

II. ESPELEOLOGIA DE LA REGION DE CACAHUAMILPA

ESPELEOLOGIA DESCRIPTIVA

Los fenómenos de erosión cárstica pueden estudiarse en la alineación de cerros calcáreos que cierran hacia el este y sur el Valle de Ixtapan, así como en el cerro de La Estrella que, en el centro del mismo valle, emerge a través de los clásticos del Pliopleistoceno. En estos últimos (Formación Chontalcoatlán) hay numerosas cavernas de muy escaso desarrollo, que pueden verse en los cortes de las barrancas talladas por los ríos Tlapala, Almoloya, Río Grande y otros; también en los aluviones pliocénicos se abre la cueva del Suanche, en el fondo de un pequeño ponor, situado a unos cientos de metros al este de la carretera de Ixtapan, en el pueblo de Piedras Negras.

Hay varias torcas o dolinas que pueden visitarse fácilmente desde la carretera; dentro del valle, a la salida de El Mogote, en dirección a Cacahuamilpa, pueden verse dos pequeñas dolinas que tienen la particularidad de haberse originado por disolución de la Formación Morelos, por debajo de una capa de conglomerados de la Formación Balsas que aún recubren su fondo. Más adelante, entre la gruta de Cacahuamilpa y Azizintla, la carretera pasa muy cerca de dos ponors de mayor magnitud, denominados Hoyanco Grande y Hoyanco Chico, respectivamente. Una dolina de cerca de 1 kilómetro de diámetro y con el fondo recubierto de aluviones, es la llamada Hoya de Corralejo, en la que se abre la pequeña cueva de Agua Brava, y el "resuello" del río Chontalcoatlán.

Las grutas y ríos subterráneos que se estudian en este trabajo pueden distribuirse en tres sistemas independientes: el del cerro de La Estrella, situado en el centro del valle, el del cerro de Acuitlapan o del Tepozonal que se halla cerca del extremo sur del valle y el sistema de Cacahuamilpa, que comprende, además de la gruta de este nombre y la de Carlos Pacheco, los cursos subterráneos de los dos ríos, el sumidero del Chontalcoatlán, la cueva de Agua Brava y la cueva de Pilares.

Sistema del Cerro de La Estrella. (Mapa 4). Hacia el centro del valle de Ixtapan, a unos 7.5 kilómetros al SE de Tonatico, sobresalen de la llanura construccional formada por clásticos cenozoicos, tres pequeños cerros de calizas y lutitas calcáreas del Cretácico; forman una alineación irregular, con dirección general NE-SW y son, respectivamente, el cerro de la Puerta de Santiago.

el de Ojo de Agua Grande y el de la Peña de la Estrella. Sus características estructurales no son bien conocidas, pero están formados por calizas albiano-cenomanianas (Formación Morelos), intensamente plegadas y recrystalizadas, sobre las que yacen lutitas calcáreas, también muy plegadas, e incluso ligeramente filíticas, del Turoniano-Senoniano (Formación Mezcala). Al N, S y W, los cerros están rodeados por el relleno plio-pleistocénico, pero su extremidad occidental está cortada por la profunda barranca del río Salado, cuyo fondo está cerca de 100 metros por debajo de la llanura.

Al norte de los cerros, corren tres pequeños arroyos, el de los Sabinos, el de La Puerta y el de Santa María, que se unen para formar el arroyo del Zapote, al que se junta, poco después, el arroyo de La Vega; todos ellos, a pesar de su escasa longitud e insignificante caudal, han comenzado a tallar su curso en los clásticos, de tal manera, que el cauce principal del río del Zapote en su porción terminal, va encajado en una barranca de unos 60-70 metros por debajo del nivel general de la llanura, a pesar de que todos sus tributarios se originan a poco más de 2 kilómetros de distancia; aquí, el río se sume en la entrada de la cueva de La Estrella, situada en el contacto de las rocas cretácicas que forman el cerro de este nombre, con la cubierta de clásticos que cubren sus faldas.

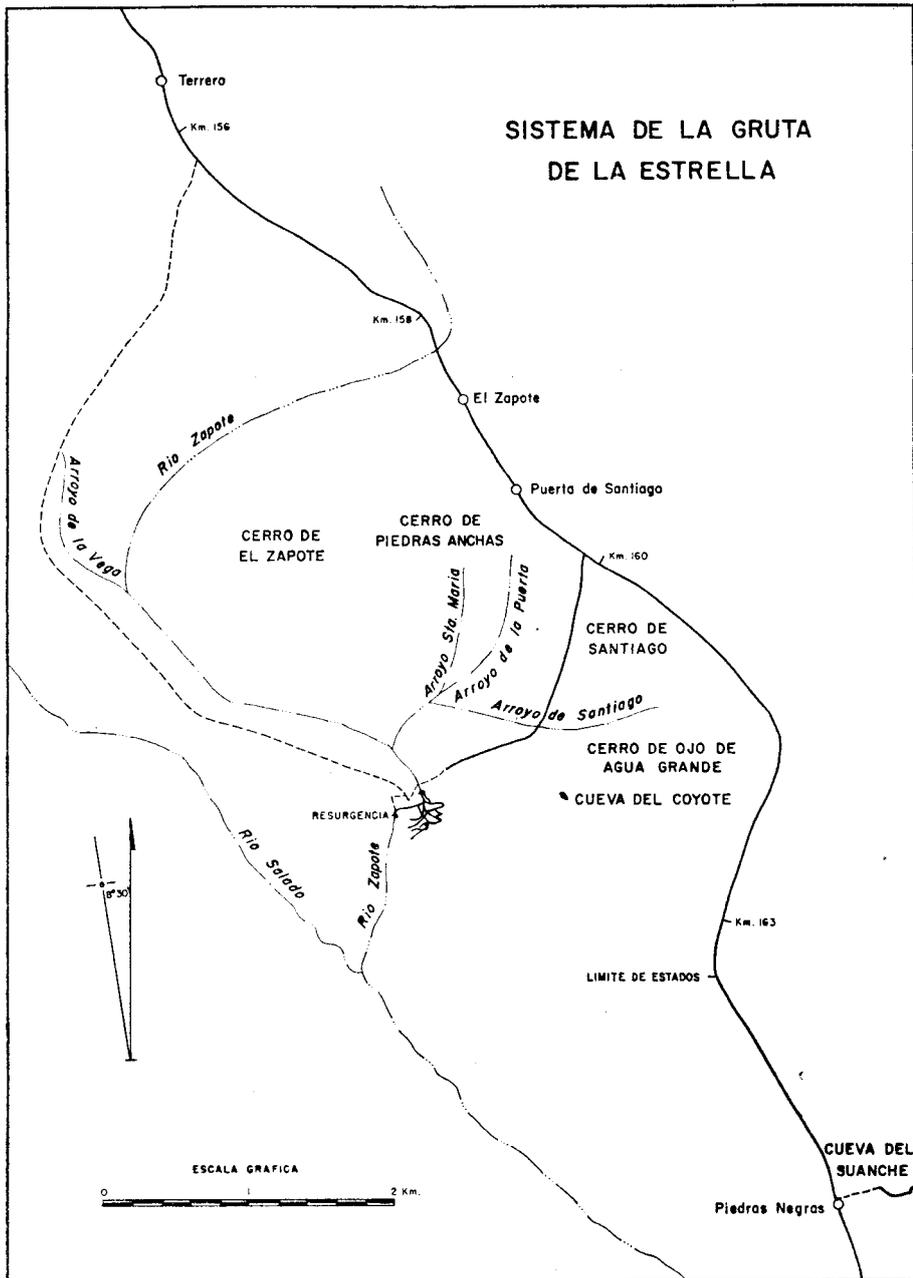
La cueva de La Estrella se desarrolla en dos niveles bien distintos; el amplio túnel de entrada da origen a un complicado sistema de galerías, de curso ligeramente ascendente, desprovistas en la actualidad de corrientes de agua, pero cerca del comienzo de la principal existe un depósito de cantos rodados y gravas de origen fluvial indudable.

Este sistema superior de galerías corre, al principio, en las calizas Morelos, cerca de su contacto con las lutitas suprayacentes, pero a mayor profundidad, todas las galerías están labradas en lutitas que probablemente pertenecen a la Formación Mezcala, pero no puede excluirse la posibilidad de que correspondan ya a la Formación Acuitlapan, infrayacente a las calizas Morelos.

El río Zapote, poco después de su entrada en la cueva, atrinchera su curso en una garganta a unos 10 metros por debajo del nivel superior y pronto se precipita en tres cascadas sucesivas de otros 8-10 metros de desnivel agregado. El resto del curso subterráneo del río, de 240 metros de longitud, está constituido por una galería que termina en una resurgencia colgada en la pared oriental, casi vertical, de la barranca del río Salado, a unos 100 metros sobre el cauce actual de este último. Desde la entrada a la salida del curso subterráneo, hay una diferencia de nivel de unos 30 metros. Desde la boca de salida puede verse muy claramente, en la porción terminal de la galería, una terraza de aluviones transportados a través de todo el recorrido subterráneo en una etapa anterior y vueltos a excavar en todo su espesor, de unos 10 metros, pues el cauce subterráneo actual está labrado en la caliza. Hacia la mitad del curso subterráneo sale una galería en dirección SE; poco después se dilata en una gran cámara y se incurva pasando por debajo de dos de las galerías superiores para continuarse en un estrecho pasaje que termina muy cerca del acantilado; está recorrida por un tributario del curso subterráneo principal.

El trazado en zig-zag de una buena parte de las galerías del nivel superior,

SISTEMA DE LA GRUTA DE LA ESTRELLA



sugiere un control por dos sistemas de diaclasas que se cortan en ángulo de unos 70°. La galería de la izquierda describe un circuito completo y se conecta con el comienzo de la galería principal, de tal manera que, en el plano, parece describir un lazo semejante a los que Davis, señala como evidencia de solución bajo el nivel de saturación; en realidad, la conexión citada se hace mediante un pozo vertical, de unos 8 metros de profundidad, de tal manera, que el final de la galería queda más alto que su comienzo. Por otra parte, es verdad, como apunta Bretz (1955), que en las paredes y techo de las galerías superiores, hay bolsas y grietas de solución, que han podido ser formadas bajo un nivel de agua más o menos estancada, o en conducto forzado.

