

PRECISIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS MACIZOS CALCÁREOS:

EL DOCTOR-SAN JOAQUÍN, EN LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO

DETAILS ON THE HYDROCHEMICAL BEHAVIOR OF GROUNDWATER IN THE LIMESTONE MASSIF: EL DOCTOR- SAN JOAQUIN, IN THE SIERRA GORDA OF QUERÉTARO.

GILBERTO
LEDESMA LEDESMA
Colegio de Bachilleres,
Plantel No. 13

El agua es una necesidad fundamental para el desarrollo de cualquier población. La vida de las comunidades no puede existir sin el abastecimiento de agua. Así, el abasto y uso adecuado del agua es esencial para cualquier civilización. El crecimiento de la población y la elevación continua del nivel de vida hacen que el agua aparezca como un elemento indispensable a la vida y en las regiones marginadas como un factor limitativo del progreso de la civilización moderna.

El tema del agua siempre será de vital importancia, sobre todo cuando los asentamientos humanos cada día son mayores y las grandes urbes requieren de mayores cantidades de agua. Es un problema de todos.

Es por ello que ante un panorama no muy claro, es de vital importancia fomentar el estudio de este recurso, así como también, buscar alternativas para su máximo cuidado. En ese sentido, el presente trabajo, es una contribución al fomento del estudio y preservación de éste vital líquido.

En el Estado de Querétaro, dadas las condiciones geográficas formamos parte de dos cuencas importantes: La parte norte del estado entrega sus aguas a la cuenca del Río Pánuco, y

RESUMEN

El trabajo muestra en general una caracterización físico-química del agua de la zona El Doctor- San Joaquín; dos macizos calcáreos ubicados a unos 100 km al NE de la Ciudad de Querétaro en la Sierra Gorda, formando parte de la micro cuenca de los ríos Extoráz-Moctezuma. Se realizaron monitoreos y análisis en las principales surgencias o manantiales de la zona, utilizando para ello, técnicas a nivel micro-escala, en la determinación de los principales parámetros físico-químicos de estas aguas naturales (conductividad eléctrica, pH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SDT, Dureza total). Con las observaciones realizadas durante exploraciones espeleológicas en la zona, tratar de establecer una posible trayectoria de aguas subterráneas. El presente trabajo muestra también, los resultados obtenidos de un ensayo de trazado de agua subterránea en una de las cavidades localizada al extremo NW del macizo San Joaquín (Cueva del Agua) y su conexión con el manantial El Higuérón, localizado en la comunidad de Rancho Quemado, Cadereyta.

Palabras clave: Agua subterránea, macizos calcáreos, karts, caracterización físico-química, técnicas a micro-escala, trazadores de agua subterránea.

ABSTRACT

In general the investigation shows a physical-chemical characterization of de water from "El Doctor-San Joaquín" area; two karstic formations located approximately 100 km NE from Querétaro city in Sierra Gorda, forming part of the micro-river basin of the rivers Extoráz-Moctezuma. Monitorings and analysis were done on the principal springs of the area, using for the purpose micro-scaled techniques in determining the principal physical-chemical parameters for the natural waters: conductivity, p H, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{Na} + \text{K}^+$, total hardness). Experiments we've carried out during the speleological explorations in the area, try to establish a possible course of underground waters. The present investigation also shows the results obtained from a test of tracing underground waters in one of the cavities of the area (Cueva del Agua) and its conection to the spring "El Higueron", at Rancho Quemado in the Cadereyta country.

Key words: Underground water, limentone, karstic, phys-ic-chemical characterization, mico-scale techincs, underground water tracers.

la parte sur a la cuenca del Río Lerma. Esta situación Geográfica divide al estado en dos zonas geológicas: La parte norte o Sierra Gorda, formada en su totalidad por rocas calizas y la parte sur por rocas “recientes” de origen volcánico. Esta diferencia geológica tiene una directa repercusión en el abastecimiento del agua. Mientras que en la parte sur se depende en su totalidad de agua subterránea extraída mediante perforación de pozos. La parte norte o Sierra Gorda, en su totalidad depende del abastecimiento de agua subterránea a partir de MANANTIALES.

Definitivamente, los manantiales deberán ser tratados en los siguientes años con el máximo cuidado para su uso y preservación.

En un futuro no muy lejano, los manantiales serán lugares estratégicos sin lugar a duda, de ahí la importancia de cuidarlos y sobre todo a través de una investigación sistemática poder entender cual es su origen, para que de esta forma también sean cuidadas las zonas de recarga de estos manantiales.

El presente trabajo trata de establecer una caracterización química del agua de esta región del Estado de Querétaro, así como también de es-

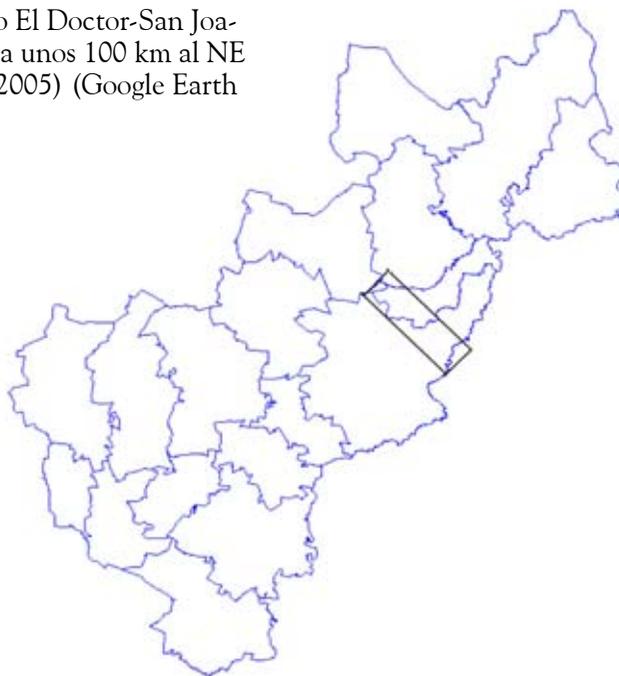
tablecer, posibles trayectorias del curso de aguas que a través de los años han formado un sin número de cavidades en el subsuelo de esta región serrana.

