LAS GRUTAS DE XOXAFL Y TONALTONGO, Municipio
de Santiago Anaya, Estado de Hidalgo*

LUIS BLÁSQUEZ L., M.S.G.M.**

	Págs.
CONTENIDO	
Introducción	2
Situación	2
Fisiografía	2
La Gruta de Tonaltongo	8
Geología de la región	13
Bibliografía	19

ILUSTRACIONES

Foto. Núm. 1.—Cañón de "El Diablo" en los alrededores de la Gruta de Tonaltongo al NE. del Mineral de El Cardonal, Estado de Hidalgo	10
„ Núm. 2.—Boca de la Gruta de Tonaltongo, Municipio de El Cardonal, Estado de Hidalgo	10
„ Núm. 3.—Otra vista de la boca de la Gruta de Tonaltongo, Mun. de El Cardonal, Estado de Hidalgo	12
„ Núm. 4.—Primer Salón de la Gruta de Tonaltongo, Mun. de El Cardonal, Estado de Hidalgo	12

* Conferencia sustentada en la Sociedad Geológica Mexicana el 4 de julio de 1941.

** Geólogo del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INTRODUCCION

En febrero del año de 1936 el Instituto de Geología inició el estudio del Valle del Mezquital, enviando una comisión integrada por geólogos especialistas en minerales metálicos, no-metálicos, agrogeología e hidrogeología, y por una pequeña sección de topografía. Dicho estudio fué publicado en 1938, gracias a la eficaz y valiosa cooperación del Sr. Lic. Agustín Arroyo Ch., entonces Jefe del extinto Departamento Autónomo de Prensa y Publicidad.

En esa expedición, tuve oportunidad de conocer las grutas de Xoxafí y Tonalongo en la formación caliza del Cretácico, cuya génesis motiva el presente trabajo.

SITUACION

La Gruta de Xoxafí se encuentra a unos 3 kilómetros al este de El Capulín, Municipio de Santiago Anaya, Estado de Hidalgo, situada muy cerca del kilómetro 135 de la carretera de México-Laredo. No existe en ella grandes salones con formaciones de estalactitas y estalagmitas, confirmando así la poca antigüedad relativa de la gruta, originada durante el régimen lacustre de la región. Conectada con una dolina, contribuía al desagüe subterráneo de la cuenca. Como el descenso es bastante rápido, las aguas estuvieron animadas de gran velocidad y en partes de su trayecto sometidas a presión. El resultado de estas acciones, es manifiesto en la destrucción de los lechos impermeables intercalados entre las calizas y en la ausencia de estalactitas y estalagmitas en los conductos reducidos.

FISIOGRAFIA

Posteriormente a la clausura de la circulación de aguas subterráneas en la gruta, se formaron los escasos depósitos de precipitación química, que se encuentran en las principales oquedades de la gruta, pudiéndose inferir por una parte, la escasez de la precipitación pluvial en la zona de la gruta y por la otra, el relativo corto tiempo de la clausura de la misma en cuanto a su función de conducto activo.

En la *Memoria de la Comisión Geológica del Valle del Mezquital*, Hgo., página 43, a la que hice referencia al principio, dice que el re-

lieve del terreno tuvo durante cierto tiempo las características del tipo cárstico con pérdidas y resurgencias de los ríos, así como formación de cavernas subterráneas. En esa época se formaron los valles longitudinales, establecidos inicialmente en sinclinales e incuestionablemente se formaron algunas cavernas. Las que se encontraban en los anticlinales, fueron destruidas al ser erosionadas las montañas originales; pero las que se encontraban en los fondos de los valles en las estructuras sinclinales, quedaron, después, con la inversión del relieve, en los macizos montañosos.

De estas consideraciones se desprende que en la región pueden encontrarse cavernas formadas cuando los cursos fluviales eran consecuentes y el relieve directo y cavernas formadas, cuando los cursos eran subsecuentes y el relieve invertido.

La circulación de las aguas en las calizas sufrió una importante transformación al sobrevenir las emisiones ígneas del Mioceno, que formaron barreras de rocas ígneas, tanto obstruyendo los primitivos valles abiertos, como cerrándolos longitudinalmente por intrusiones. Entonces se formaron nuevas vías subterráneas de circulación y con ellas nuevas cavernas.

En el Valle de Ixmiquilpan desempeñó un importante papel como modificante de la circulación interna, la sierrita transversal de San Juanico.

Durante el Pleistoceno, establecidas las barreras transversales, se formó un gran lago que derramó por Infiernillo, produciendo la erosión, la notable abra de ese nombre, donde se reúnen los ríos San Juan e Ixmiquilpan tomando el nombre, una vez reunidas las corrientes, de Río Moctezuma. El relleno del valle llegó a elevaciones poco superiores a 2030 metros de altura sobre el nivel del mar, nivel que permaneció estacionario en el Valle de Ixmiquilpan durante un lapso más o menos largo, permitiendo la formación de vías subterráneas de desagüe, con sus bocas situadas al nivel de esos fondos.