El curso subterráneo del arroyo Zapote, es evidentemente, un caso de captura subterránea. El relleno plio-pleistocénico sepultó la topografía anterior, dejando al descubierto las cimas de los cerros calizos ("huérfanos", en el sentido empleado por Hill). El nivel general de la llanura construccional resultante, es de unos 60 metros por encima del suelo de las galerías superiores, de modo que cabe suponer que el nivel de saturación estuviese, durante un tiempo, por encima de dichas galerías, iniciándose la disolución de las calizas a lo largo de las fracturas; pero este periodo no pudo ser de mucha duración, pues la rápida excavación del valle del río Salado, que corre inmediatamente al W, pronto proporcionó salida a las aguas freáticas del cerro de La Estrella, prosiguiéndose el labrado de las galerías, por las aguas de infiltración; debe tenerse presente al respecto que, como ya se dijo, la mayor parte de las galerías altas están excavadas en las lutitas, hecho que no se compagina con su origen por disolución en aguas freáticas. Bretz (op cit.) indica que el suelo de las galerías altas no presenta evidencias de haber sido recorrido por corrientes subterráneas, lo que es cierto; no obstante, debe tenerse presente que el suelo actual, como en la mayor parte de las grutas secas, no es de roca viva, sino una cubierta gruesa de arcilla, capas de caliza estalagmítica y materiales desprendido de la bóveda, que ocultan todo detalle de la verdadera configuración del fondo.

La red fluvial que forma la cuenca del arroyo Zapote tenía, originalmente, un desagüe epígeo al río Salado; separando el curso de ambos, antes de la pérdida del Zapote, hay una ensilladura (Puente de Dios) que, probablemente, representa el curso epígeo por el que este río confluía con el Salado (Bretz, 1955). El lecho abandonado, está a unos 20 metros por debajo del nivel general del relleno, y a 45 metros sobre la entrada actual de la caverna. Al producirse la captura subterránea, hubo un brusco descenso de nivel de base local, con el consiguiente aumento de actividad erosiva, que produjo el encajamiento observado actualmente en el arroyo de El Zapote, aguas arriba de la cueva; testigo de esta fase de desagüe epígeo es la terraza más alta, ya desgastada por la erosión y que se observa a este nivel, en el valle de dicho arroyo.

La acumulación de aluviones en la porción terminal de la salida del curso subterráneo, atestigua un periodo de depósito anterior, que pudiera haber sido ocasionado por una obstrucción parcial y temporal al final de la galería, por bloques desprendidos de la bóveda; quizás a este episodio del embalsamiento corresponde el depósito de gravas y cantos rodados que se observa en la porción inicial de la galería superior y un resto de terraza situada inmediatamente

aguas arriba de la entrada de la cueva. En todo caso, el desnivel de unos 100 metros que se establece entre la resurgencia y el fondo del valle actual del río Salado, impide correlacionar tales depósitos con una época en la que el río subterráneo desembocaba a nivel del río Salado, antes de que este excavase el enorme volumen de clásticos que ha tenido que denudar, hasta llegar a su actual nivel.

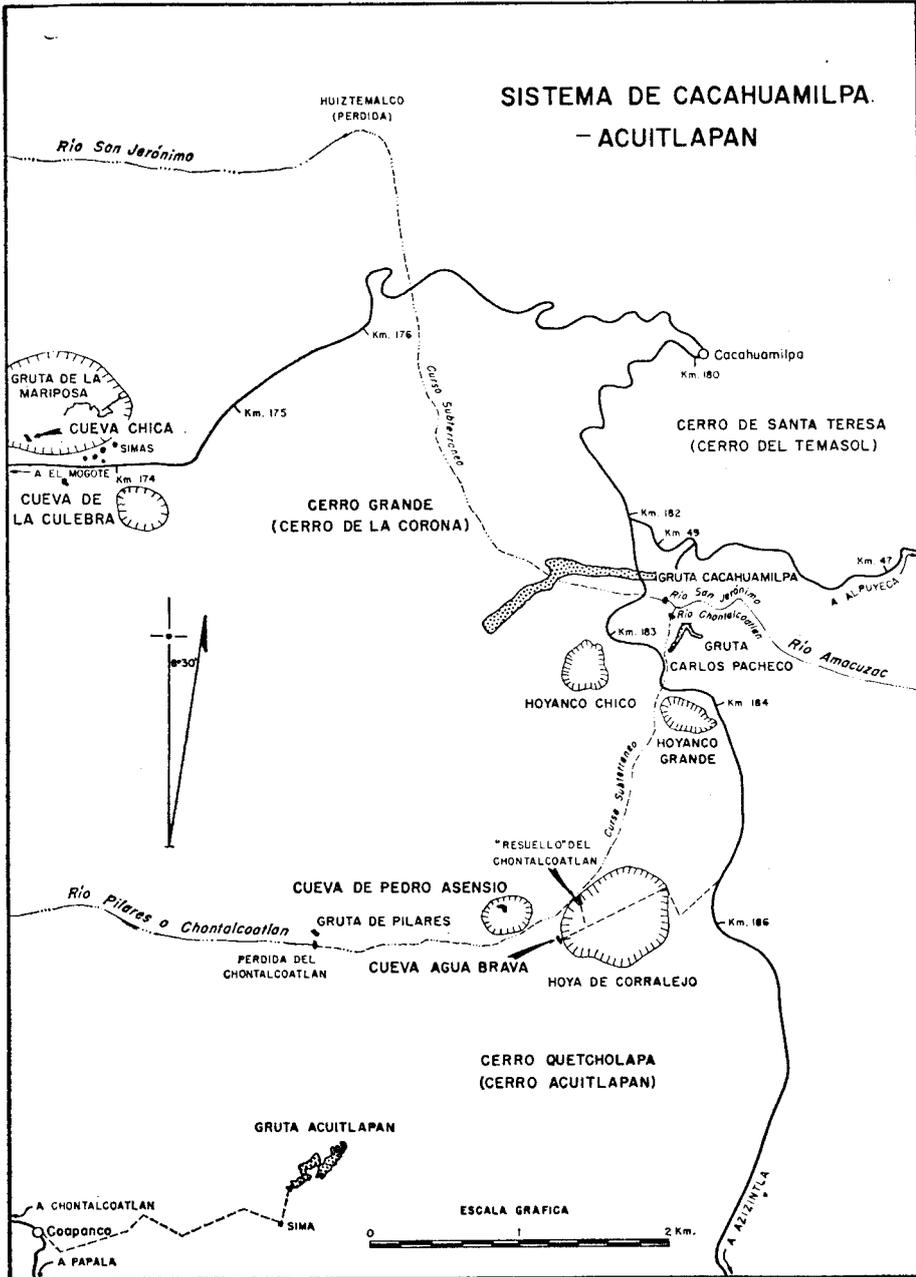
En resumen, se cree que, sin negar una posible etapa inicial de disolución por aguas freáticas a lo largo de las fracturas, la excavación principal, por lo menos en la lutita, se efectuó por corrientes subterráneas de aguas de infiltración, lo que no excluye la existencia de tramos de inundación hasta el techo, en conducto forzado, que explique las peculiaridades apuntadas por Bretz; la galería inferior está todavía en curso de excavación por las aguas corrientes del arroyo, Zapote, que utilizó grietas preexistentes para la captura subterránea de la porción final de su curso.

Sistema del cerro de Acuitlapan o del Tepozonal. Este cerro calcáreo, es uno de los que forman la alineación montañosa que cierra, por el este, la parte meridional del valle de Ixtapan (Mapa 5); cerca de su cima se abre la gruta de Acuitlapan, labrada en las calizas Morelos (Albiano-Cenomaniense), a una altitud de cerca de 1 500 metros sobre el nivel del mar, es decir, unos 400 metros por arriba del cauce del río Chontalcoatlán, poco antes de iniciar éste su curso subterráneo. Las abruptas condiciones topográficas que prevalecen en la zona, y el estar situada la cueva cerca de la cima de un cerro, hacen prácticamente imposible conjeturar cuales hubiesen podido ser las características concretas del modelado en la época de formación de la cueva; con toda seguridad, el nivel de saturación, si es que existe, está actualmente muy por debajo de las galerías accesibles y las condiciones de incrustación de techo y paredes, así como la acumulación sobre el suelo de materiales desprendidos de la bóveda, han borrado toda huella de la existencia de aguas estancadas, o corrientes que pudieran haber intervenido en su formación.

Unos 170 metros en línea recta al SSW de la entrada de la cueva, existe una sima sin nombre, no explorada, que indica un desarrollo de cavidades mucho mayor que la porción actualmente accesible; sin embargo, no parece haber comunicación directa entre ambas aberturas, pues la cueva, a partir de la entrada, tiene una dirección general hacia el nordeste.

Sistema de Cacahuamilpa. Se desarrolla en la alineación de cerros calcáreos que cierra por el E el valle de Ixtapan; comprende de norte a sur, los cerros Gigante, Jumil y Cerro Grande o de La Corona, constituidos por calizas cretácicas (Formación Morelos) y lutitas calcáreas del Cretácico Superior (Formación Mezcala). Estructuralmente, se trata de pliegues arrumbados de N a S, flanqueados al E y W por el relleno plio-pleistocénico (Formación Chontalcoatlán), que cubre sus faldas, allí donde ha sido respetado por la erosión. Consta de dos pisos separados en la vertical, por cerca de un centenar de metros; el piso superior comprende las dos grutas secas de Cacahuamilpa y Carlos Pacheco, que abren en el flanco oriental del cerro de La Corona (Mapa 6); el inferior comprende los cursos subterráneos del río San Jerónimo y el del río

SISTEMA DE CACAHUAMILPA - ACUITLAPAN



Chontalcoatlán, que atraviesan la alineación montañosa, para salir del valle de Ixtapan y formar, conjuntamente, a su salida del recorrido subterráneo, el río Amacuzac, uno de los principales tributarios del río Balsas.