Geología de la zona

En 1848 el químico y explorador inglés John Phillips escribió: “...El Distrito del Doctor (incluyendo el área de San Joaquín)...cuyas montañas forman parte de la Sierra Madre es uno de los lugares mas extraordinarios e inaccesibles de México...”

En 1872 Mariano Barcena fundador del Observatorio Meteorológico de México y socio honorario de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística escribió en sus “Memorias”, resultado del recorrido que hiciera por la Sierra Gorda de Querétaro: “...resolví dirigirme al Estado de Querétaro, cuya determinación me congratulo, por haber encontrado allí una generosa hospitalidad de sus habitantes, así como un excelente campo de observaciones, al grado de que puede considerarse el terreno explorado, como un gabinete que nos ha presentado una gran variedad de ejemplares colocados en las circunstancias más interesantes y acaso las más difíciles para el estudio de la Geología...” (Fig. 1)

Fig.1 Localización de la zona de estudio El Doctor-San Joaquín, en la Sierra Gorda de Querétaro a unos 100 km al NE de la ciudad de Querétaro. (SEDESU-2005) (Google Earth 2008) (EXCAV-2008)



PRECISIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS MACIZOS CALCÁREOS

Las rocas más antiguas del territorio queretano, están presentes en la región norte de la entidad, se originaron en el Jurásico Superior (entre 195 y 170 millones de años atrás), a partir de depósitos o sedimentos submarinos, así como de arena y arcilla llevadas por ríos hasta un mar poco profundo que abarcaba todo lo que hoy es la superficie del estado (Js).

Las capas de material, que frecuentemente contenían conchas y otros restos duros de animales marinos, se fueron endureciendo o conso-

lidando para formar rocas sedimentarias: calizas, lutitas y areniscas. Este proceso continuó hasta el final del período Cretácico (hace 65 millones de años).

Después, estas capas de roca se fueron plegando por efecto de presiones en la corteza terrestre, para formar las elevaciones de la Sierra Gorda y toda la Sierra Madre Oriental. En algunos casos los plegamientos son muy intensos y las rocas presentan múltiples fallas y fracturas. (Fig. 2)



Fig. 2 Estratigrafía o corte geológico de la zona con dirección SE-NW. Elaborado por Carrillo-Martínez. Kid-kita (Formación el Doctor-Abra), Jkit (Formación Trancas), Kit (Formación Tamaulipas)

Kss (Formación Soyatal). (Miguel Carrillo-Martínez, hoja Zimapán 14Q-c(7). (EXCAV-2008)

Sierra del Doctor

Es una gran altiplanicie calcárea de unos 300 km² que presenta gran desarrollo del karst. Sus límites son: al norte con el gran escarpe que colinda con el macizo San Joaquín, limitado por El Arroyo de la Orduña, al Sur por el Río Moctezuma, al Este por el Río Moctezuma y al Oeste por el Valle de Vizarrón.

La cima más alta es la cumbre de El Espolón con sus 3250 msnm, la hace ser la más alta de la Sierra Gorda. El punto más bajo, esta localizado hacia el Este, sobre el Río Moctezuma a unos 1140 msnm.

La mesa del Doctor fue formada por un largo anticlinal constituido principalmente por rocas calizas del cretácico inferior (Ki) de la formación El Abra. En el flanco occidental aflora la formación Soyatal del cretácico superior (Ks). En el flanco nororiental se desarrolló una falla inversa dando lugar a la llamada cabalgadura del Doctor;

esta cabalgadura invierte la secuencia cretácica al encimarse la formación el Abra del Cretácico Inferior (KI) sobre la formación Soyatal del cretácico superior (Ks)

Macizo Calcáreo San Joaquín

Esta altiplanicie con más de 700 km², esta limitada al norte por el Río Extoráz, al sur por la Sierra del Doctor y por el Río Moctezuma, al este por el Río Moctezuma y al oeste por la Sierra del Doctor. Presenta en general muchas fracturas y pliegues estructurales con desniveles muy pronunciados, que van desde los 2800 msnm hasta casi los 600 msnm en la unión de los ríos: Extoráz y Moctezuma

Esta altiplanicie fue originada por dos importantes estructuras geológicas: el anticlinal Piñón y el anticlinal Bonanza, que se encuentran flanqueadas por dos cabalgaduras (la del Doctor y el Fraile).

En el macizo San Joaquín, predominan rocas calizas del cretácico inferior (Ki), (Albiano-Cenomaniano), representadas por estratos de roca caliza de cuenca color gris oscuro, compacta de estratificación gruesa; presentándose en algunas zonas estratos de caliza de hasta tres metros y que contienen abundantes nódulos y franjas de pedernal (Foto 3)

Correspondiente al periodo Cretácico Inferior (Ki), que está representado por calizas de grandes espesores de color gris a oscuro, bien estratificadas y conteniendo nódulos y lentes de pedernal negro, con algunas intercalaciones de lutitas calcáreas. Morfológicamente esta formación está representada por montañas de cantiles verticales, cortadas por cañones algo profundos.

Para fijar la edad de éstas rocas y por tanto hacer un aproximado en relación a la edad que tiene la zona del Doctor y San Joaquín, se han tomado como base los estudios de fósiles marinos localizados desde 1872 con Mariano Barcena. La presencia de *rudistas*, y *gasterópodos* del grupo *Acteonella* han permitido fijar la edad de estas calizas, que van desde los 120 a 70 millones de años. (Foto4)



Foto 4 Fósil de *Nerinea*, característico de las calizas y mármoles de la Sierra de El Doctor y San Joaquín
(EXCAV-2007)

Karstificación de la zona

El término Karst, karstico o karso en el sentido general incluye todas las estructuras o texturas producidas durante o posteriormente a la disolución química de una secuencia carbonatada e incluye todas las modificaciones asociadas a la disolución superficiales o en el subsuelo.

El grado de karstificación y la gran variedad de estructuras karsticas (endokarst o exokarst) son el resultado de factores intrínsecos (clima, relieve, vegetación, tiempo) y factores intrínsecos (litología, estructura y estratigrafía)

Si bien la profusa vegetación forma espesos suelos, que hacen que los procesos de karstificación sean algo evidentes en el exterior (endokarst); una vez en el subsuelo de la zona en estudio, la importante recarga hídrica, hace que el karst interno o endokarst este muy desarrollado; además las aguas son muy agresivas, por efecto de la abundante vegetación, que hace que el contenido de gas carbónico aumente y por lo tanto, existan un sin numero de cavidades en esta zona del Estado de Querétaro (Foto 2).