En una de las visitas que hice a la gruta, fui acompañado por los señores Víctor Santiago Rocha y Severiano Espinosa, miembros del Instituto de Geología, quienes hicieron el levantamiento de un croquis, así como colaboraron eficazmente en el estudio geológico, recogiendo muestras de rocas y haciendo atinadas observaciones en la gruta.

La disposición de la gruta, confirma mis observaciones en otras grutas interesantes que se encuentran en formaciones calizas, pues en esta gruta como en aquéllas, los planos estratigráficos determinan en gran parte las modalidades de la circulación del agua subterránea, razón por la

que para describir esta circulación transcribiré lo que dije respecto a las grutas que conocí en el Estado de Veracruz, que se diferencian de las de Xoxafí solamente en que su circulación es activa, mientras que la de ésta se ha clausurado:

“El estudio de la gruta de Tepelcoyunea, así como de las de Oxtotempa y Atitalaquia, revela que las vías de circulación del agua subterránea consisten en conductos tubulares situados en los planos estratigráficos, que pasan de uno a otro plano, siguiendo las grietas transversales al rumbo de las capas, hasta establecer un gran número de conductos concurrentes sobre los lechos impermeables intercalados entre las calizas, consistentes en cintas de pedernal negro, pizarras o areniscas arcillosas. Estos planos determinan una zona de acumulación temporal de los conductos, que gracias a la detención de la circulación, en los mismos, permiten la comunicación de los conductos entre sí, concentrando las aguas en unos cuantos. Cuando el lecho impermeable es destruido, el agua continúa su emigración siguiendo principalmente los planos estratigráficos y avanzando constantemente de unos a otros, hasta labrar cavernas sobre los lechos impermeables, reduciendo cada vez más el número de conductos de circulación hacia la profundidad”.

“Todas las cavernas encontradas en esta región, de la cuenca del Arroyo Tlalapan, afluente del Río Blanco, entre Vicente Guerrero, Pue. y Orizaba, Ver., tienen una íntima relación con los lechos impermeables intercalados entre las calizas, que les sirvieron primitivamente de piso, independientemente del echado de las capas, que por lo general está comprendido entre 30° y 70°, en aleros de grandes pliegues”.

“En las grutas se observa que el agua descendiendo con bastante velocidad, desarrolla un considerable trabajo mecánico que destruye los lechos impermeables, así consistan de pedernal y que siguiendo la dirección del echado, a semejanza de un líquido vertido en el alero de un tejado, establece su curso en los planos estratigráficos, como ya se ha dicho, con algunas irregularidades debidas a la adherencia de las rocas, que obligan a las aguas a desviarse en el sentido horizontal, siguiendo el rumbo de las capas, para continuar su descenso según el echado de las mismas. Las desviaciones en el sentido horizontal son muy pequeñas, en la zona de aereación y la intermedia; no así las irregularidades en el sentido vertical. Es fácil darse cuenta de que las primeras tienden a desaparecer, pues las aguas desarrollando fuerza viva y presión considerables, atacan con energía los codos y desviaciones, carcomiéndolos tam-

bién por su muy importante acción química; mientras que las segundas tienden a hacerse mayores a medida que se van desgastando y destruyendo los estratos que sirven de piso a las cavernas o guían la circulación del agua en los conductos."

"Esta continua destrucción físico-química de las superficies mojas o sean los lechos sobre los que circulan las aguas, determina en ciertos casos, la formación de grutas, preferentemente donde los echados de las capas son menores de 45°, pues mientras los techos permanecen casi fijos, los pisos descienden continuamente hasta dar gran amplitud a los conductos. Cada oquedad se vuelve también un centro de concentración de aguas subterráneas, concurriendo a ella más y más conductos de importancia diversa, hasta llegar a constituir con el tiempo, el centro de drenaje de toda la zona que puede ser afectada. La concentración de la circulación ocasiona una necesaria ampliación de los conductos que desaguan la oquedad, llegando a producirse con el tiempo una caverna formada por una serie de grutas, de una extensión que puede alcanzar varias decenas de kilómetros".

"La forma y la extensión de los conductos está determinada por la estructura de las rocas calizas, por la posición del nivel de saturación y por la naturaleza de las formaciones geológicas que atraviesan las aguas antes de penetrar en las calizas. Estas determinantes pueden originar una gruta de grandes dimensiones ligada a conductos menores; una serie de grutas formando una caverna continua o una serie de conductos más o menos irregulares, formando una red subterránea sin presencia de grandes grutas."

