3tano del r3o Iglesia	Oaxaca	4,206 m
38	Sistema Zoquiap3n	Puebla	4,107 m
39	Cueva del Borrego	Guerrero	4,087 m
40	Aztotempa	Puebla	4,000 m
41	Sumidero San Bernardo	Puebla	3,931 m
42	S3tano del r3o Coyomeapan	Puebla	3,900 m
43	Akemati	Puebla	3,750 m
44	Nit3 Nash3	Oaxaca	3,524 m
45	Cueva de la Llorona	Tamaulipas	3,491 m
46	Cueva del R3o Jalpan	Quer3taro	3,440 m
47	Resumidero la Joya	Guerrero	3,377 m
48	Actun Xpukil	Yucat3n	3,353 m
49	Cueva de la Laguna Verde	Oaxaca	3,350 m
50	Sumidero Yochib	Chiapas	3,316 m

ANEXO 4.- UBICACION DE LAS CAVERNAS MENCIONADAS

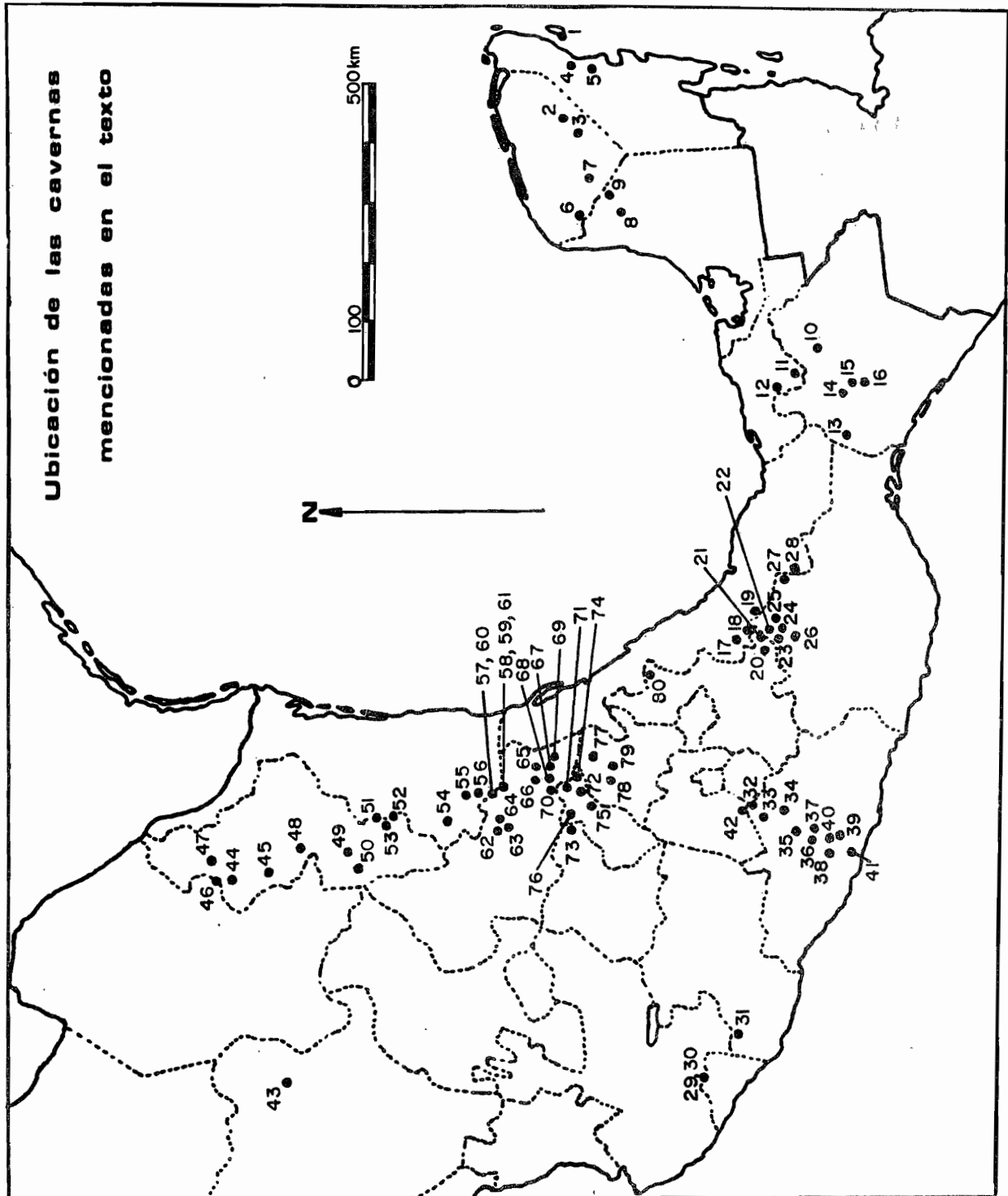
	Pag	Fig
<u>PENINSULA DE YUCATAN</u>		
PLANICIE DEL NORTE		
CIENAGAS COSTERAS		
1 - Cueva Quebrada	41	24
PLANICIE COSTERA NOROCCIDENTAL		
PLANICIE COSTERA NORORIENTAL		
2 - Cenote Xkolak	40	25
3 - Actún Kaua	40	
DISTRITO ORIENTAL DE BLOQUES FALLADOS		
4 - Cenote de Sac Actún	43	26
5 - Nohoch Nah Chich	43	
PLANICIES Y LOMERIOS DEL SUR		
SIERRITA DE TICUL		
6 - Actún Xpukil	44	
7 - Gruta de Loltún	44	27
SIERRA DE BOLONCHEN		
8 - Gruta de Xtacumbil-xunam	45	28
9 - Gruta de San José	45	
<u>CHIAPAS</u>		
<u>SIERRAS Y ALTIPLANO PLEGADOS DEL NORTE</u>		
10 - Shumulá	46	
11 - Sistema Agua Blanca	47	
12 - Gruta de Coconá	47	29
13 - Sistema de la Lucha	47	30
13 - Sistema Pecho Blanco	47	
14 - Sumidero Yochib	47	31
14 - Sumidero Chicja	47	
14 - Sumidero Tenejapa	37	
15 - Gruta de San Cristobal (Rancho Nuevo)	49	32
DEPRESION CENTRAL DE CHIAPAS		
16 - Veshtucoc	50	33
MONTAÑAS BLOQUE CRISTALINAS DEL SOCONUSCO		
<u>SIERRA MADRE DEL SUR</u>		
SIERRAS ORIENTALES DE OAXACA		
CERRO TEPOZTECA		
17 - Sótano de El Berro	52	34
SOLEDAZ ATZOMPA		
18 - Itamo	52	35
18 - SOL-2	52	
SIERRA DE ZONGOLICA		
19 - Sótano de Ahuihuitzcapa	55	37
19 - Sumidero del Boquerón	55	38