Foto 2. El clima, la vegetación, la litología y estratigrafía de la zona ha propiciado el desarrollo de un exokarst y un endokarst que ha dado lugar a un sin número de cavidades en las calizas de la Sierra del Doctor y San Joaquín
(En la gráfica: Sotanito de Los Lirios, Cueva del Nuevo San Joaquín) (EXCAV-2008)

Estas numerosas cavernas, desarrolladas a través de las fisuras y grietas de las rocas calizas de la formación El Doctor y El Abra (Ki), sin lugar a duda, prosperan hacia la zona profunda, contribuyendo a través de la unión de posibles caudales subterráneos de diferentes procedencias a la formación de drenajes profundos de agua subterránea en la zona y con ello la existencia de varias surgencias de agua y manantiales; algunos de ellos de suma importancia para la región.

Si la lluvia cae sobre un terreno permeable como las calizas karstificadas, una parte de esta agua se infiltrará y saldrá al exterior por medio de surgencias. Así pues, un macizo calcáreo karstificado, como lo es El Doctor-San Joaquín, es un sistema preparado fundamentalmente para la filtración. Campos de lapiaz, dolinas y sumideros se encargarán de transmitir el agua de lluvia al subsuelo, ya que es notoria la falta de cursos superficiales en estos terrenos. Así a través de sumideros, fisuras, grietas, diaclasas y fallas; el agua podrá irse filtrando poco a poco en estos macizos calcáreos. (Foto 3)



Foto 3. Movimiento de aguas subterráneas a través de grandes grietas y fisuras en el macizo calcáreo de San Joaquín. Gruta de Los Herrera y Cueva del Agua. (EXCAV-2007)

Precipitaciones Pluviales en la zona

El estado de Querétaro se localiza dentro de la zona tropical, influenciado por los vientos húmedos del Golfo. La Sierra Gorda, por su altitud y orientación, obstaculiza el paso de estas corrientes, originando precipitaciones en la vertiente oriental, lo que provoca, que los vientos secos absorban la humedad en la vertiente interior, creando condiciones de sequedad en la zona.

En la región serrana, encontramos alturas que van desde los 300 msnm hasta condiciones de montaña por arriba de los 3000 msnm, esto aunado a la humedad atmosférica y a la temperatura entre otros factores, da lugar a fenómenos meteorológicos un tanto complejos.

En los macizos el Doctor-San Joaquín, cuyas altitudes medias oscilan entre los 1900 msnm y por arriba de los 2500 msnm, se presentan precipitaciones anuales que fluctúan entre los 800 y mil milímetros, con una temperatura media anual de 13 a 15 °C.

Con los datos proporcionados por la estación climatológica El Doctor, (Fig. 3) durante 2007, se registraron cerca de 1132 milímetros de precipitación pluvial anual.

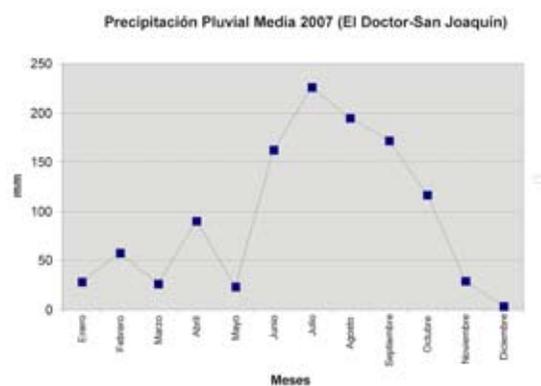


Fig. 4 Precipitaciones pluviales en la zona durante 2007.

Estación climatológica de El Doctor (B. Velásquez).

Caracterización Físico-Química de las aguas subterráneas en estos dos macizos calcáreos: El Doctor-San Joaquín

Con todo lo aquí expuesto hasta el momento, estamos en posibilidad de dar una precisión sobre la características que tendrán esta agua subterráneas, sobre todo tomando en cuenta en primer término la geología de la zona. Estamos hablando entonces de aguas subterráneas que tendrán un contacto directo con rocas calizas de Jurásico Superior (Js)- Cretácico Inferior (Ki) y Cretácico Superior (Ks) y por lo tanto estar en posibilidad de hablar de aguas subterráneas con

un contenido elevado de Calcio y Bicarbonatos.

Para el presente trabajo fueron muestreados algunos de los manantiales o surgencias más importantes de la zona, así como también, el muestreo de algunas aguas al interior de algunas cavernas de la zona en estudio y muestras del goteo de espeleotemas (estalactitas) de cavidades que son representativas de la zona de San Joaquín. En total se tomaron 10 muestras, desde manantiales localizados a más de 2500 msnm (Sierra del Doctor) hasta surgencias localizadas muy cerca del Río Extoráz sobre los 1200msnm. (Fig. 4)