"En las formaciones calcáreas de gran espesor, pueden distinguirse las siguientes zonas: una superior o superficial de conductos múltiples, que dan paso inmediato a las aguas infiltradas; una intermedia con un número de conductos mucho menor, por la concurrencia de que antes se habló; y una inferior, con grandes arterias de circulación a las que concurren nuevamente numerosas vías acuíferas limitadas a esta zona".

"En la primera zona es muy frecuente encontrar grutas de poca importancia generalmente; pero que dan lugar a la pérdida de los ríos. En la segunda se localizan las grandes cavernas, que ocasionan frecuentemente desplomes de sus techos y con ellos hundimientos que se hacen patentes hasta la superficie del terreno, y acomodamientos acompañados de temblores domésticos. En la tercera zona se encuentran grutas de poca importancia, generalmente, que dan salida a caudalosas corrientes de agua que forman verdaderos ríos, resurgencias o fuentes vaclusianas".

“En nuestro país la Sierra Madre Oriental está constituida en gran parte por rocas calizas, lindando al poniente con la altiplanicie mexicana y al oriente con la planicie costera del Golfo. Estas relaciones de relieve, que dan lugar a un desnivel de más de 2000 metros entre las planicies de la Mesa Central y la costa, favorecen la circulación del agua subterránea de las primeras a la segunda, a través de las formaciones calcáreas, con la presencia de todos los fenómenos apuntados”.

“En efecto, en la porción de la altiplanicie que se encuentra en el caso enunciado, existen numerosos resumideros como los de Cedral, Mattehuala, Vallejo, Custodio, Guerrero y Guajolote, del Estado de San Luis Potosí, que reciben las aguas de arroyos de bastante importancia; los grandes resumideros del Estado de Veracruz, como el Sótano de Oxtotempa y El Boquerón de Huatusco, donde se pierde el caudaloso Río Jamapa; y hundidos de grandes proporciones como los ocupados por las lagunetas del tipo de Aljojuca, en los alrededores de San Andrés Chalchicomula, Pue. En el cuerpo de la sierra se encuentran numerosas grutas, como las de Tepelcoyunca, Atitalaquia, Oxtoc Michi, Cancalocatl y Cañada Blanca en el Estado de Veracruz; y en la vertiente exterior resurgencias tan importantes como la de Chiquihuite, a 4 Kms. al N. de Atoyac, Ver., Michapan, Atoyaquillo y Ojo de Agua Grande, también en el Estado de Veracruz”.

Atendiendo a la posición de la gruta de Xoxafí y a su altitud de 2028 mts., parece lógico asociar su formación con la circulación del agua subterránea en la época lacustre, siendo de tomarse como originarias las colinas gemelas que debieron existir, una entre Lagunilla y Yolotepec y la otra entre Yolotepec y Ocotzá, dolinas formadas durante el ciclo cárstico de circulación subterránea.

Se dice respecto al desagüe del lago, en la Memoria de la Comisión Geológica del Valle del Mezquital:

“El trabajo de los ríos y arroyos se verificó en la región, tomando como nivel de base, aquellas partes de los cursos donde era detenida temporalmente la profundización de los cauces, partes que coincidían con el afloramiento de las rocas ígneas de las montañas. Es posible señalar un nivel de base general en las cercanías de Zimapán, fuera del valle del Mezquital, que provocando un trabajo de erosión lateral, en los cursos fluviales, cortó las primeras mesetas de superficie casi horizontal a la altitud de 2,030 mts. Un nuevo descenso del nivel de base provocó el corte de la segunda serie de mesetas con sus cubiertas a 1,980 mts.

de altitud, como entre Lagunilla, Yolotepec, y el Km. 45 de la carretera México-Laredo, y en el Valle de Ixmiquilpan en El Rincón de Huadri, en el mismo Cerro Huadri donde a gran altura sobre el nivel de la planicie se encuentran unas cuantas capas de arcilla casi horizontales, en el Cerro de Cocineras donde pasa lo mismo, y al pie de la Sierra de Actopan, por el Cerro Cuxmayé y por Orizabita. Al ir bajando el nivel de base se originó, por erosión diferencial, la formación de mesetas donde se encontraban capas más duras, como ocurrió con las corrientes basálticas que constituyen la cubierta de numerosas mesas y con bancos de areniscas compactas, que suelen dar lugar a verdaderos escalones situados transversalmente a los valles y a superficies bastante regulares sobre de ellos; pero también se presentaron casos en que, donde estaba situado el cauce, aflorara la roca de un cuerpo ígneo hasta entonces cubierto por los sedimentos acuoglaciales, verificándose desde ese momento un trabajo erosivo más rápido aguas abajo de dicho afloramiento, mientras que aguas arriba hubo oportunidad del desarrollo más completo de erosión lateral. El constante ahonde del cauce produjo en estos casos profundos cortes muy estrechos como la notable abra de San Juanico, que corta como con cuchillo la sierrita de ese nombre; el abra de Maye, donde termina el profundo cañón de Alberto; y el cañón de Chicavasco, que corta la sierrita del mismo nombre. Fuera de la región, aunque interviniendo en los fenómenos erosivos de la misma, se encuentran otros profundos cortes en las barreras ígneas en las cercanías de Tasquillo”.