	Pag	Fig
SIERRA DE ZOQUITLAN		
20 - Akemati	56	40
20 - Ocotempa	56	41
20 - Akemabis	56	
20 - Coyolatl	58	42
20 - Atlixicalla	58	
20 - Yohualapa	58	
SIERRA NEGRA		
21 - Sistema de Angel	59	43
21 - Olfaste Niebla	59	43
HUAUTLA		
22 - Sonyance	60	44
22 - Nitá Xongá	60	44
22 - Guixani Ndia Guinjao	60	44
23 - Sistema Huautla	62	45
		46
CERRO RABON		
24 - Ojo de las Mazatecas	63	
25 - Kihaji Shuntua	63	
SIERRA CUICATECA		
26 - Sistema Cuicateca	64	37
TENZONAPA - ACATLAN		
27 - Nacimiento del Rio San Antonio	65	
28 - Cueva Juan Sánchez	65	
MONTAÑAS BLOQUE JALISCO, VERTIENTE COSTERA, CORDILLERA DE COLIMA-OAXACA Y MONTAÑAS Y ALTIPLANO DE LA MIXTECA		
CERRO GRANDE		
29 - Pozo Blanco	65	
29 - Pozo de los Lentiscos	65	48
30 - Resumidero de Toxin	66	49
ZONA DE DOS AGUAS		
31 - Cueva de Dos Aguas	67	
<u>DEPRESION DEL BALSAS</u>		
AREA DE CACAHUAMILPA		
32 - Cacahuamilpa	69	50
32 - Chontacoatlán	69	50
32 - San Jerónimo	69	
CARRETERA CACAHUAMILPA - TAXCO		
33 - Zacatecolotla	71	
33 - La Joya	71	
33 - Gavilanes	71	
33 - El Izote	71	
33 - Las Granadas	71	
33 - Cueva de las Pozas Azules	71	
CARRETERA IGUALA - TAXCO		
34 - Pozo Meléndez	71	
34 - Cueva de Agustín Lorenzo	71	51
CHILACACHAPA		
35 - Hoyo de San Miguel	73	52
36 - Resumidero de Aclalá	73	53