La gruta de Cacahuamilpa está formada, esencialmente, por una galería de enormes proporciones, de unos 1 380 metros de longitud. En su primera mitad, la anchura oscila alrededor de los 60 metros, con una altura de bóveda entre los 20 y 30 metros. Después de un estrechamiento relativo, en el que la galería mide en anchura y altura de techo, unos 20 metros, se amplían las proporciones, adquiriendo una anchura de 80-100 metros y una altura de techo, de los 30 a los 70 metros. Algunos macizos estalagmíticos y amontonamientos de bloques desprendidos de la bóveda, dan la apariencia de una serie de enormes cámaras interconectadas, cuando en realidad, se trata de una galería única, no ramificada y de una orientación general perpendicular a la de los estratos, es decir, dirigida de E a W. El suelo de la cueva es llano y casi horizontal, con ligera inclinación hacia la entrada; está constituido por capas arcillosas más o menos cementadas por incrustaciones estalagmíticas, que cubren el lecho de roca viva y ocultan toda huella que las aguas corrientes hubiesen podido labrar a su paso. Además grandes extensiones del suelo están cubiertas por montículos formados por rocas desprendidas de la bóveda y fragmentos de enormes masas estalagmíticas, como ocurre, por ejemplo, en el llamado "Pedregal del Muerto", en la porción terminal de la gruta y, especialmente, en la entrada, donde como es frecuente en cuevas de grandes dimensiones, el intemperismo acelera el proceso de descamación de los estratos casi horizontales de la bóveda, produciendo un caos de bloques desprendidos (talud de entrada), más o menos cubierto por concreciones y por el que es preciso descender para llegar al nivel original de la antigua entrada. En este caso concreto, las obras realizadas para permitir un cómodo acceso, ocultan, en gran parte, los bloques que forman el talud de entrada. De todas las maneras, prescindiendo imaginariamente de las irregularidades debidas, obviamente, a procesos muy posteriores a la excavación de la gruta, está bien claro que se trata de una galería sencilla, no ramificada, de fondo plano y ligeramente inclinado hacia la boca, que presenta una configuración muy semejante a la de los actuales cursos subterráneos de los ríos Chontalcoatlán y San Jerónimo.

La entrada abre en el flanco oriental del cerro de La Corona, a unos 100 metros por encima del fondo actual del origen del valle del Amacuzac (barranca de Limotitla); se trata de una cueva "colgada", cuya porción inicial ha sido grandemente reducida por la erosión; originalmente, se extendería bastante más hacia el E, por el actual emplazamiento de la explanada y porción inicial de la barranca de Limotitla, como lo sugieren los travertinos y bolsas de disolución, tan frecuentes en las calizas que afloran en el camino que conduce, desde las grutas, al fondo de dicha barranca.

A unos 400 metros de la entrada, cerca de la pared sur, puede observarse un montículo de gravas y cantos rodados; en buena parte, esta acumulación de aluviones está oculta por arcilla e incrustaciones y atestigua la existencia de una corriente de agua subterránea. Es interesante insistir sobre este dato, puesto que él, por sí solo, echa por tierra la hipótesis de que esta cueva no ha

sido ocupada por un río de origen exógeno. Bretz dice al respecto (p. 370): "The detrital floor nowhere shows any stream sand or gravel", lo que sólo demuestra lo sumario de su visita a la cueva, pues los aluviones están bien a la vista en el camino que forzosamente, siguen todos los visitantes de la caverna. La inspección más superficial muestra que muchos de los cantos rodados son de rocas ígneas, idénticos a los que forman el relleno del valle de Ixtapan. Como dicho relleno, según el mismo autor, jamás llegó a recubrir la parte superior de los cerros calcáreos, es forzoso inducir que fueron introducidos en la cueva por un río, de la misma manera que el actual San Jerónimo transporta dichos materiales por todo su recorrido subterráneo, depositándolos al exterior, en Dos Bocas. Por otra parte, el descubrimiento de aluviones dentro de la cueva, no es nada nuevo, pues data de 1879 y han sido mencionados por varios autores, como se indica en la descripción detallada de la cueva, que puede verse más adelante.

En la primera parte de la cueva, es decir, antes del estrechamiento a que se ha hecho referencia, se observa muy claramente, una marca de agua situada a unos 18-20 metros, conservando una perfecta horizontalidad; aparentemente, representa un episodio bastante tardío en la evolución de la cueva, durante el cual, las aguas corrientes o de infiltración, quedaron represadas a este nivel, posiblemente por los desprendimientos y acarreo que forman el talud de entrada; es interesante este dato porque, por sí solo, puede dar cuenta de las dos bolsas de disolución notadas por Bretz (loc. cit., pág. 37), en la parte inferior de la pared, y que él considera como "phreatic trait". Por otra parte, la regularidad y amplitud actual de la galería que constituye la cueva, hace altamente improbable, que pueda haberse formado sin la intervención de una corriente de agua, al menos de igual magnitud que el actual río San Jerónimo, en cuyo caso, toda traza anterior de disolución por aguas en conducto forzado o bajo el nivel freático, han tenido que desaparecer desde hace mucho tiempo.

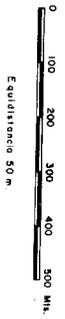
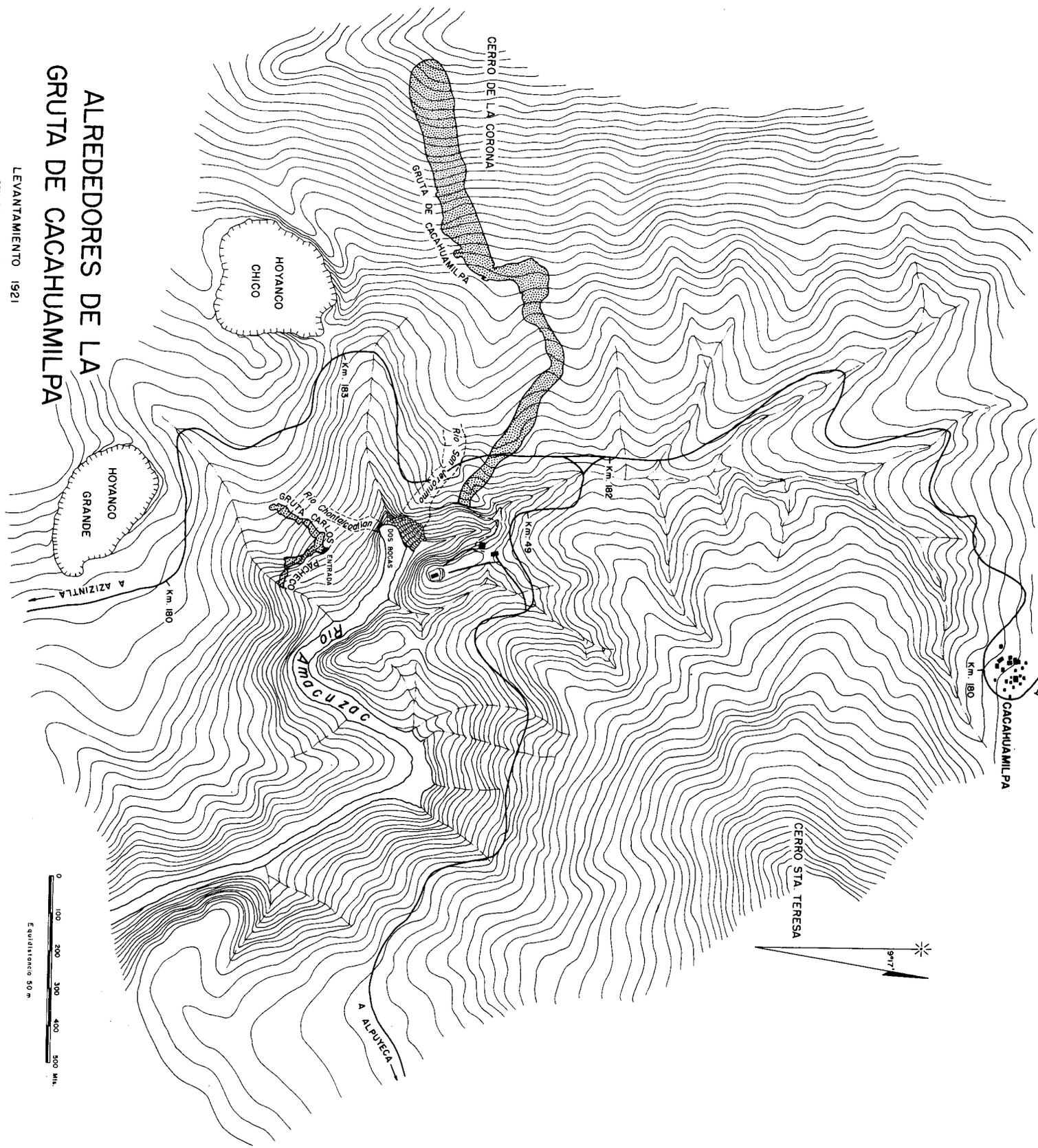
Parece claro que la aparente terminación actual de la gruta en fondo de saco, se debe al imponente amontonamiento de bloques desprendidos del techo y a las coladas estalagmíticas que cierra el acceso; en otras palabras, se supone que la parte accesible no es sino la porción terminal de un antiguo cauce subterráneo, que se extendía hacia el NW atravesando, posiblemente, todo el cerro de La Corona, pero no necesariamente en el nivel de la gruta actual.

Otra particularidad interesante, la constituye una enorme colada estalagmítica, de forma cónica, llamada "Puerto del Aire", adosada a la pared norte; mide unos 120 m de anchura, en su base, por una altura de cerca de 40 metros. En su cima, entre la estalagmita y la pared de la cueva, hay una grieta por la que sale fuerte corriente ascendente de aire, lo que permite suponer la existencia de una comunicación con niveles inferiores de la red subterránea.

La gruta de Carlos Pacheco abre en la misma ladera del cerro de La Corona en que se halla la de Cacahuamilpa, a unos 400 metros de distancia, en línea recta, y a la misma altura que esta última, de modo que también está "colgada" unos 100 metros por encima del fondo de la barranca de Limotitla.