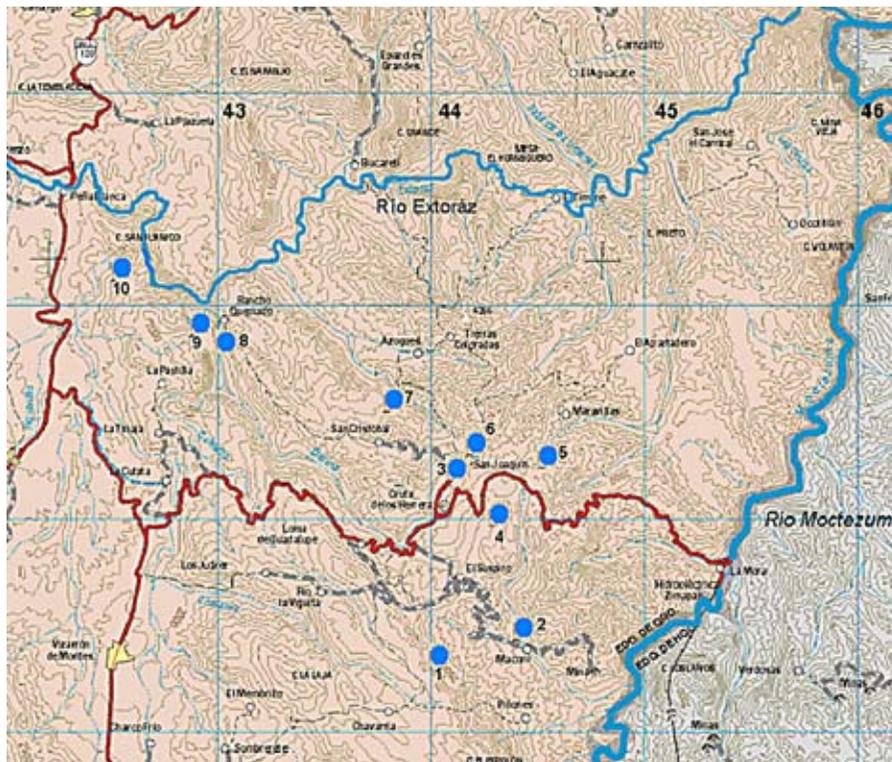


Fig. 4 Ubicación de los 10 manantiales muestreados en los macizos: El Doctor-San Joaquín. 1:250000 INEGI

Las muestras fueron georeferenciadas utilizando GPS Magellan, referidas al Huso 14Q, y calculadas a partir del Datum NAD 27 México.

El primer muestreo se llevó a cabo el 12 de Octubre de 2007 y el segundo muestreo el día 10 de Noviembre de 2007.

La tabla 1, muestra la ubicación de cada uno

de los manantiales muestreados. Las muestras fueron georeferenciadas utilizando GPS Magellan, referidas al Huso 14Q, y calculadas a partir del Datum NAD 27 México.

La colecta de muestras de agua se inició en el manantial "El Sarro" (Foto 4) en la Sierra del Doctor, localizado a más de 2500 msnm. El segundo muestreo fue realizado en el manantial

PRECISIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LOS MACIZOS CALCÁREOS

de Maconí. Posteriormente los muestreos fueron realizados en el macizo San Joaquín, en algunas surgencias importantes así como al interior de algunas cavernas, hasta llegar a la cota de los 1200 msnm muy cerca del Río Extoráz en el manantial conocido como “El Oasis”. Para este proyecto fueron realizados dos muestreos, el primero llevado

a cabo el día 12 de Octubre de 2007 y el segundo el día 10 de Noviembre de 2007. Esto a efecto de tener un promedio para los análisis químicos y sobre todo tener un espacio de un mes entre los dos muestreos, considerando que son los meses en donde se ha tenido la mayor acumulación de precipitaciones pluviales.

Muestra	Nombre	Coordenadas UTM	Altitud (msnm)
1	Manantial “El Sarro”	14 440 119 E 230 3298 N	2534
2	Manantial “Maconí”	14440119 E 2304296 N	1860
3	San Joaquín	14441225E 2312807N	2435
4	Cueva “El Salto”	14 442 703 E 231 0734 N	2430
5	Goteo de Estalactita	14 442 440 E 231 2073 N	2390
6	Manantial “El Viejo”	14 441 879 E 231 3140 N	2360
7	Manantial “La Huerta”	14 436 188 E 231 6137 N	1650
8	Cueva del Agua	14 430 035 E 231 9600 N	1320
9	Manantial “El Higuierón”	14 429 818 E 231 9816 N	1157
10	Manantial “El Oasis”	14 426 637 E 232 2138 N	1200

Tabla 1. Ubicación de los principales manantiales y otros puntos de muestreo de la zona del Doctor y San Joaquín. (Octubre-Noviembre de 2007. EXCAV-COBAQ 13)



Foto 4 Muestreo del manantial “El Sarro” (1), localizado a más de 2500 msnm. Considerado el manantial con mayor altitud en la zona de estudio. EXCAV-COBAQ 13 (2007)

En el macizo San Joaquín la muestra 3 corresponde a una toma domiciliaria en el centro de la cabecera municipal. En esa misma zona la muestra 4, es de un flujo de agua subterránea localizado dentro de la cueva “El Salto” a más de 100 m de profundidad. Es un caudal considerable 15-20 litros/s durante todo el año. El acceso a esta muestra es muy complicado, ya que las condiciones de la cueva en términos de espeleología son difíciles.



Foto 5 Muestreo de agua de goteo de una estalactita en el interior de la Cueva El Nuevo San Joaquín. (EXCAV-2008)

El manantial el Viejo, está localizado muy cerca de la cabecera municipal de San Joaquín y es parte de la micro-cuenca que comunica El Arroyo Trincheras – Gatos con el Extoráz.

El manantial La Huerta (7) localizado en la comunidad de Gatos, es un manantial de gran importancia dado que ha sido una fuente de agua que ha abastecido de agua a esta comunidad por muchos años.

La muestra 8 fue colectada en el flujo de agua subterránea localizada en el interior de la Cueva del Agua, explorada en Junio de 2005. Este caudal se mantiene dentro del orden de los 25-80 litros/s durante todo el año.

Manantial El Higuerrón (9) localizado en la comunidad de Rancho Quemado es otro de los manantiales importantes de la zona, ya que abastece de agua a la comunidad desde hace muchos años. El presente trabajo, muestra el resultado de un estudio de trazado de agua, para comprobar

la posible conexión entre el agua localizada en el interior de la cueva del agua y éste manantial.

La muestra 10 corresponde al manantial El Oasis, localizado en la comunidad de la Higuera, Peñamiller. Este manantial, es uno de los principales afluentes del Río Extoráz en esa zona.

Análisis de Agua y resultados

Las muestras colectadas de agua de los diversos puntos tomados para el presente trabajo, fueron analizadas antes de 24 horas después de la colecta. Se utilizaron técnicas a Microescala con la finalidad de utilizar menor cantidad de muestra y reactivos.

Las pruebas de Temperatura, Sólidos Disueltos Totales y p H, fueron realizados en el lugar del muestreo. Los parámetros químicos por analizar, dado que se tratan de aguas dulces fueron: Alcalinidad, Dureza Total, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Cloruros y Sodio + Potasio.

La alcalinidad fue determinada por titulación, utilizando H_2SO_4 0.02N y naranja de metilo como indicador.