Cuando el nivel del agua en el antiguo lago, fué inferior al de la boca de la gruta de Xoxafí, cesó la circulación subterránea en gran parte de la misma, principiando la formación de estalactitas y estalagmitas, puesto que las corrientes de agua no impedían el depósito de los sedimentos calcáreos o los arrastraban, permitiendo la acreción de esos depósitos hasta alcanzar las proporciones que tienen actualmente en la gruta.

La circulación del agua en los fondos calizos del valle actual, puede estar en conexión con los antiguos conductos en sus partes profundas y de hecho es evidente que lo está en la parte NE. del Valle de Ixmiquilpan. En diversas ocasiones pudimos nosotros comprobar las fuertes pérdidas que por infiltración sufre la presa de Debodé, situada en calizas. La vimos casi llena en una ocasión después de lluvias excepcionales y al día siguiente el agua había bajado 4 mts. denotando la importancia de las fugas subterráneas.

LA GRUTA DE TONALTONGO

Respecto a la Gruta de Tonaltongo, el Sr. Ing. Flores, la describe con docta pluma diciendo de ella lo siguiente:

“Al NE. de El Cardonal y como a diez kilómetros en línea recta, está situada la gruta de Tonaltongo. Dos caminos conducen a ella, partiendo de El Cardonal: uno se dirige al norte para seguir después hacia el este, y el otro va casi exactamente al NE.; el primero es de largo recorrido y al segundo puede asignársele una longitud de 15 kilómetros, de los cuales los 10 primeros corresponden a un terreno casi plano, pues sus accidentes no son importantes; no así los cinco kilómetros restantes que se desarrollan en un espacio sumamente corto, pero que debido a la pendiente tan pronunciada del terreno, hay que recorrer en zig-zag, este fué el camino seguido por nosotros. La primera parte de él, o sea desde El Cardonal hasta Molanguito, atraviesa una porción del valle de San Miguel, del que ya hemos hablado; la segunda está contenida en la barranca, con un tramo en la pendiente derecha, o del E., y el resto en el fondo de la misma, donde corre el río. Al alcanzar el fondo de la barranca (casa de D. Julio Gómez), el camino va corriente arriba, hacia la gruta, como si se dirigiera uno de nuevo a Cardonal, por un trecho como de tres kilómetros. (La fotografía número 149, muestra un detalle de este camino). Durante el último tramo recorrido tuvimos que atravesar varias veces el río y ya para entrar a la gruta, donde no hay puente de ninguna clase, fué necesario despojarnos de nuestras ropas tanto para poder pasar al interior, como para estar dentro, pues allí el agua infiltrada se desprende en abundancia del techo.”

“El lugar donde se encuentra la boca de la gruta no es visible a distancia; lo único que se distingue es una barranca al parecer profunda, que va desde las faldas del cerro de San Juan, hacia el E., hasta recortar en el horizonte el perfil de una “V” gigantesca, paso que es conocido con el nombre de Barranca del Diablo (Fotografía número 139). Véase Foto Núm. 1. Esta apariencia es engañosa, pues la boca de la gruta está situada no precisamente en esta barranca, sino a un lado de ella y a una profundidad considerable, lo que hace que la barranca pierda su interés para cederlo a la gruta”.

“La topografía del lugar es impresionante, pues causa sorpresa, no sólo encontrar la gruta a esa profundidad, casi escondida y sin poderse antes sospechar su presencia (nosotros ya teníamos antecedentes),

sino que también sorprende el río que sale de ella, de una agua notablemente lechosa y azulada”.

“En el recodo O. de un gran anfiteatro y en la parte inferior de una enorme masa de travertino, está la gruta. (En la Fotografía número 144) se ve este travertino, en su porción más pintoresca, cubierta de vegetación. Véase Foto. Núm. 2. Allí no aparece la entrada, pues quedó fuera del alcance de la lente de la cámara a tres o cuatro metros abajo del extremo inferior derecho. La entrada o más bien la boca, está representada en las Fotografías números 141 y 145 (Véase Foto. Núm. 3); y el lugar elegido como entrada, por su accesibilidad, está constituido por el canal que separa las dos masas blancas de travertino derrumbadas. Traspuesta esta entrada, se llega a la primera sala, que desde luego presenta bastante interés (Fotografía número 146). Tiene una extensión máxima que puede estimarse en 20 metros y una anchura de 15 y está limitada hacia arriba por una bóveda muy irregular que en su punto más elevado tendrá unos diez metros de altura. Es hermoso el aspecto de este salón; del techo bajan dos potentes chorros, y uno por el costado Norte (Fotografía número 147), véase Foto. Núm. 4, los que semejan duchas gigantescas; los chorros se desprenden estrepitosamente con fuerte caudal y entremezclado con aire, lo que hace que al recibir la luz aparezcan no como de agua, sino como de turbulenta espuma. Una persona puede resistir solamente unos momentos el golpe de estos chorros; en cambio, es soportable el que baja por la pared norte, o sea la del frente. Al pie de los costados N. y S., pasa rumoroso el río que viene de la caverna. (En la Fotografía número 144) véase Foto. Núm. 2, aparece un pequeño socavón en cuya boca hay un grupo de miembros de la comisión. Esa obra es artificial y se dió con el intento de cortar esos dos grandes chorros para aprovechar el agua, canalizándola en la barranca, para la irrigación de terrenos; pero el intento falló, por causas fáciles de comprender y que explicaremos después”.