ALREDEDORES DE LA GRUTA DE CACAHUAMILPA

LEVANTAMIENTO 1921
CON ADICIONES DE 1969



La entrada, se efectúa por un hundimiento de la bóveda, descendiendo por un talud de entrada semejante al de Cacahuamilpa. Consta de dos galerías que se unen en ángulo casi recto, cerca de la entrada: una de dirección general al SW y otra, orientada al SE. La configuración de cada una de las galerías, es semejante a la galería única de Cacahuamilpa, pero de dimensiones mucho menores; ambas tienen la misma longitud, esto es, 200 metros y terminan en fondo de saco, obturadas por coladas estalagmíticas. El suelo es, prácticamente, plano y situado, en ambas, al mismo nivel; está cubierto por arcilla de decalcificación y capas estalagmíticas que, como en Cacahuamilpa, ocultan la verdadera configuración del fondo rocoso. La galería dirigida al SSW presenta, hacia su mitad, un estrechamiento casi cerrado por grandes macizos estalagmíticos, que la divide en dos cámaras, cada una de unos 90 metros de longitud, por unos 18-20 metros de anchura; la cámara profunda, tiene el techo a unos 10 metros de altura y, cerca de su terminación comunica con una cavidad de disolución, de unos 10 metros de diámetro, por 2 de altura de techo; la cámara más próxima a la entrada es más irregular, con el techo algo más alto (ca. 15 m); en conjunto, esta galería parece seguir la dirección de una diaclasa vertical, perpendicular a la pendiente exterior de la ladera del cerro. La otra galería, por el contrario, es subparalela a las curvas de nivel del cerro y, por consiguiente, a la superficie; parece gobernada, también por una diaclasa perpendicular a la anterior; es más estrecha (ca. 8 m), y la altura del techo, ligeramente mayor que la anchura.

Parece ser que la corriente de agua habría penetrado por el fondo actual de la galería SW, prosiguiendo después de un recodo, por la galería SE para salir al exterior muy cerca del extremo de esta galería que se corresponde con el lecho de un arroyo actual.

El río San Jerónimo se forma en los alrededores de Tenancingo, por la confluencia de varios arroyos que descienden de las estribaciones del Nevado de Toluca; al principio, con el nombre de río de Tenancingo y, después, con el de San Jerónimo, recorre de N a S el valle de Ixtapan, paralelo y próximo al de la cadena montañosa que limita, por el E, dicho valle. En su recorrido de unos 30 kilómetros entre Tenancingo y El Resumidero, desciende unos 700 metros; al principio corre sobre rocas volcánicas, después abre su cauce en el relleno del valle; más al S (San Gaspar) sigue el contacto entre el relleno y las calizas cretácicas o está muy próximo a dicho contacto. En su porción terminal, transcurre por el fondo de una estrecha barranca, de unos 150 metros de profundidad, por debajo del nivel general del relleno, cortada en el fondo de un valle más antiguo, bastante más amplio que la barranca, pero de escasa profundidad; pueden verse restos de dicha terraza aguas arriba del Resumidero y, según Bretz (1952), este antiguo cauce habría sido excavado por el río, en una etapa en la que este salía del valle por un curso epígeo. Esta hipótesis parece plausible, pues este mismo autor señala la presencia de un cauce abandonado que cruza la alineación montañosa entre el cerro Gigante y el cerro El Jumil, para salir del valle de Ixtapan a la llanura de Michapa, por donde habría seguido rumbo al S, en un emplazamiento no lejano al actual cauce del arroyo de Santa Teresa, afluente, por la izquierda, del actual río Amacuzac.

Todavía dentro del valle de Ixtapan, la barranca actual ha cortado no sólo el relleno plioleistocénico, sino también los conglomerados rojos terciarios (Formación Balsas) infrayacentes hasta llegar a las calizas cretácicas.

El tramo subterráneo del río San Jerónimo, se inicia en El Resumidero o cueva de Huiztemalco, precipitándose las aguas en el interior de una grieta de unos 20 metros de anchura, en su base, por unos 50 metros de altura, que se abre al pie de un acantilado calcáreo, de unos 200 metros de altura. En el acceso al resumidero, puede verse el contacto de las calizas cretácicas que forman el cerro, con el relleno de clásticos cenozoicos suprayacentes, de modo que el curso subterráneo se inicia en el contacto de ambas formaciones, de manera análoga a lo que ocurre en la cueva de La Estrella.

Inmediatamente después de pasada la abertura de entrada, el cauce subterráneo se ensancha considerablemente, adquiriendo proporciones semejantes a las de la cueva de Cacahuamilpa; en la pared S, del mismo, hay una cornisa situada a unos 40 metros de altura, sobre el río y, más adelante, éste se precipita por un salto y rápidos, de difícil descenso. El curso subterráneo nunca ha sido objeto de estudio topográfico, a pesar de que cada año es varias veces en toda su longitud, durante la estación seca, por asociaciones deportivas, pero la exploración es muy penosa, pues requiere la permanencia constante, durante muchas horas, en aguas de corriente fuerte y relativamente frías; se trata de una galería, aparentemente sin ramificaciones, que en toda su longitud conserva dimensiones muy semejantes a las de Cacahuamilpa, pero en algunos sitios, el techo es lo suficientemente bajo, para que troncos de árbol, arrastrados por las aguas en la época de lluvias, queden empotrados en él; de otros modos, parece que ni aún en la estación lluviosa hay tramos en conducto forzado, pero la exploración resulta entonces imposible, a causa de la impetuosidad de la corriente. El recorrido subterráneo tiene, aparentemente, una longitud de alrededor de 6 kilómetros; su porción terminal es notablemente paralela y de las mismas dimensiones que la gruta de Cacahuamilpa, situada unos 100 metros más alta y casi en la misma vertical; la resurgencia tiene lugar en el comienzo de la barranca de Limotitla, a unos cincuenta metros de la emergencia del río Chontalcoatlán, de modo que el paraje recibe el nombre de Dos Bocas, y la confluencia de ambas corrientes constituye el origen del río Amacuzac. Dentro del amplio túnel de salida del río San Jerónimo, adosada a la pared izquierda (norte), hay una terraza de aluviones, situada a 25 metros por encima del cauce actual.

El río Chontalcoatlán sirve de desagüe a la mayor parte del valle de Ixtapan; se forma por escurrimientos que descienden de las estribaciones del Nevado de Toluca, y que convergen en dos afluentes principales, los ríos de Malinaltenango y Almoloya (Apetlahuacán), los que, poco después de su confluencia, reciben las aguas del río Salado y al que van a parar las aguas del río Zapote, después de su curso subterráneo por la cueva de La Estrella. Cerca de Chontalcoatlán, se unen el río Grande con el río Chiquito, que baja de la serranía de Tasco, para constituir el río Chontalcoatlán (río Pilares) el que, tras corto recorrido epigeo, inicia su curso subterráneo.

El resumidero del Chontalcoatlán se abre en el extremo norte del cerro de

Techolapa, a unos 5 kilómetros en línea recta del resumidero del San Jerónimo. De manera semejante a éste, también el cauce del Chontalcoatlán, aguas arriba del sumidero, presenta terrazas bien desarrolladas en los clásticos plioleistocénicos y probablemente, en los conglomerados paleógenos; el resumidero se abre, lo mismo que el del San Jerónimo y el del río Zapote, en el contacto de las calizas cretácicas con los sedimentos continentales. Parece claro también que, anteriormente, el río salía del valle en curso epigeo, bien por el emplazamiento del collado actual entre los cerros Techolapa y La Corona, o conjuntamente con el río San Jerónimo y que, asimismo, el curso subterráneo actual es consecuencia de una captura subterránea. Dicho curso subterráneo puede ser recorrido en toda su longitud durante la estación seca como el del río San Jerónimo; tampoco este ha sido objeto de levantamiento topográfico, pero parece tener una longitud de unos 5 kilómetros. Su anchura es bastante menor, de unos 20 metros y altura de bóveda de cerca de 25 metros. Después de atravesar el espolón del cerro de Techolapa, el curso subterráneo cruza por debajo del collado que separa los cerros y penetra en el cerro de La Corona para resurgir en Dos Bocas, casi al lado de la resurgencia del río San Jerónimo. Hacia la mitad del recorrido subterráneo, un hundimiento de la bóveda, permite el acceso al río, por el llamado "resuello" del Chontalcoatlán que se abre en el fondo de la dolina denominada Hoya de Corralejo. La claraboya sirve de sumidero a un pequeño arroyo que se origina en la dolina, y se abre cerca del techo de una enorme cámara de unos 70 metros de altura, por unos 200 de longitud, y unos 40 de anchura, en cuyo fondo corre el río; éste penetra, en uno de sus extremos, por un túnel que tiene una sección transversal de unos 20 x 20 m, y desaparece por otro túnel de análogas dimensiones; así pues, esta cámara representa una dilatación que rebasa mucho, en altura y anchura, a la sección normal del curso subterráneo; en ella se observa una terraza de aluviones, a unos 50 metros sobre el nivel del río, que indudablemente fue depositada después de que la cavidad había alcanzado sus dimensiones actuales, pues está muy por encima de la altura máxima del túnel. Parece ser que hay otras dilataciones semejantes del curso subterráneo, pues casi a un kilómetro del respiradero, existe una colada estalagmítica de proporciones gigantescas, muy semejante a la que sirve para descender hasta el fondo del "resuello".

En la misma dolina de Corralejo, se abre la cueva de Agua Brava que, en época de lluvias, no sólo queda completamente inundada, sino que en su boca se forma al exterior un extenso charco; sus demasías forman un arroyuelo que atraviesa el fondo de la dolina, para sumirse otra vez por el "resuello". Probablemente estas aguas están en comunicación, directa o indirecta, con algún tramo del río subterráneo, aguas arriba del "resuello".

La porción terminal del curso subterráneo del Chontalcoatlán, guarda un notable paralelismo, y es de la misma anchura que la galería principal de la gruta de Carlos Pacheco, situada unos 100 metros más arriba. Obsérvese que las mismas relaciones existen entre la porción terminal del curso subterráneo del río San Jerónimo y la gruta de Cacahuamilpa.

ESPELEOGENESIS

De las hipótesis propuestas para explicar el origen de las grutas del sistema de Cacahuamilpa, únicamente la expuesta por Bretz, en 1955, ha sido basada en observaciones sobre la geomorfología regional; parece pues oportuno exponerla con cierto detalle, para basar en ella la discusión sobre los nuevos datos aportados en este trabajo. Por otra parte, es precisamente Bretz (1942), el autor de la teoría mejor sistematizada, entre las que conceden papel fundamental a la disolución freática, en la génesis de las cavernas, así es que resulta fácilmente comprensible que su interpretación de los fenómenos observados en Cacahuamilpa, esté basada en su propia teoría. Por consiguiente, se considera oportuno comenzar con una exposición resumida de su teoría general, comparándola con las de otros autores.