	Pag	Fig
36 - Gruta de Cuaxilotla	73	54
37 - Resumidero del Platanar	74	
37 - Hoyo de la Tía Cuala	74	55
OESTE DE CHILPANCINGO		
38 - Cueva del Borrego	75	56
38 - Sumidero de Xocomanetlán	75	
38 - Resumidero de Ixtamalco	75	
SURESTE DE CHILPANCINGO		
39 - Gruta de Juxtlahuaca	76	
40 - Sótano del Granchio	76	
40 - Sótano de las Lianas	76	
ACAHUIZOTLA		
41 - Sumidero de Acahuizotla (Boca del río Apetlanca)	77	
EL MOGOTE		
42 - Cueva de la Mariposa	77	
<u>SIERRAS Y VALLES</u>		
43 - Gruta de Mapimi	77	
<u>MESA CENTRAL</u>		
<u>SIERRA MADRE ORIENTAL</u>		
SIERRAS PARALELAS DE CHIHUAHUA		
SIERRAS Y BOLSONES MENORES DE COAHUILA		
44 - Gruta del Palmito	79	
44 - Gruta del Precipicio	79	57
45 - Gruta de Villa García	79	
46 - Gruta del Carrizal	79	
47 - Pozo de Montemayor	80	58
SIERRAS TRANSVERSALES		
48 - Cueva de la Boca	81	59
SIERRA ALTA		
GALEANA		
49 - Pozo de Gavilán	83	60
49 - Sumidero de Pablillo	83	
49 - Cueva de la Encinal	83	61
50 - Cueva de los Lateros	84	
50 - Cueva de los Cuervos	84	62
PURIFICACION		
51 - Sistema de Purificación	86	63
52 - Cueva del Tecolote	87	64
53 - Cueva de las Calenturas	87	
53 - Cueva de la Llorona	87	
SIERRA DE GUATEMALA		
54 - Sótano de la Joya de Salas	88	
55 - Sótano de Vásquez	88	
55 - Cueva de las Peñitas	88	65
56 - Nacimiento del Río Sabinas	88	