La dureza total y calcio, fueron determinadas por el método de titulación con EDTA 0.01M, utilizando Negro de Eriocromo T como indicador para la dureza y murexida para el Calcio. El Magnesio fue determinado por diferencia entre dureza y calcio.

Los sulfatos fueron determinados por método turbidimétrico, utilizando $BaCl_2$ como precipitante.

Los cloruros por titulación con nitrato de mercurio (II), utilizando como indicador: difenilcarbazona.

El Sodio + Potasio fue calculados a partir de la diferencia entre los mili equivalentes de aniones y cationes (Fagundo Castillo 1996)

Los análisis son presentados en la Tabla 2.

Los resultados de los análisis fueron tratados con el programa AQQA de la Rock Ware Since 1983, para la elaboración de los diagramas de Schoeller, Piper y Durov. (Figs. 6 y 7)

Tabla 2. Físico-Química de las aguas subterráneas de los macizos calcáreos de: El Doctor-San Joaquín, en la Sierra Gorda de Querétaro (Sep-Nov de 2007) (EXCAV-COBAQ 13).

Muestra	T°C	pH	Ca ⁺²		Mg ⁺²		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		Na + K	SDT
			mg /L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	meq/L	mg/L
Manantial "El Sarro"	16	7.5	77.48	3.87	14.57	1.19	264.96	4.34	59.0	1.23	2.0	0.056	0.566	238
Manantial "Maconí"	20	7.3	81.49	4.06	8.91	0.73	216.6	3.55	60	1.24	2	0.056	0.056	297
San Joaquín	17	8.0	52.10	2.59	9.96	0.819	187.7	3.07	24.3	0.50	1.7	0.047	0.221	222
Cueva "El Salto"	15	8.1	60.12	3.00	11.3	0.93	218.3	3.57	20	0.416	2	0.056	0.112	212
Goteo de Estalactita	15	8.1	94.18	4.70	10.52	0.86	273.3	4.47	59	1.23	2	0.056	0.186	302
Manantial "Agua del Viejo"	16	7.1	83.5	4.16	10.51	0.86	244.9	4.01	51	1.06	3.5	0.098	0.142	277
Manantial "La Huerta"	17	8.1	89.5	4.47	2.43	0.2	263.3	4.31	27	0.56	3.0	0.084	0.284	264
Cueva del Agua	23	7.3	86.84	4.33	6.84	0.56	250	4.09	28.6	0.59	8.5	0.239	0.932	228
Manantial "El Higuero"	21	7.2	90.84	4.53	5.85	0.12	253.3	4.15	25.5	0.53	8.4	0.236	0.81	272
Manantial "El Oasis"	21	7.1	82.2	4.11	2.44	0.2	250.0	4.09	20.0	0.416	2.0	0.056	0.252	260

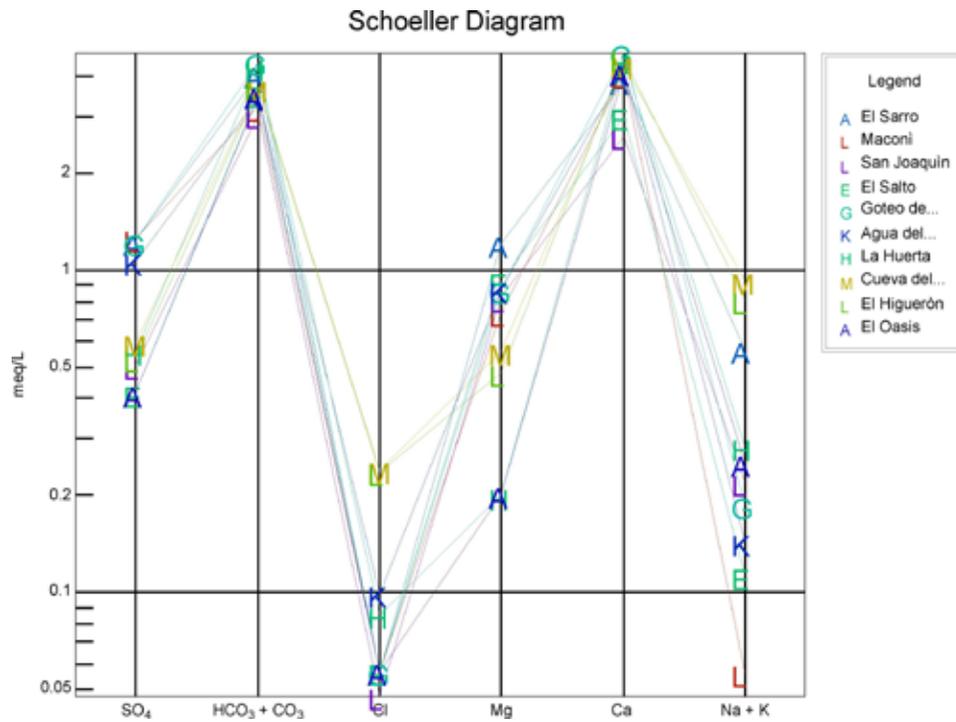


Fig. 6 Representación de Schoeller para las diez muestras de agua subterránea, representativas del Área El Doctor- San Joaquín. Octubre-Noviembre 2007 (EXCAV-COBAQ 13)