Las teorías actuales sobre la formación de cavernas en terrenos calizos pueden agruparse en tres escuelas, de acuerdo con el tipo de aguas a que sus respectivos mantenedores atribuyen el papel principal o único. Para unos, no existiría una verdadera capa freática en las calizas y, por consiguiente, todo el trabajo de disolución y erosión subterránea, correspondería exclusivamente a las aguas de infiltración; otros suponen la existencia de una zona de inundación, más o menos permanente (aguas freáticas), por debajo de la zona de infiltración (aguas vadosas) y las opiniones se dividen entre los que atribuyen el papel principal a las aguas vadosas, y quienes piensan que son las aguas freáticas las que ejercen la acción decisiva. A continuación, se resumen los puntos de vista de las principales teorías de cada uno de estos grupos.

Teorías basadas en la acción de las aguas de infiltración.—Son las más antiguas, pues fueron popularizadas a fines del siglo pasado y principios del presente, por Martel (1894-1921) pero actualmente siguen siendo defendidas por autores de gran relieve, como Lehmann (1932), Bourgin (1947), Trombe (1952) y, en general, por quienes derivan su experiencia de las grandes exploraciones recientes en el Carso, Alpes y Pirineos, en algunas de las cuales se han logrado recorridos que suponen un desplazamiento subterráneo, en la vertical, del orden de los 400 a los 1 000 metros. Se resume, en lo fundamental, este punto de vista siguiendo especialmente a Trombe.

Los macizos calizos, después de su emersión, presentan varios sistemas de fisuras, resultado de los fenómenos tectónicos; las juntas, diaclasas y fallas, por un lado, y las superficies de estratificación por otro, forman una red tridimensional de fisuras, que segmentan la masa calcárea en bloques más o menos paralelepípedicos. El agua meteórica, cargada de anhídrido carbónico a su paso por el suelo, penetra profundamente en el sistema de grietas, disolviendo a su paso el carbonato de calcio (corrosión), lo que tiene como consecuencia la ampliación de las fisuras; más pronto o más tarde se producirán hundimientos subterráneos (dolinas, poljes, ponors), que actuarán como colectores de aguas superficiales en un área más o menos extensa. La acción de las precipitaciones acuosas sobre la superficie del terreno, se traduce en una disolución más intensa a lo largo de las grietas preexistentes, aumentando su anchura y profun-

didad, de modo que la superficie queda convertida en una especie de enlosado (limestone pavement); cuando la superficie entre las juntas es plana, o campos de lapiáz, si se forman crestas agudas y onduladas, separadas por grietas profundas y estrechas.

Inicialmente, las aguas meteóricas se introducen en el sistema de grietas, quedando regida su distribución por las condiciones topográficas; más adelante, cuando la ampliación de las juntas llega a cortar los planos de estratificación, se establece una red tridimensional de cavidades anegadas entre los bloques de caliza impermeable; aquí el agua está sometida a presión hidrostática, es decir, que cada partícula acuosa podrá desplazarse libremente en las tres direcciones del espacio, siguiendo la vía más fácil, de acuerdo con la distribución de las presiones. En tanto que no exista desagüe hacia la vaguada más próxima, todo el sistema está a presión, y las aguas se encaminarán, preferentemente, siguiendo la inclinación de los estratos, pero la presión hidrostática a que esta sometida, podrá hacerla remontar por las juntas más o menos verticales o, incluso, seguir un camino paralelo al arrumbamiento de las capas, si encuentra una fractura importante en esa dirección. En estas condiciones, la capacidad de disolución del CaCO_3 viene determinada en función de la temperatura y del CO_2 disuelto, pero la situación no es duradera. En cuanto la profundización de los valles, por erosión superficial, permita el desagüe de la red, se originará automáticamente, un sistema de colectores que, comenzando en las fisuras más finas, se van reuniendo en conductos cada vez más importantes, originando regatos que al reunirse con otros, forman arroyuelos, arroyos e incluso ríos subterráneos en su caso. Al mismo tiempo, penetra el aire en el sistema y el desplazamiento del agua queda sometido exclusivamente a la acción de la gravedad; los fenómenos de disolución (corrosión), pierden importancia y es entonces la erosión mecánica (corrasión), la que interviene fundamentalmente, en el labrado de las galerías. La velocidad y ensanchamiento de los conductos, es función del gasto o volumen de aguas desplazado por unidad de tiempo, de manera que las vías troncales tenderán a ensanchar más rápidamente que las afluentes. Se integra de este modo una red de avenamiento subterráneo, semejante a las epigeas, con un nivel de base local,¹ determinado por la cota del emisario principal; cada una de las corrientes subterráneas tenderá a excavar su lecho, aproximándose al perfil de equilibrio, pero este sólo será alcanzado muy rara vez. Las aguas de infiltración de esta primera red, penetran en profundidad por las juntas, formando, por debajo de ellas, un retículo tridimensional de aguas a presión, semejante al primero, que a su vez encontrará, más pronto o más tarde, salida al exterior, puesto que los valles epigeos tienden a profundizar mucho más rápidamente; se inicia, entonces, una segunda red de avenamiento, con un nivel de base local más profundo y las corrientes de la primera red serán capturadas por las de la

¹ Se emplea aquí el término "nivel de base", en el sentido usual en hidrografía y no como sinónimo de capa freática o capa de saturación, como lo han empleado algunos autores, por ejemplo, Martonne (1920, p. 476) y Trombe (1952), lo que no deja también de estar justificado, pues la superficie freática tiende a ser el nivel de base "local" para las aguas vadasas.

segunda, formándose cascadas y rápidos subterráneos, de tal manera que las galerías formadas primeramente, quedan en seco, convirtiéndose en una "red fósil". La circulación de aire en las galerías secas, determinará los cambios higrométricos y de temperatura, que a su vez condicionan los depósitos estalagmíticos, hundimientos o relleno de cavidades.

El proceso descrito se repite en tanto que siga profundizándose el valle epigeo o hasta que las aguas subterráneas se encuentren con una capa impermeable suficientemente resistente, dando como resultado un abatimiento progresivo de los niveles de base locales, que trae como consecuencia un descenso, también progresivo, de las redes subterráneas; esto explica la disposición en "pisos" superpuestos, de las cavidades naturales, tan frecuentemente observadas en los macizos calcáreos y que, se traduce al exterior, por el hecho de que las entradas de cuevas suelen estar "colgadas", a mayor o menor altura, sobre el fondo del valle, en tanto que las surgencias y resurgencias, por regla general, están a nivel del río epigeo. En un momento determinado de la evolución de un macizo cárstico, pueden encontrarse varios niveles de cuevas "fósiles", en distintas etapas de relleno por incrustación y hundimiento de bóveda, de los cuales, el más alto es el más antiguo, y una red activa, ocupada por aguas corrientes; por ejemplo, en la sierra de El Abra, hay dos niveles de cuevas secas y la red activa (Bonet 1953), pero como el proceso de captura por redes inferiores no es homogéneo, se puede dar el caso de que uno o varios de los sistemas superiores, puedan estar parcialmente activos.

El número de pisos que pueden coexistir, simultáneamente, es limitado: ya se dijo que el proceso termina en profundidad al encontrar las aguas una capa impermeable, que aflora en el flanco del macizo, o cuando cesa la excavación del valle epigeo, por haber alcanzado su perfil de equilibrio. Por otra parte, los procesos de erosión superficial, en la parte alta, van removiendo, lenta pero continuamente, capas de rocas, de modo que la superficie del terreno va cortando porciones de los elementos más antiguos del sistema de cavidades produciéndose así los elementos característicos del paisaje cárstico: dolinas, ponors, poljes, uvalas, valles cerrados, simas, sumideros, etc., cuyos mecanismos concretos de formación, pueden verse, por ejemplo, en Trombe (1952); un caso particular, que merece recordarse, es el de las pérdidas de corrientes epigeas que, a menudo, sufren la captura por la red de galerías subterráneas, fenómeno que ocurre con mucha frecuencia, en el contacto de capas impermeables, con los macizos calcáreos.

La interacción de las limitaciones mencionadas, en superficie y profundidad, permite distinguir ciertos tipos de macizos calcáreos, cuyas designaciones ya son clásicas. Por ejemplo, se llama "carso superficial", al resultado de la erosión de un espesor pequeño de capas calcáreas, en cuya base las aguas llegan a un nivel impermeable; por el contrario, el "carso profundo" o "holokarst", se caracteriza por un potente espesor de calizas, de profundidad desconocida, cuyas aguas no llegan a alcanzar un nivel impermeable; en el llamado "carso antiguo", la erosión ha provocado la destrucción y derrumbe de todos los niveles calcáreos (fase final del ciclo cárstico); es el caso opuesto al "carso juvenil". Hay también los tipos de "carso de transición" y "merokarst"; este

último se refiere a macizos calcáreos con intercalaciones de margas o lutitas, que dejan abundante residuo arcilloso al disolverse las calizas.

En ocasiones, los niveles inmediatamente superiores a la red activa quedan inundados; por ejemplo, en las crecidas fuertes, ciertos segmentos de galerías o pozos verticales pueden funcionar a tubo lleno (corriente forzada), como vertederos de demasías (*trop plein*). Aún en las galerías fósiles más antiguas el agua de infiltración puede formar charcos o lagos permanentes, a veces de gran profundidad; en la red activa los derrumbes y aluviones transportados pueden obstruir parcialmente el paso de las aguas, formando embalses de consideración. Es importante anotar que en estos casos pueden desarrollarse fenómenos de disolución secundaria que, en principio, es imposible distinguir de los que, según los mantenedores de otras teorías, originaría el agua freática. A este respecto cabe mencionar un mecanismo por el cual las galerías de redes fósiles pueden quedar inundadas por completo, originando algo semejante a una falsa capa freática; esto ocurre cuando la acumulación de aluviones en el valle epigeo llega a cubrir los emisarios de la red activa o aún de redes fósiles; no sólo quedan completamente anegadas las cavidades, sino que es posible un desplazamiento lento de las aguas que escapan como "underflow" o corriente subálvea en el espesor de los aluviones permeables del valle epigeo. En este caso, las galerías inundadas pueden adquirir características atribuibles a la disolución por aguas freáticas, pero en realidad, la excavación ha sido producida primeramente por erosión debida a aguas que fluyen en superficie libre.

Resumiendo los puntos esenciales de la teoría que se discute, puede llegarse a las siguientes conclusiones:

1º El desplazamiento en profundidad de las aguas subterráneas resulta de la disolución (corrosión), por aguas a presión, mientras que la ampliación y modelado definitivo de pozos y galerías accesibles al hombre, se debe, esencialmente, a erosión mecánica (corrasión), por aguas corrientes con superficie libre.