“Esta primera sala, por su esquina NE., se comunica con la segunda. La comunicación está constituida por una abertura de unos cinco metros de alto, y dos y medio de ancho, cuyo costado S. representa, al menos en apariencia, la pared de una grieta o respaldo, cuya orientación es de 45° NE. e inclinación de 54° al SW. El piso del segundo salón está elevado aproximadamente, un metro sobre el del primero. De esta altura se precipita la corriente que viene del interior, la que por estar encajonada adquiere fuerza, y ha excavado un profundo hoyo ocupado por un remolino difícil de franquear, pero que al fin traspusimos, después de tomar algunas precauciones. La sala está a oscuras; pero lo-

Foto. Núm. 1.—Cañón de "El Diablo" en los alrededores de la Gruta de Tonalongo, al NE. del Mineral de "El Cardonal", Estado de Hidalgo. (Foto. No. 139 del Bol. Inst. Geol. de México No. 43).

Foto. Núm. 2.—Boca de la Gruta de Tonalongo, Mun. de El Cardonal, Estado de Hidalgo. (Foto. No. 144 del Bol. Inst. Geol. de México No. 43).

gramos, a pesar del fuerte viento y obstáculos que tuvimos que vencer, llevar nuestras lámparas de acetileno, a cuya luz pudimos apreciar el interior de esta segunda sala, no menos interesante que el de la primera. Sus dimensiones son inferiores a las de la anterior, y su configuración es semicircular de N. a S. por el E. y muy irregular por el W. Aquí son cuatro las duchas que arrojan tumultuosamente su agua, ninguna verticalmente, sino inclinadas todas, como si estuvieran enclavadas en la pared sus potentes tubuladuras”.

“La caverna continúa hacia el N. ya no por una nueva sala, sino por un callejón de 4 metros de altura y 2 de ancho, que se encorva hacia el E. Y hasta allí terminó nuestra exploración, porque no pudimos franquear el nuevo paso que tiene una altura como de dos metros que no es posible alcanzar estando el cuerpo a flote en las aguas de la poza, agitadas por fuerte movimiento giratorio (segundo remolino). Hubimos de conformarnos, pues, con lo poco que alcanzamos, fué lo bastante. Recordaremos que el recorrido interior lo hicimos desnudos, porque de las grietas de la bóveda cae agua en abundancia, y así estuvimos durante largas tres horas mientras trajeron cuerdas para pasar a la segunda sala. En esta tarea nos ayudaron eficazmente algunos vecinos de Tonaltongo, cuyas casas en las cercanías probablemente no pasan actualmente de tres. El agua tiene una temperatura variable entre 36° a 37°C., que se siente muy agradable, y más lo sería si no se tuviera que soportar una fuerte corriente de aire que viene de las profundidades de la caverna”.

“El piso de las dos salas está cubierto de pequeños cascajos de caliza y lentecillas irregulares de pizarras, que la corriente ha llevado allí”.

“La gruesa masa de travertino que rodea a la gruta, es el resultado del depósito químico de los materiales disueltos que lleva el agua. Esa masa está toda atravesada por canales de variadas aberturas que arrojan agua constantemente, dándole el aspecto de una gigantesca regadera. El trayecto de cada canal es, naturalmente, muy irregular y no hay criterio seguro para conocer el curso de esos conductos, lo que explica que no haya sido fácil cortar los dos grandes surtidores de la primera sala,

* Parece ser que este nombre se debe a que fué acondicionado el manantial para baño, por el Sr. Lic. Zenil, prominente vecino y nativo de El Cardonal, quien llegó a ser Ministro de México en Austria.

Foto. Núm. 3.—Otra vista de la roca de la Gruta de Tonaltongo, Mun. de El Cardonal, Estado de Hidalgo (Foto. No. 145 del Bol. Inst. Geol. de México No. 43).