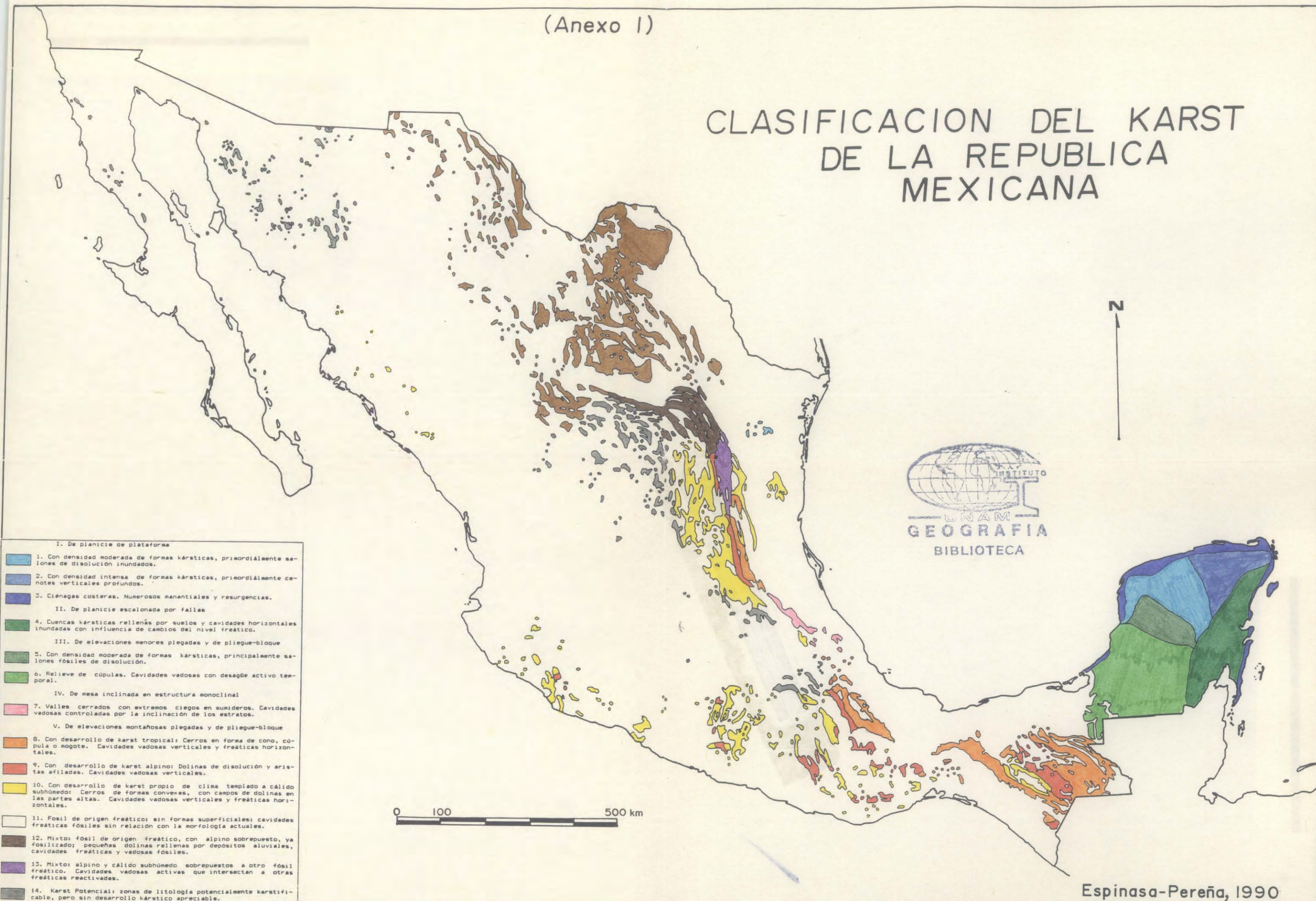
	Pag	Fig
MIQUIHUANA		
SIERRA DE EL ABRA		
57 - Sótano del Tigre	89	
57 - Sótano del Venadito	89	
57 - Sistema de Montecillos	89	66
57 - Sistema de los Sabinos	89	
Sótano de la Tinaja		
Sótano del Arroyo		
Cueva de los Sabinos		
58 - Hoya de Zimapán	91	
58 - Sótano de la Cuesta	91	67
58 - Sótano de los Monos	91	
59 - Cueva de Diamante	91	68
60 - Nacimiento del Río Choy	92	
61 - Nacimiento del Río Mante	92	69
PAPAGAYOS		
SIERRA DE ALVAREZ		
62 - Cueva del Puente	93	
63 - Sótano de Puerto de Lobos	93	
63 - Sótano de San Francisco	93	70
64 - Resumidero El Borbollón	93	
XILITLA		
65 - Sótano de las Golondrinas	94	71
65 - Hoya de Guaguas	95	
66 - Hoya de la Luz	95	
67 - Sótano de Huitzmolotitla	95	
67 - Sótano de Tlamaya	95	
68 - Cueva 5 de Abril	95	
68 - Cueva de los Hornos	95	
68 - Cueva Arriba Suyo	95	
68 - Sótano del Reefer Madness	95	72
69 - Nacimiento del Río Huichihuayá	95	
70 - Sótano de Trinidad	96	73
SIERRA GORDA		
71 - Sótano del Buque	98	
72 - Hoya de las Conchas	98	
72 - Sótano de Nogal	98	
73 - Sótano de las Coyotas	98	
74 - Sótano de Tilaco	98	74
75 - Cueva de los Riscos	98	
75 - Cueva del Puente de Dios del Río Jalpan	98	75
76 - El Sótano (Sótano del Barro)	99	76
CARRETERA MEXICO - TAMAZUNCHALE		
77 - Sótano del Perro Vivo	100	
78 - Gruta de Xoxafi	100	
79 - Grutas de Tolantongo	100	
CUETZALAN		
80 - Sistema Cuetzalán	101	77
Chichicaseapan		
Atiscalla		
80 - Atepolihuit de San Miguel	101	77
80 - Atepolihuit de San Andrés	101	77