2º Como consecuencia, en las cavidades accesibles la erosión ha tenido que borrar todo trazo de la primitiva disolución a presión.

3º Las fisuras capilares no juegan papel alguno en hidrología cárstica.

4º El sistema de conductos subterráneos puede presentar zonas de flujo a presión en conducto forzado, pero en general, la carga hidráulica es local y temporal, la profundización progresiva de las aguas disminuye la zona de flujo forzado a beneficio de la zona de flujo libre.

5º En las zonas de flujo a presión pueden ocurrir fenómenos de disolución secundaria (corrosión) que, en principio, no pueden distinguirse de los que consideran como indicios de solución en la capa freática en las teorías que suponen la existencia de dicha capa.

6º No existen reservas hídricas en los terrenos cársticos, comparables con las constituidas por la capa freática en otros tipos de terrenos.

Teorías basadas en la acción de aguas vadasas.—Un excelente resumen de estas teorías puede encontrarse en Warwick (1953), quien cita como antecedentes a Derryhouse (1907), Simpson (1935), y Myers (1948). Davis (1930,

1931) distingue entre cuevas de "un ciclo" formadas de acuerdo con este grupo de teorías y cuevas de "dos ciclos", cuyo origen lo atribuye a mecanismos que encuadran en el tercer grupo de teorías que se exponen después. Se refiere a la intervención de uno o dos ciclos de erosión y, por esto, a las teorías del 1º y 2º grupo se las denomina "teorías de un ciclo" y a las del tercero, como "teorías de dos ciclos". Se seguirá al primero de los autores mencionados en la corta exposición que sigue.

Las aguas de infiltración penetran en la red de grietas de los macizos calcáreos descendiendo hasta acumularse en los niveles inferiores; allí forman un depósito continuo de líquido sometido a presión constituyendo un acuífero; esta es la llamada capa freática o zona de saturación, que viene a constituir un nivel de base subterráneo (Bourgin). Las aguas subterráneas, en tránsito entre la superficie y la capa freática, se mueven en corrientes con superficie libre y constituyen las aguas vadasas, únicamente sometidas en sus desplazamientos a la acción de la gravedad. Es decir, en los terrenos calcáreos lo mismo que en los constituidos por otras clases de rocas, las aguas de infiltración se distribuirían en dos zonas: zona vadosa y zona freática, separadas por la superficie freática ("water table").

Las aguas vadasas, no sometidas a presión, tienden a descender hasta la superficie freática siguiendo el camino más próximo a la pendiente máxima compatible con la irregularidad de los conductos. Por el contrario, las aguas freáticas se desplazan por diferencias de presión que pueden actuar en todas direcciones, incluso la vertical ascendente. La única diferencia que habría entre un acuífero calcáreo y un acuífero constituido por arenas o gravas, es que en este último, los espacios libres para el desplazamiento del agua están constituidos por la porosidad intergranular, que es del mismo orden de magnitud que los elementos sólidos, en tanto que en acuíferos calcáreos, el agua sólo puede desplazarse por las grietas abiertas entre los grandes bloques de caliza impermeable. En ambos casos la superficie freática no es un plano a nivel, sino una superficie convexa cuya mayor altura corresponde al centro del macizo, y sus cotas más bajas quedan determinadas por los ríos epigeos más próximos; el desnivel no es mucho, siempre inferior al que corresponde al 1% de pendiente. La carga hidráulica así creada, produce un flujo lento de las partículas acuosas, por todos los pasajes naturales, pero no necesariamente siguiendo la línea de pendiente, sino profundizando en el espesor de toda la capa freática, para volver a ascender al lecho del río, siguiendo trayectorias ascendentes próximas a la vertical.

De todas las maneras, los autores que propugnan estas teorías, suponen que las aguas, al atravesar las cavidades aireadas de la zona vadosa, pierden, por una parte, el exceso de CO_2 acumulado, a su paso por el suelo y, por otra, se saturan de CaCO_3 , de manera que no conceden importancia al poder de disolución del agua en la capa freática, y las cavidades se modelarían exclusivamente mediante erosión mecánica producida por aguas vadasas; así pues, por lo que respecta al origen de las cuevas, vienen a coincidir con los partidarios de las teorías del primer grupo, de manera que la existencia o ausencia de capa freática, no introduce diferencia esencial por lo que se refiere al origen de

las cavidades accesibles; al tratar de las teorías del primer grupo ya se explicaron los procesos correspondientes y por consiguiente, no se repetirán aquí. En cambio, sí puede ser importante el probar la existencia o no de aguas freáticas en otro tipo de problemas, como los de hidrología subterránea y, concretamente, en el origen de la fauna cavernícola acuática, que comprende tantos relictos ("fósiles vivientes" de Jeannel), de faunas desaparecidas en las aguas superficiales; pero este no es un asunto que pueda resolverse exclusivamente por métodos espeleológicos directos, es decir, por el estudio de las cavidades accesibles al hombre. A este respecto debe existir gran cantidad de información obtenida en la perforación de pozos profundos y en el estudio de la dinámica de flúidos (aguas, petróleo y agua) durante la explotación de hidrocarburos y agua potable albergados en rocas calcáreas; pero desgraciadamente, a pesar de los intentos de Moneymaker (1949), no parece haberse intentado una sistematización de estos datos, desde el punto de vista que nos ocupa.

La llamada teoría de la "invasión" propuesta por Mallot (1937), coincide esencialmente con los puntos de vista expuestos, pero considera necesario, para explicar el origen de las grandes cavernas, la captura subterránea de corrientes epigeas de alguna importancia por el sistema de cavidades abierto por las aguas vadosas. Gardner (1935), quien deriva su experiencia de la perforación de pozos petroleros, piensa que la masa principal de la capa freática es esencialmente estática hasta que los valles epigeos cortan a través de ella, provocando su desagüe parcial; las grandes cuevas se formarían por la erosión de las aguas vadosas ampliando los conductos ocupados primeramente por las aguas freáticas.

Cvijic (1918) y Swinnerton (1932), señalan la importancia de la "zona de fluctuación" situada entre las zonas vadosa y freática, que comprendería el espacio ocupado por la superficie freática en sus oscilaciones dependientes de la variación en el volumen de las precipitaciones. El primero considera que, en la zona vadosa, el recorrido de las aguas infiltradas es principalmente vertical, pero que la erosión de galerías horizontales se hace, casi exclusivamente, en la zona de fluctuación. Swinnerton piensa que las aguas freáticas son todavía capaces de disolver pequeñas cantidades de caliza, pero sin importancia si se considera el trabajo total de excavación llevado a cabo por las aguas vadosas; estas, al descargar en la superficie freática, crean irregularidades de carga, que se traducen en escurrimientos horizontales, de tal manera, que el desarrollo principal de galerías, tendría lugar justamente, en el límite de las aguas vadosas con las freáticas, inmediatamente por encima o incluso por debajo de la superficie freática.

Teorías basadas en la acción de las aguas freáticas.—La primera exposición sistemática del origen de las cavernas bajo la superficie freática es debida a Grund (1903-1910) seguido por Martonne (1920), pero la popularización de esta teoría se debe principalmente a autores estadounidenses que han trabajado principalmente en zonas en las que predominan calizas dispuestas en estratos casi horizontales. Ya se ha dicho que Davis (1930-1931), considera dos tipos de cuevas desde el punto de vista de su origen: las que denomina cuevas de un solo ciclo, originadas y desarrolladas exclusivamente por aguas vadosas

durante un ciclo erosivo y, por consiguiente, su explicación entraría dentro del grupo de teorías ya descritas. Pero según él, existirían además cavidades cuyo origen no sería explicable sino suponiendo que han sido formadas por disolución bajo la superficie freática; claro es que para que las galerías así formadas sean accesibles, han tenido que ser evacuadas por las aguas, lo que supone un abatimiento considerable del nivel freático; esto, a su vez, supone un rejuvenecimiento del sistema hidrográfico epigeo y, por consiguiente, la intervención de dos ciclos erosivos; de aquí el nombre de cavernas de dos ciclos dado por Davis y que después, se ha extendido para designar, en general, las teorías de este grupo.

La posible existencia de cavidades formadas en estas condiciones supone un aumento considerable en la edad atribuida a las cavernas; según las ideas corrientes las grutas actuales "no son, sin duda, más antiguas que tres o cuatro millones de años" y, por consiguiente, "no pueden ser más antiguas que el Plioceno" (Jeannel, 1949). Por el contrario Davis considera que las cuevas de dos ciclos pueden iniciarse tan pronto como las aguas dulces comienzan a substituir a las aguas marinas como consecuencia de la emersión; esto arrojaría una edad posible para las desarrolladas en calizas del Carbonífero, de unos 200 millones de años (Warwick, 1953), si bien, el desarrollo activo sólo puede tener lugar en los períodos durante los cuales las calizas estuviesen suficientemente próximas a la superficie para ser invadidas por las aguas freáticas.

Los movimientos ya explicados de las aguas freáticas tenderían a crear una compleja red tridimensional de galerías, más bien que sistemas desarrollados a un sólo nivel; el desarrollo consistiría en disolución de las paredes, coalescencia de conductos previamente separados, y por derrumbes del techo que posteriormente serían eliminados por disolución; resultaría indispensable la inauguración de un nuevo ciclo de erosión, a un nivel inferior, para explicar su presencia por encima de la superficie freática. Ya en la zona vadosa, los procesos de erosión mecánica, incrustación, derrumbes, etc., superpondrían su modelado peculiar al originado en la zona freática, por consiguiente, en las cavidades accesibles, se tendrían juntos los dos tipos de características, a modo de palimpsesto. Davis considera, como señal de solución en la capa freática, los "lazos" y "circuitos cerrados" de galerías desarrollados en un plano, pero fue Bretz (1943) quien amplió y sistematizó las características diferenciales de ambos tipos de erosión. Los indicios de formación por aguas freáticas, de acuerdo con este autor, serían los siguientes: 1º.—Textura esponjosa ("spongeworks"), 2º.—Anastomosis en superficies de estratificación, 3º.—Anastomosis en planos de juntas, 4º.—Tubos y semitubos, 5º.—Bolsas de disolución, 6º.—Cavidades desarrolladas en juntas, 7º.—Puentes y particiones, 8º.—Galerías en retículo ("networks") y 9º.—Cámaras horizontales en estratos verticales. Una descripción abreviada de tales peculiaridades puede verse en Warwick (1953). Para la mayor parte de ellas y, concretamente, las enumeradas del 1 al 6, nuestro punto de vista es que sólo son indicios de origen por solución, pero esta puede ocurrir también en aguas vadasas, por ejemplo, por aguas en conducto forzado, o por aguas corrientes represadas por desprendimiento de bóveda, entre otras causas (zonas de circulación a presión de las teorías basadas en aguas vadasas). En cuanto a las tres últimas características, hay que analizar

cada caso concreto y evaluar si su origen no puede ser explicado por hipótesis alternativas.