Foto. Núm. 4.—Primer salón de la Gruta de Tonaltongo, Mun. de El Cardonal, Estado de Hidalgo, (Foto. No. 147 del Bol. Inst. Geol. de México No. 43).

como se intentó hacer con el socavón de que hemos hablado. Como a unos quince metros abajo del nivel de la gruta, hay un pequeño manantial, cuyo receptáculo ha sido ensanchado y al que llaman "baño del licenciado".*

GEOLOGIA DE LA REGION

"Se analizan ahora algunos hechos geológicos que tienen relación con la gruta y su funcionamiento hidráulico".

"Observando la topografía del lugar, es fácil darse cuenta desde luego, de la intensa tectónica que conmovió a la región y dió origen a la profunda escotadura de Tonaltongo. Estos esfuerzos tectónicos, originados probablemente durante la época de los grandes movimientos orogénicos del país, trastornaron profundamente los depósitos cretácicos que formaban allí el suelo de la región, como puede observarse hoy en la disposición de las capas de caliza en la garganta del Diablo y la de las pizarras calizas y arcillosas de las cercanías. El trastorno más notable se advierte en las pizarras calizas y le sigue en importancia el de las pizarras arcillosas, habiendo sido tal vez el de las dos igualmente intenso; pero resalta en las primeras, porque están más a la vista que las segundas, las cuales constituyen la base de la formación. Un hecho muy significativo es que a pocos metros de la gruta aparecen las calizas descansando en estratificación discordante sobre las pizarras arcillosas, cuya orientación general es allí de E. a W., siendo sus echados casi verticales. La barranca, en corte, desde su lecho hasta Molanguito, punto elevado que se encuentra, como ya dijimos, en el camino a la gruta, tiene una profundidad de cerca de 600 metros, estando constituidas las paredes de esta profunda escotadura por calizas, casi en su totalidad. Algunas pizarras del fondo de la barranca tienen 49° a 61° SE. de rumbo, y echado de 65° a 70° al NE. Esta posición de las capas de las pizarras constituye un dato para conjeturar con alguna base, el trayecto probable y el origen de las aguas que salen por la gruta. En efecto, recordaremos la situación del valle de Actopan, respecto de la gruta y tendremos en cuenta los datos que le son relativos acerca de su hidrología, precipitación pluvial para este valle, el de 251 milímetros que corresponde al de Ixmiquilpan, que bien puede aplicarse al de Actopan por estar ambos valles en condiciones climáticas muy semejantes, y anticiparemos como dato interesante para la hidrología de este valle, por la importancia que puede tener para el estudio de la circulación del agua de la gruta, el

siguiente párrafo relativo a las aguas subterráneas del valle de Actopan, contenido en el estudio hidrológico antes citado”.

“...El agua de los 2,000 kilómetros cuadrados del rumbo de Actopan, no escurre en la superficie hacia Ixmiquilpan, sino sólo en casos excepcionales; la que no se evapora, y la que no gastan las plantas en su alimentación, se convierte en agua subterránea en ese mismo valle, y al escurrir, siguiendo la dirección de las corrientes superficiales, se encuentra el macizo de rocas calizas del Cretácico medio, cavernosas y fracturadas entre las que circula fácilmente por grietas y cavernas hacia el NE. o sea el Río Amajac. Si pues existe esa salida de las aguas subterráneas de dicho valle y si se considera, además, la situación del mismo, al SE. de Tonaltongo, es decir, según la dirección general de los estratos de caliza y de pizarras arcillosas y se tiene en cuenta también su nivel o altura media, mucho más elevado que el de la boca de la gruta, puede con grandes probabilidades, atribuirse cuando menos en parte, ese origen a las aguas que salen por la gruta. Un hecho que apoya esta hipótesis es la existencia en el macizo de Cushmayé, de una caverna de extensión desconocida; pero que muestra la posibilidad del paso subterráneo a través de los macizos calizos, cuyas capas, debido a su naturaleza cavernosa, inclinación y rumbo general, pueden servir de otros tantos conductos a favor de los cuales se realice la circulación subterránea de esas aguas”.

“El valle de Ixmiquilpan tiene un nivel más bajo que el de Actopan (1,715 metros), y son conocidas algunas de las salidas de sus aguas subterráneas, existiendo además, la posibilidad de que algún dique derivado de los macizos ígneos del Roqui y Santuario, constituya una barrera que impida a sus aguas caminar al E. Como fundamento o posibilidad de esta idea, mencionaremos el dique que aparece en puerto de Buena Vista, a 3 kilómetros al N. de El Cardonal”.