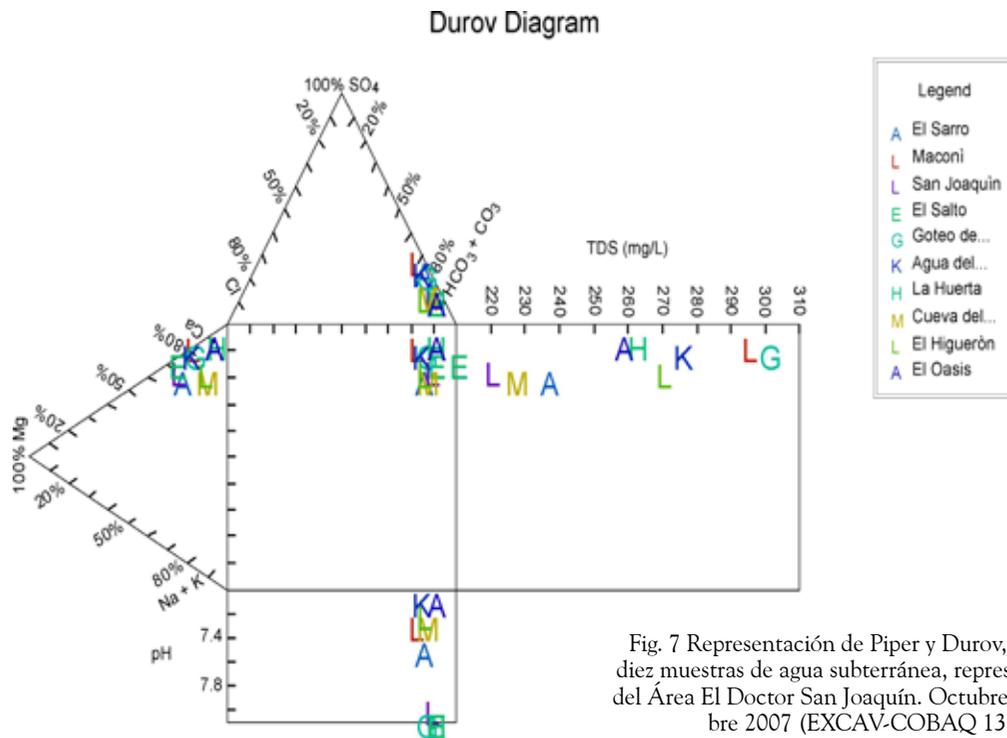
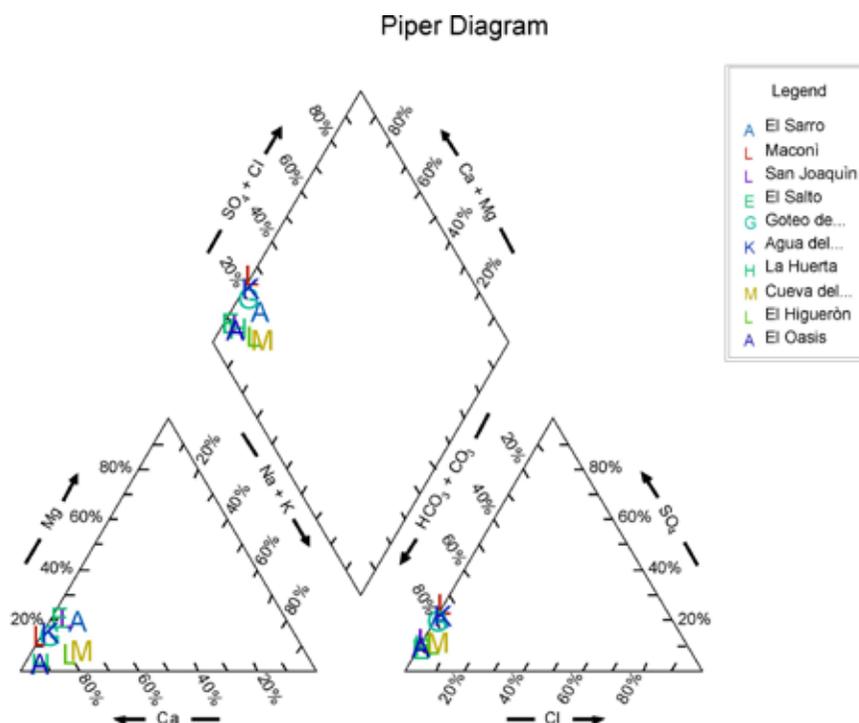


Fig. 7 Representación de Piper y Durov, para las diez muestras de agua subterránea, representativas del Área El Doctor San Joaquín. Octubre-Noviembre 2007 (EXCAV-COBAQ 13)



Los criterios químico-físicos de la clasificación de aguas kársticas, se basan en el contenido de los iones más abundantes, al igual que para todas las aguas dulces o naturales. En la literatura aparecen numerosas clasificaciones que corresponden a diferentes objetivos. Según la clasificación Alekine toma en cuenta los tres aniones más importantes (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). A su vez cada clase se divide en tres grupos, según el catión que predomine (Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na} + \text{K}^+$).

El agua en contacto con los distintos minerales constitutivos del medio rocoso por donde transita, adquiere por tanto una composición que es característica de la naturaleza del mismo (Schoeller, 1962, Antigüedad, 1986).

El proceso de disolución de rocas calizas o carbonatadas por las aguas meteóricas da lugar fundamentalmente, a iones HCO_3^- , Ca^{+2} y Mg^{+2} . En este proceso el CO_2 originado por la descomposición microbiana de la materia orgánica en el suelo, y a partir de la atmósfera directamente, en contacto con el agua y los materiales del karst, se hidrata, forma iones complejos y controla además la disociación de los carbonatos (Fagundo Castillo 1996).

Si consideramos entonces la geología de la zona en estudio y tomamos como referencia la estratigrafía de estos dos macizos calcáreos (Fig. 2), el agua subterránea que circula está en contacto con rocas calizas arcillosas de la Formación Trancas (Js), con calizas de la Formación El Abra (Ki) y de lutitas y areniscas de la Formación Soyatal (Ks), por tanto será agua en la que predominan los iones calcio y bicarbonato.

Tomando como referencia la clasificación de Alekine, el agua subterránea de la zona en estudio podría considerarse como un agua **tipo bicarbonatada** (predominio de HCO_3^-), **clase cálcica** (predominio de Ca^{+2}).

Según las representaciones gráficas de Schoeller, Piper y Durov nos muestran aguas con características químicas muy similares en los dos macizos calcáreos. Son aguas con altos contenidos de calcio y bicarbonato, lo que representa una dureza un tanto elevada (235 mg/l, de dureza total en promedio). Esto, definitivamente producto del contacto que tiene el agua subterránea con rocas carbonatadas de la formación Trancas, El Abra y Soyatal (Js-Ki-Ks).

Cueva del Agua – El Higuierón (Ensayo de trazado subterráneo, utilizando Cloruro de Sodio)

En Junio de 2005 se invitó al grupo de Espeleología EXCAV de San Joaquín, a conocer y explorar una caverna localizada muy cerca de la comunidad de Rancho Quemado Cadereyta, al

extremo NW, del macizo San Joaquín (Fig. 8). En esa primera exploración se localizó una corriente de agua subterránea importante, en lo que considerábamos para entonces el final de la cueva. En una segunda exploración, llevada a cabo a mediados de Junio de ese mismo año, se realizó la topografía y ubicación de la caverna, así como una exploración de Espeleobuceo.