Las teorías de dos ciclos explican la formación de cavernas, tanto en las regiones montañosas, como en las de escaso relieve, a pesar de que en esta última resulta difícil admitir la intervención de aguas vadasas. Pero aún así, cada caso debe evaluarse por sus propios méritos. Por ejemplo, Davis se refiere varias veces a las cuevas y cenotes de Yucatán, en relación con las cuevas de dos ciclos; se trata, en efecto, de una llanura elevada solamente unos pocos metros sobre el nivel del mar, constituida por calizas en estratos horizontales, sin ninguna corriente de agua en la superficie y provista de numerosas cuevas y "cenotes"; estos son ponors de hundimiento, en cuyo fondo, hay un nivel permanente de aguas, probablemente conectadas por corrientes subterráneas; todo el desagüe se efectúa por resurgencias submarinas. No hay indicios de que esta masa calcárea haya sido rebajada de una manera significativa por la erosión, de los niveles más altos. Así pues, todo a primera vista parece indicar un origen de las cavidades subterráneas por disolución en la capa freática; en las condiciones actuales, es difícil imaginar como las aguas vadasas o de infiltración hayan podido excavar este gran sistema de cavidades. No obstante, si se tiene en cuenta que durante el Pleistoceno, el nivel del mar sufrió un considerable abatimiento eustático, cabe la posibilidad de que la actual red activa, subterránea, haya sido formada en la zona vadosa, y que las condiciones actuales sean el resultado de una elevación secundaria del nivel de base, consecuencia de la transgresión postpleistocénica.

Otra idea de Bretz (1953-1955), sobre el origen de las cuevas, es la etapa de relleno de cavidades por arcillas de decalcificación. A medida que avanza el proceso de reducción del relieve epigeo, la fracción arcillosa más fina de los elementos residuales dejados al disolverse las calizas, penetraría en las cavidades todavía llenas de agua, depositándose en suelo y paredes hasta terminar, en ocasiones, por llenar la cavidad; este sería un depósito de aguas estancadas, resultantes de la desaparición de la presión hidrostática, al avanzar el proceso de peniplanación. La invasión por aguas vadasas, subsecuente al abatimiento del nivel freático, tendería a eliminar el depósito arcilloso, pero, a veces, quedarían residuos en techo y paredes, testigos del anterior relleno de la cavidad. No siempre la presencia de arcillas en techo y paredes tiene esta significación: en la cueva de Agua Brava, techo y paredes están cubiertos de arcilla que es depositada por la surgencia de agua que ocurre cada temporada de lluvias, según se explica más adelante.

Resumiendo lo dicho sobre los tres grupos de teorías, puede concluirse que los mecanismos espeleogenéticos postulados por los dos primeros son idénticos, exista o no una capa freática continua; que el tercer grupo postula un posible origen de cavidades en la capa freática cuya evidencia rara vez es inequívoca y que, en cada caso particular, debe evaluarse de acuerdo con las condiciones geomorfológicas presentes y pasadas, antes de llevar a conclusiones aceptables.

Análisis crítico de la hipótesis de Bretz sobre el origen de las cuevas de la región de Cacahuamilpa.—Este autor, en un notable trabajo publicado en 1955, describe el resultado de sus observaciones en la región de referencia. El que

esto escribe tuvo la suerte de acompañar al autor en una buena parte de su expedición, lo que le proporcionó la oportunidad de conocer, de viva voz, su autorizada opinión sobre este asunto y conocer, de primera mano las evidencias en que basa sus deducciones; observaciones posteriores, hechas en la misma zona, nos han llevado a conclusiones diferentes en algunos aspectos; por consiguiente, se cree oportuno entresacar de su trabajo, únicamente los datos primarios, cuya apreciación ha quedado modificada por las nuevas observaciones del autor de esta memoria que se mencionaron en el capítulo anterior. Después se resumirán las conclusiones generales de Bretz y las que se proponen aquí.

Refiriéndose a las cuevas de la región, indica (p. 364), "two lack any record that such streams ever used them"; por el contexto está claro que se refiere a Cacahuamilpa y Carlos Pacheco; pero ya se ha visto, en la página 39, que la primera presenta un depósito de aluviones de origen exógeno indiscutible y en las dos la capa arcillosa y estalagmítica que constituye el piso actual, oculta todo trazo que dichas corrientes hayan podido dejar en el suelo de roca viva primitiva.

Sobre los cursos subterráneos de los ríos Chontalcoatlán y San Jerónimo, dice (pág. 364): "they become tube full during the rainy season"; ya se indicó anteriormente, que hay en el recorrido algunos tramos de techo relativamente bajo pero puede afirmarse que aún en las más fuertes crecidas, la mayor parte del recorrido de ambos ríos se efectúa bajo bóvedas situadas a varias decenas de metros sobre el nivel máximo de los ríos subterráneos. Debe indicarse que Bretz no pudo penetrar en ninguno de estos ríos, pues su viaje coincidió con la temporada de lluvias. El resumidero del río San Jerónimo "is only a vertical slotlike opening... (the river) becomes definitely narrower as it disappears underground". No se cree necesario insistir en que el curso subterráneo es del mismo orden de magnitud que la cueva de Cacahuamilpa.

Bretz señala varios "freatic traits" en Carlos Pacheco y grutas de La Estrella, entre ellos "The complicated ground plan of branching and intersecting passages in the upper portion of Estrella", y las bolsas de solución en techo y paredes, así como un pilar rocoso (partición) en el centro de la cascada subterránea; el plano de la cueva es menos complicado de lo que dejan translucir las frases anteriores; muestra indicios de estar gobernado por dos sistemas de juntas y, especialmente, no debe olvidarse que las galerías superiores a las que se refiere, no están fraguadas en calizas, sino en lutitas en las que difícilmente pueden esperarse galerías formadas por disolución. En conexión con esto, cabe apuntar que al referirse a la etapa de relleno arcilloso dice: "only Estrella has yielded suggestions that it ever possessed a complete clay fill. The gray clay in Estrella may be a volcanic clay that has been worked down through crevices in the cave roof"; la arcilla de esta cueva resulta simplemente de la desagregación de las paredes lutíticas de las galerías, de modo que no representa residuos de una pretendida etapa de relleno.

Por último, cabe recordar que las señales de disolución presentes, pueden ser atribuidas tanto a disolución en la capa freática, como a la efectuada en conducto forzado en la zona vadosa (porción calcárea de la cueva de La Estrella), o aguas vadosas represadas (Cacahuamilpa y Carlos Pacheco).

Para Bretz, la secuencia de eventos que originaron el sistema de Cacahuamilpa, comprende dos episodios freáticos y dos vadosos. El primer episodio freático ocurrió durante el proceso de reducción de los pliegues laramídicos que afectaron las calizas "long before that range had taken on its prevolcanic relief and form. Cacahuamilpa, Carlos Pacheco, and Estrella date from this time. Probably lower caves now tied together to make the San Jeronimo and Chontalcoatlán underground routes date from the same time". Cuando los valles próximos (Ixtapan y Amacuzac), profundizaron por debajo de las cuevas, sobrevendría el primer episodio vadoso, quizá con depósitos estalagmíticos y, posiblemente, las cavidades fueron recorridas por corrientes vadosas; sobre este episodio Bretz indica: "The record for this is poor", sin comentar más. El relleno por clásticos pliocénicos de los valles antes mencionados, habría tenido como consecuencia, la elevación del nivel de la superficie freática y la inundación, de todas las cuevas, por aguas estancadas; "This event is almost wholly inferential; no know cave features of the region seem to record it", dice Bretz; en esto estamos completamente de acuerdo. La etapa actual representaría el segundo episodio vadoso, durante el que habría ocurrido la invasión de los ríos, por captura subterránea, al cortar sus cauces en el relleno que cubre los valles primitivos.

Puede verse claramente que esta complicada historia no está fundada en los hechos observados, si bien, estos tampoco la contradicen en su esencia. Más bien, resulta una consecuencia forzada, al postular para el origen y desarrollo de estas cuevas, una edad anterior al relleno de los valles. Por otra parte, la conformación y dimensiones actuales, tanto de los cursos subterráneos como de las grutas de Cacahuamilpa y Carlos Pacheco, parecen ser todo lo contrario de lo que cabría esperar, si su desarrollo definitivo se hubiera efectuado por disolución en la capa freática; en lugar de una red tridimensional de galerías, se trata de conductos sencillos, sin ramificaciones, como si su modelado definitivo hubiese sido efectuado por los ríos subterráneos que, aún hoy, corren por las galerías inferiores.

El notable paralelismo, así como las semejanzas de posición, amplitud y desembocadura entre la gruta de Cacahuamilpa y el Río San Jerónimo, por un lado, y entre la gruta de Carlos Pacheco y el río Chontalcoatlán, por otro, no parecen ser obra del azar; por el contrario, sugieren que en cada caso, las galerías superpuestas han sido labradas por el mismo río, en dos etapas sucesivas de profundización del nivel de base local, como es el caso general en las corrientes subterráneas.

Conclusiones.—Los puntos de vista propios, expuestos en los capítulos anteriores, pueden resumirse de la manera siguiente:

1.—Las erupciones volcánicas desde poco antes del Plioceno hasta comienzos del Pleistoceno dieron origen a gran cantidad de clásticos, que las aguas transportaron hasta rellenar, en gran parte, las depresiones de la topografía anterior, concretamente, los valles de Ixtapan y Amacuzac. Debe aclararse que estos clásticos no comprenden elementos del basalto pleistocénico que forma la masa del Nevado que actualmente cierra el valle por el norte; por consiguiente la for-

mación de esta barrera pleistocénica entre los valles de Toluca e Ixtapan, es posterior al relleno del valle de Ixtapan.