“A las aguas que se recogen en el valle de Actopan, creemos que deben agregarse en corta proporción, parte de las que bajan al NE. de la cadena que hemos señalado entre Chichimequilla y el Cerro del Fraile. Estas aguas atraviesan el suelo, debido a la permeabilidad en grande de las calizas que se presentan en gruesos bancos, pasan también a las calizas que aparecen en lechos delgados, menos permeables y llegan a las pizarras arcillosas, impermeables, por las que corren, siguiendo la dirección de ellas (en nuestro caso de W. a E.) y encuentran su salida a través de la gruta de Tonaltongo. Forzadas las aguas a seguir el curso

indicado, fueron ensanchando paulatinamente su camino, primero por simple solución química y después por solución química y erosión mecánica, puesto que con el tiempo iba aumentando el caudal, hasta haber originado así la caverna. Es bien conocido el fenómeno de la formación de cavernas en las calizas, para que aquí insistamos en su explicación. Este estudio especial pertenece a la nueva rama de la ciencia geológica llamada Espeleología. En el caso que nos ocupa debemos hacer resaltar el hecho de una comunicación que la gruta debe tener con el exterior de alguna parte de su curso, que no conocemos; pero cuya existencia puede preverse por la fuerte corriente de aire que viene del interior y que debe formarse como resultado de una diferencia notable de temperaturas entre el exterior, frío, y en el fondo de la barranca muy caliente."

"La cantidad de agua que sale de la gruta, medida toscamente, resultó ser de unos 2.5 metros cúbicos por segundo, la que, calculada a razón de 251 milímetros de precipitación pluvial al año (según supusimos antes para el valle de Actopan), y de un 33% de esa cifra para el agua convertida en subterránea, requeriría, por lo menos, una superficie de 1,000 kilómetros cuadrados, superficie que puede tomarse principalmente del valle de Actopan, del de San Miguel (de éste, sobre todo la parte donde se asienta la hacienda de La Florida) y, como dijimos, de una parte pequeña de las aguas que bajan por el NE., de las montañas que bordean al oriente al valle de Actopan."

"La temperatura a que sale el agua pudiera ser causada como sigue: hemos dicho ya que alcanza un máximo de 37° C., y esta cifra se refiere al caudal principal; no haremos caso de las pequeñas corrientes secundarias ni del manantial del Licenciado, porque la cantidad de agua que llevan es muy corta, derivada de la principal y enfriada al contacto del travertino poroso que las envuelve. La temperatura de 37°C., corresponde a aguas termales (la fuente de Amajac es termal, caliente), y se debe a esto: el desnivel entre el origen de las aguas y su salida es de 600 metros, en números redondos. La temperatura media en el exterior es de 20° C., esto es, el agua al penetrar en el terreno, lleva esa temperatura que va aumentando con la profundidad en la relación admitida de 1° C., por cada 30 metros, descontando, por supuesto, la pequeña profundidad a la que es sensible todavía la radiación solar, que en nuestro caso despreciaremos, dado el grado de aproximación con que asentamos el número de 600 metros. Este aumento hace que el agua debiera tener a su salida $600 \div 30 + 20^\circ = 40^\circ$, que no alcanza, seguramente por la

corriente de aire que la acompaña y debe quitarle algunos grados. La profundidad a la que brota y los elementos que entran en la composición de ella, alejan toda sospecha de otro origen de esta temperatura."

"La radioactividad del agua, determinada en el Laboratorio de Química del Instituto por el señor profesor Castro, resultó ser de 0.0856 unidades absolutas. Esta cifra no nos representa la radioactividad que posee el agua a su salida del manantial, sino después de 100 horas que transcurrieron desde que se tomó la muestra hasta su llegada al laboratorio, por lo tanto tiene que ser esa cifra mayor y se refiere exclusivamente a emanación de radio, ya que no se hizo un análisis especial para determinar la proporción de sales de radio disueltas. Aunque esta agua no tiene muchos gases en disolución, pues su curso muy agitado y turbulento le impide retenerlos, esos pocos gases, al desprenderse también con emanaciones de radio, deben haber hecho bajar la radioactividad de la muestra de agua recogida. Debemos advertir que la cifra consignada está multiplicada por 1,000 como se acostumbra hacer siempre que es muy pequeña. Una unidad absoluta de radioactividad equivale a 300 volts y se refiere a un litro de agua y a una hora. También se acostumbra expresar esta cantidad en "curies"*, siendo un "curie" la cantidad de emanación de radio en equilibrio con un gramo de este elemento, cifra que resulta comparativamente muy elevada, por lo que se le reduce expresándola en millonésimas de millonésima de "curie". Hemos elegido el otro método por ser más cómodo. En vista de la cantidad probable de sales de radio y de las propiedades de las mismas, se puede asegurar que la radioactividad en las aguas de Tonaltongo es temporal, esto es, la emanación va disminuyendo paulatinamente hasta desaparecer. Esto tiene interés si se tratara de explotar esa agua con propósitos terapéuticos o industriales, para lo que sería necesario envasarla y transportarla, disminuyendo o perdiéndose entonces enteramente sus propiedades radioactivas; en cambio para el establecimiento de "emanatorios" o "inhalatorios" de radioactividad en la misma fuente, al estilo de algunos balnearios europeos de naturaleza análoga, la radioactividad de estas aguas es importante."