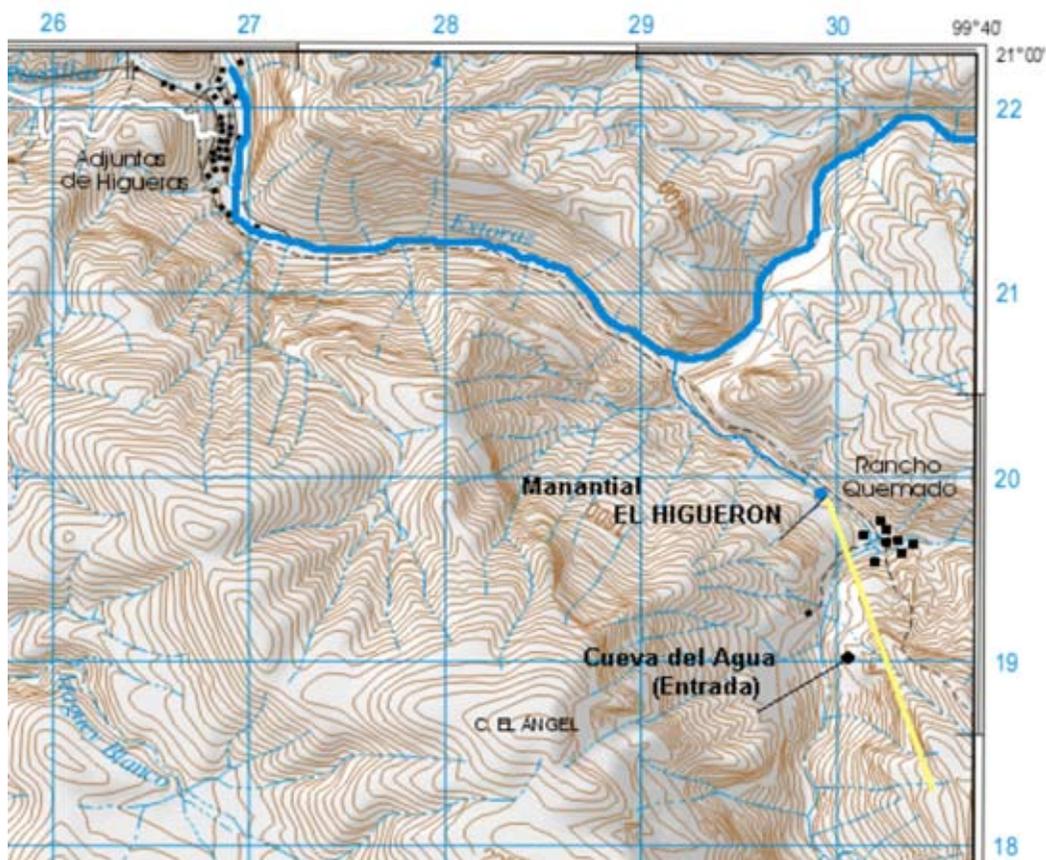


Fig. 8 Ubicación de la entrada de La cueva del Agua y manantial El Higuierón en Rancho Quemado

(Carta topográfica del INEGI 1:50 000 F14C57)
(EXCAV-2008)

PRECISIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LOS MACIZOS CALCÁREOS

La Cueva del agua es una cavidad desarrollada en una de las fallas de la formación El Abra (Ki), formada en su mayor parte, de rocas calizas del cretácico inferior.

Localización: coordenadas UTM 14 430 035 E
231 9600 N

Altitud: 1310 msnm

Longitud: 760 m, hasta la poza o sifón

Desnivel: +13 m

A partir del muestreo realizado en los diferentes manantiales de la zona en Octubre-Noviembre de 2007; observamos una relación entre el comportamiento físico-químico del agua del interior de La Cueva del Agua y el manantial El Higuierón, ubicado sobre el Arroyo de Rancho Quemado.

El 16 de Febrero de 2008, realizamos otro muestreo de agua, en el interior de la Cueva del Agua y en el manantial El Higuierón. Los resultados los presentamos en el siguiente diagrama de Schoeller (Fig. 9)

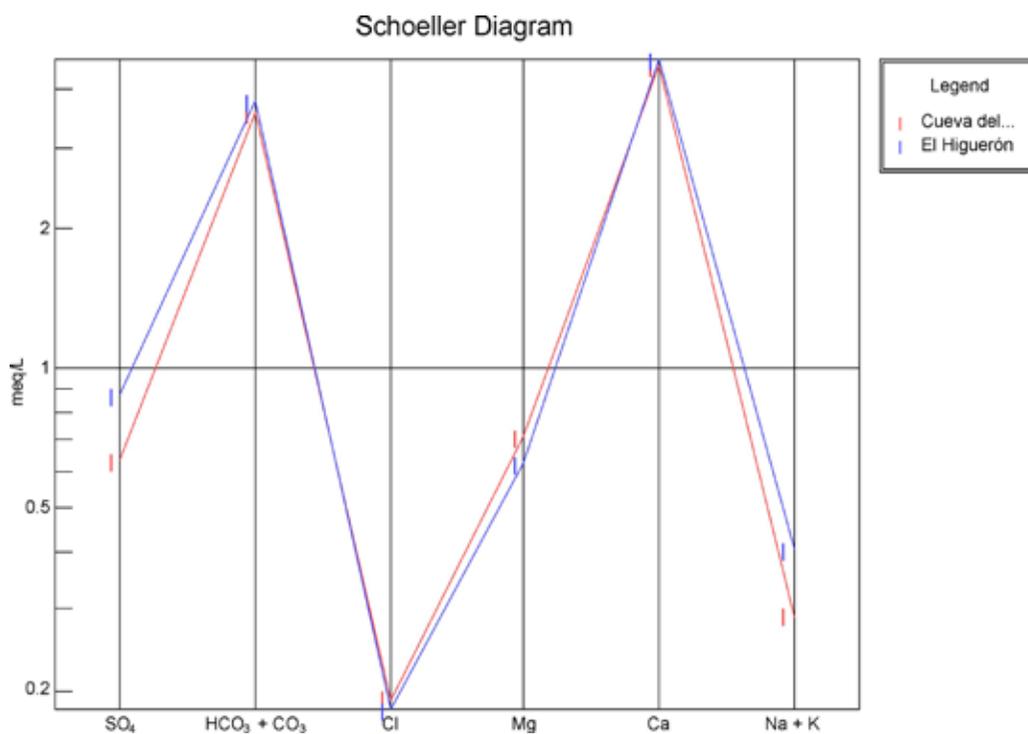


Fig. 9 Diagrama de Schoeller para el análisis de agua del interior de La Cueva y manantial El Higuierón. Febrero de 2008.