2.—Los clásticos pliocénicos enterraron las faldas de los cerros calcáreos, dejando al descubierto su porción superior. Es inútil especular cuales hayan podido ser las condiciones topográficas y fenómenos erosivos anteriores al relleno; sólo se sabe que los cerros calcáreos han estado emergidos desde fines del Cretácico y que la revolución laramídica fue el agente causal de las condiciones tectónicas actuales; durante el Eoceno-Oligoceno, hubo un primer relleno de clásticos continentales, semejante al de fines del Plioceno.

3.—Es de suponer que durante el largo período transcurrido desde la emergencia, ocurrieron fenómenos de erosión cástica en los cerros calizos, que originaron un sistema de fisuras análogo al que presentan otros macizos calcáreos, pero sobre cuyas características específicas nada se puede asegurar en concreto. Para los efectos de la discusión que sigue, es indiferente que el sistema de fisuras haya sido ampliado e integrado por aguas de infiltración, por aguas vadosas o por aguas freáticas.

4.—Las galerías superiores de la cueva de La Estrella, no han podido originarse por solución, pues están excavadas en lutitas; parece claro su origen por erosión de aguas de filtración o vadosas. Las señales de disolución visibles en la parte calcárea de las mismas, puede explicarse por corrosión en conducto forzado.

5.—Al terminar el relleno del valle de Ixtapan, todos los ríos tenían un curso completamente epigeo y, específicamente, pueden reconocerse los cauces epigeos abandonados por los tres ríos que en la actualidad tienen cursos subterráneos: arroyo del Zapote, río Chontalcoatlán y río San Jerónimo; los dos últimos habrían constituido el desagüe superficial del valle de Ixtapan, confluyendo dentro del mismo para salir por el cauce abandonado (epigeo) situado en la cañada de Michapa cerca de Agua Colorada, o bien independientemente.

6.—Los tres ríos sufrieron posteriormente la captura subterránea de su curso epigeo y, como es normal en estos casos, la captura tuvo lugar, precisamente, en el contacto entre los clásticos y la caliza. La captura se efectuó a beneficio de las grietas preexistentes y, a partir de este momento, comenzó el modelado y ampliación de galerías, por la acción mecánica de las aguas y elementos transportados.

7.—La regularidad, relaciones de posición, paralelismo y, especialmente, la analogía de conformación, hace plausible la suposición de que la actual gruta de Cacahuamilpa representa la porción terminal del primitivo curso subterráneo del río San Jerónimo; el proceso normal de profundización de los cursos subterráneos, dejó seco, total o parcialmente, el curso subterráneo superior, para adquirir el actual que resurge en Dos Bocas, unos 100 m por debajo del antiguo nivel. La presencia de aluviones exógenos en Cacahuamilpa, es prueba

indiscutible de que esta cavidad sirvió de cauce a un río subterráneo, originado en el mismo valle de Ixtapan.

8.—Análogamente y por las mismas razones, cabe suponer que la gruta de Carlos Pacheco representaría la antigua porción terminal del curso subterráneo del Chontalcoatlán, que actualmente desemboca a un nivel inferior, pero, en este caso, no hay evidencia directa del paso de corrientes de agua por la gruta de Carlos Pacheco.

9.—Es probable que la captura subterránea del río Chontalcoatlán haya ocurrido en dos etapas, la primera al formarse la dolina de Hoya de Corrajejo, por el llamado resuello del río, la segunda, por el actual resumidero; esto sería un ejemplo concreto de la regla general, según la cual, las pérdidas de corrientes epígeas, tienden a remontarse aguas arriba, (erosión remontante subterránea) mientras que las resurgencias se desplazan aguas abajo.

10.—Las señales de corrosión por disolución, que pudieran haber dejado las aguas freáticas, caso de que hayan existido, han debido desaparecer al ampliarse las galerías por el paso de las corrientes exógenas; los indicios de disolución que puedan apreciarse en la actualidad, muy escasos en Cacahuamilpa, algo más numerosos en Carlos Pacheco y porción calcárea de las galerías altas de La Estrella, son de origen secundario, es decir, formadas por aguas vadosas en conducto forzado o en estancamiento relativo. Las evidencias directas de erosión mecánica por corrientes de agua, en Carlos Pacheco y Cacahuamilpa, pueden estar ocultas bajo el relleno arcilloso y estalagmítico que, actualmente, constituye el suelo de dichas cuevas.

11.—El descenso del desagüe subterráneo, desde el nivel de las grutas secas a las actuales resurgencias, sólo pudo tener lugar al profundizar suficientemente la excavación del valle del Amacuzac. Como el volumen de excavación por unidad de tiempo, es proporcional al gasto, es claro que la profundización de este valle ha tenido que progresar mucho más rápidamente que el de sus tributarios Chontalcoatlán y San Jerónimo.

12.—El descubrimiento del nivel inferior de desagüe subterráneo, ha jugado el papel de un descenso brusco del nivel de base local, con el consiguiente rejuvenecimiento de la acción erosiva de los tributarios; esto explica la presencia de terrazas, aguas arriba de la porción subterránea de los ríos Chontalcoatlán y San Jerónimo.

*
* *
*

No obstante lo anteriormente expuesto, no se cree que haya sido dicha la última palabra sobre este problema; la exploración detenida de los cursos subterráneos, que todavía no se ha llevado a cabo, puede proporcionar datos que modifiquen, substancialmente, la apreciación de muchos puntos oscuros. Incluso las cuevas de Cacahuamilpa y Carlos Pacheco, no pueden considerarse todavía como bien conocidas. Es necesario un estudio pormenorizado de muchos

trazos y señales, evaluándolos objetivamente, a la luz de las diversas teorías; se cree que excavaciones y sondeos sistemáticos del suelo de las grutas, pueden proporcionar datos capaces de modificar algo las conclusiones anteriores; concretamente, debe evaluarse, la importancia y extensión de los aluviones del interior de Cacahuamilpa, estudiando su estratigrafía detallada. Simplemente las enormes proporciones de las galerías, especialmente en Cacahuamilpa, hace muy difícil o imposible la observación de trazos significativos en el techo y parte alta de las paredes, que podrían estudiarse empleando equipo pesado de escalamiento, por ejemplo, mástiles con escalas. Otro punto que requiere atención para el futuro, es la estratigrafía fina de las potentes capas de aluviones situados en la desembocadura de los ríos subterráneos y en el respiradero del Chontalcoatlán. En otro orden de ideas, deben fijarse las relaciones entre los conglomerados eoceno-oligocénicos y las terrazas de los cursos del Chontalcoatlán y San Jerónimo, en fin, quedan todavía algunos puntos significativos por esclarecer y, en la discusión que antecede, se ha tratado solamente de confrontar hipótesis de trabajo, con los datos actualmente existentes.

BIBLIOGRAFIA SOBRE EL ORIGEN DE LAS CAVERNAS

- BONET, F. 1953. Datos sobre las cavernas y otros fenómenos erosivos de las calizas de la Sierra de El Abra. Memoria del Congreso Científico Mexicano, III. Ciencias Físicas y Matemáticas, Geología: 238-266. México.
- 1953. Cuevas de la Sierra Madre Oriental en la Región de Xilitla. *Instituto de Geología, Bol.* 57:97 págs.
- BOURCIN, A. 1945. La question du niveau de base. *Revue de Géographie Alpine.* 33 (1): 99.
- BRETZ, J. H. 1942. Vadose and phreatic features of limestone caverns. *Jour. Geol.* 50: 675-811.
- 1953. Genetic relations of caves to peniplains and big springs in the Ozarks. *Amer. Jour. Sci.* 5 (251): 1-24.
- 1955. Cavern-Making in a part of the Mexican Plateau. *Jour. Geol.* 63 (4): 364-375.
- CVIJIC, J. 1918. Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. *Rec. Trav. Instit. Geogr. Alpine.* 6 (4).
- DAVIS, W. M. 1930. Origin of Limestone Caverns. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 41 (3): 475-628.
- 1931. The Origin of Limestone Caverns. *Science.* 73: 327-333.
- DAVIES, W. E. 1960. Origin of caves in folded limestone. *Bull. Natl. Speol. Soc.* 22: 5-18.
- DWERRYHOUSE, A. R. 1907. Limestone caverns and Potholes and their Mode of Origin. *Yorkshire Ramblers Club Jour.* 2 (7): 223-228.
- GARDNER, J. H. 1935. Origin and Development of Limestone Caverns. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 46: 1255-1274.
- GRUND, A. 1903. Die Karsthydrographie, Studien aus Westbosnien. *Penks geogr. Abhandl.* 7 (3): 103-200.
- 1910. Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. *Penks geogr. Abhandl.* 9 (3): 200 pp.

- JEANNEL, R. 1949. Les fossiles vivants des cavernes. 5a. edition. Gallimard, 321 pp. París.
- KAYE, C. A. 1957. The effect of solvent motion on limestone solution. *Journ. Geology*, 65: 35-46.
- LEHMANN, 1932. Die Hydrographie des Karstes. Encyclopädie der Erkunde. Viena.
- MALOTT, C. A. 1937. The Invasion Theory of Cavern Development (reseña) *Proc. Geol. Soc. Amer.* 1936: 323.
- MARTEL, E. A. 1894. Les Abîmes. 579 pp. París.
- . 1921. Nouveau traité des eaux souterraines. Doin, 838 pp. París.
- MARCONNE, E. 1920. Traité de Géographie Physique. 3a. edit. Colin XI+922 pp. París.
- MONEYMAKER, B. C. 1949. Limestone Cavities in the Papaloapan Basin. *Jour. Tennessee Acad. Science*, 24: 117-122.
- MYERS, J. O. 1948. The Formation of Yorkshire Caves and Potholes. *Trans. Cave Research Group Great Britain*, 1 (1): 26-29.
- SIMPSON, E. 1935. Notes on the Formation of the Yorkshire Caves and Potholes. *Proc. Univ. Bristol Spel. Soc.* 4: 224-232.
- SWINNERTON, A. C. 1932. Origin of Limestone Caverns. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 43 (3): 662-693.
- TROMBE, F. 1952. Traité de Spéléologie. Payot 376 pp. París.
- WARWICK, G. T. 1953. The Origin of Limestone Caves. En: C. H. D. Cullingford; *British Caving*. Routledge and Kegan Paul Ltd. 468 pp. Londres.