"El análisis del agua, practicado en el Laboratorio del Instituto Geológico por el citado señor profesor Carlos Castro, es el siguiente:

* En honor de los esposos Curie, quienes descubrieron y estudiaron por primera vez el radio.

MUESTRA DE AGUA PROCEDENTE DE LA GRUTA DE TONALTONGO
MUNICIPIO DE EL CARDONAL, ESTADO DE HIDALGO

Análisis número 90

Cl	0.047 grs. por litro.
SO ₄	0.069 " " "
CO ₃	0.210 " " "
NO ₃	0.004 " " "
Fe + Al	0.008 " " "
SiO ₂	0.046 " " "
Ca	0.080 " " "
Mg	0.036 " " "
K	0.025 " " "
Na	0.031 " " "
Li	0.009 " " "
	<u>0.565</u>

Con estos datos arreglamos la tabla siguiente, según el método de Chase Palmar que ya mencionamos:

Radiactividad	0.0856 unidades absolutas por litro.
Materia orgánica	0.007 grs. por litro.
Residuo a 110° C.	0.552 " " "

ANÁLISIS DE AGUA PROCEDENTE DE LA GRUTA DE TONALTONGO, MUNICIPIO DE EL CARDONAL, ESTADO DE HIDALGO				
Constituyentes	Partes por millón	Total de materia inorgánica en solución %	Capacidad de reacción	Capacidad de reacción %
Acido sulfúrico (SO_4).	69	12.21	1.44	7.33
Acido carbónico (CO_3).	210	37.18	6.99	35.59
Acido nítrico (NO_3).	4	0.71	0.06	0.31
Cloro (Cl).	47	8.32	1.33	6.77
			9.82	50.00
Fierro y aluminio (Fe + Al).	8	1.42		
Sílice (SiO_2).	46	8.15		
Calcio (Ca).	80	14.16	3.99	19.50
Magnesio (Mg).	36	6.37	2.96	14.47
Potasio (K).	25	4.43	0.64	3.13
Sodio (Na).	31	5.45	1.35	6.60
Litio (Li).	9	1.60	1.29	6.30
Total:	565	100.00	10.23	50.00

Por el resultado del análisis anterior puede asignarse al agua procedente de este manantial, los siguientes caracteres:

28.82 por ciento de salinidad primaria
 2.24 " " " alcalinidad primaria
 67.94 " " " alcalinidad secundaria."

"Es, por lo tanto, de dureza temporal, propiedad correspondiente al tanto por ciento tan elevado de su alcalinidad secundaria, o sea, a la proporción de compuestos formados por la combinación de ácidos débiles (carbónico en nuestro caso, con las bases alcalinoterrosas (calcio y

magnesio). De acuerdo con las ideas de Haywood, podemos clasificar esta agua como alcalina—salina—cálcica—magnésica—carbonatada.

“Considerada como agua mineral, puede decirse que es potable. En las cercanías de la gruta, los pocos habitantes que hay por allí la emplean en los usos domésticos y para el riego de terrenos. Antes de que se despoblara el Mineral de “El Cardonal”, los vecinos de este lugar hacían frecuentes visitas a estos baños, cuyas aguas sin duda poseen propiedades curativas, tanto por las sales que tienen en solución, como por la radioactividad de ellas; actualmente es escasa la gente que las visita, quizá debido a su lejanía. Se nos informó que en algún tiempo hubo establecido allí un balneario, aunque muy rudimentario.”

“Por la importancia de esta fuente y la belleza del lugar, creemos que pudiera establecerse un balneario en forma, para lo cual había que contar, en primer lugar, con facilidades de comunicación.”

“La barranca de Tonalongo es feraz, sus productos son tropicales y es muy pintoresca.”

“También nos llegaron vagos informes de que se intenta canalizar el agua de la gruta llevándola por la barranca en un trecho largo hasta cerca de su reunión con el Amajac, con el objeto de aprovechar su caída en la producción de energía eléctrica. Sea como fuere, nos parece que esta fuente tiene reservado un porvenir halagüeño.”

BIBLIOGRAFIA

Flores, Teodoro (1924).—Estudio geológico de la zona minera comprendida entre los Minerales de Atotonilco el Chico y Zimapán, Hidalgo: México, Inst. Geol., Bol. 43, pp. 45-52.

Instituto Geológico de México (1938).—Memoria de la Comisión Geológica del Valle del Mezquital, Hidalgo, pp. 54-59.

Paredes, T. (1909).—Estudio hidrológico del Valle de Ixmiquilpan, Hidalgo. México, Pareg. Tomo III, No. 3, pp. 141-172.