	Pag	Fig
80 - Sistema Zoquiapàn	101	77
80 - Sumidero de Jonotla	102	77
80 - Sumidero de San Bernardo	102	
80 - Atepolihuit de Nauzontla	102	
80 - Sistema Huayateno	102	
80 - Sumidero Santa Elena	102	



(Anexo I)

CLASIFICACION DEL KARST DE LA REPUBLICA MEXICANA



- I. De planicie de plataformas
- 1. Con densidad moderada de formas kársticas, primordialmente salones de disolución inundados.
 - 2. Con densidad intensa de formas kársticas, primordialmente cenotes verticales profundos.
 - 3. Ciénagas costeras. Numerosos manantiales y resurgencias.
- II. De planicie escalonada por fallas
- 4. Cuencas kársticas rellenas por suelos y cavidades horizontales inundadas con influencia de cambios del nivel freático.
- III. De elevaciones menores plegadas y de pliegue-bloque
- 5. Con densidad moderada de formas kársticas, principalmente salones fósiles de disolución.
 - 6. Relieve de cúpulas. Cavidades vadosas con desagüe activo temporal.
- IV. De mesa inclinada en estructura monoclinál
- 7. Valles cerrados con extremos ciegos en sumideros. Cavidades vadosas controladas por la inclinación de los estratos.
- V. De elevaciones montañosas plegadas y de pliegue-bloque
- 8. Con desarrollo de karst tropical: Cerros en forma de cono, cúpula o mogote. Cavidades vadosas verticales y freáticas horizontales.
 - 9. Con desarrollo de karst alpino: Dolinas de disolución y aristas afiladas. Cavidades vadosas verticales.
 - 10. Con desarrollo de karst propio de clima templado a cálido subhúmedo: Cerros de formas convexas, con campos de dolinas en las partes altas. Cavidades vadosas verticales y freáticas horizontales.
 - 11. Fósil de origen freático: sin formas superficiales; cavidades freáticas fósiles sin relación con la morfología actuales.
 - 12. Mixto: fósil de origen freático, con alpino sobrepuesto, ya fosilizado; pequeñas dolinas rellenas por depósitos aluviales, cavidades freáticas y vadosas fósiles.
 - 13. Mixto: alpino y cálido subhúmedo sobrepuestos a otro fósil freático. Cavidades vadosas activas que intersectan a otras freáticas reactivadas.
 - 14. Karst Potencial: zonas de litología potencialmente karstificable, pero sin desarrollo kárstico apreciable.



Espinasa-Pereña, 1990