(EXCAV-2008)

Ante esta similitud encontrada, podemos establecer que se trata de la misma agua, localizada en el interior de la Cueva del Agua y El Manantial, El Higuerón.

El Trazado de Agua

Con los antecedentes geológicos y químicos considerados, se realizó un sencillo trazado de agua mediante el empleo de Cloruro de Sodio, para tener otra referencia, que nos indicara la posible conexión entre la Cueva del Agua y el manantial El Higuerón; y de ésta forma entender como es el movimiento de agua subterránea a través de estos dos macizos calcáreos.

Se preparó una expedición para realizar el trazado. Para llevarlo a cabo se tendría que disolver una determinada cantidad de NaCl (Cloruro de Sodio) en el flujo de agua en el interior de la Cueva (punto de inyección) y posteriormente, detectar la salida de esta

solución o “mancha” de Cloruro de Sodio por medio de un conductímetro o medidor de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el manantial El Higuerón.

El 23 de Febrero de 2008, un equipo se encargó del traslado de 50 kg de sal (NaCl), grado alimenticio hasta el interior de la Cueva del Agua (Foto 6). Otro equipo, quedó afuera, en el Manantial “El Higuerón” para la medición de los SDT.

A las 13:00 hrs del día 23 de Febrero de 2008, el equipo de inyección estaba listo en la poza o sifón dentro de la Cueva del Agua e iniciaba la disolución del Cloruro de Sodio. (Foto 6) Esta disolución se llevó a cabo en un tiempo no menor a 15 minutos para lograr que la mancha de iones de sodio y cloruro, tuvieran una distancia considerable para detectarla con el conductímetro. En ese instante se iniciaba también las mediciones de SDT, cada 5 minutos en el manantial “El Higuerón”.



Foto 6. Traslado de los 50 kg de Cloruro de Sodio en el interior de la Cueva del Agua, disolución de la sal y el registro de SDT, en el Manantial, El Higueron. Febrero de 2008. EXCAV-COBAQ 13

Los datos iniciales para el trazado se presentan en la tabla 3

	SDT	Temperatura	,p H
Cueva del Agua	225 mg/L	21°C	7.4
El Higuerón	232 mg/L	19°C	7.5

Tabla3 . Datos de iniciales en el trazado con Cloruro de Sodio a las 13:00 hrs en la Cueva y manantial.

El resultado de éste trazado con Cloruro de Sodio se presenta en la Fig. 10

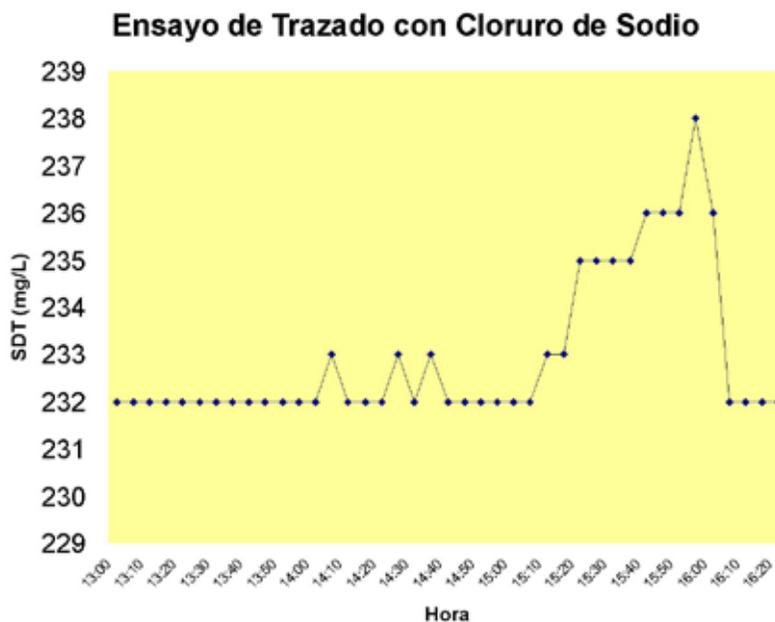


Fig. 10 Gráfica del trazado con Cloruro de Sodio

Cueva del Agua-Manantial El Higuierón. (EXCAV-COBAQ-13).

Interpretaciones del trazado

El trazado del agua del día 23 de Febrero de 2008, utilizando los 50 kg de Cloruro de Sodio es **positivo** considerando los resultados obtenidos: A las 13:00 hrs se inició el monitoreo de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el manantial. Las lecturas se mantenían en los 232 mg/L y a las 15:10 hrs el conductímetro revelaba un pico que fue detectado con un máximo hacia las 15:55 hrs (238 mg/L), hasta las 16:05 hrs; donde nuevamente el conductímetro nos marcaría los 232 mg/L para permanecer constante y de esta forma establecer la relación del Agua de la Cueva y el manantial El Higuierón.

La medición del caudal llevada a cabo en el interior de la Cueva del Agua el día del trazado mostró un caudal promedio de 80 L/s; con una velocidad del agua en el punto de muestreo de aproximadamente 0.51 m/s, que equivalen a unos 30.6 m/min. Considerando un flujo “estable” del agua subterránea, desde el momento de la disolución hasta la detección fueron 135 minutos, lo que nos representa un posible recorrido subterráneo desde el interior de la cueva hasta la salida en el manantial de unos 4.13 km

Consideraciones finales

Aunque para algunos, son consideraciones tanto “debatibles”, y “superficiales” lo cierto es que no existen trabajos sobre hidrología del karso de la zona de la Sierra Gorda de Querétaro.

Será necesario, fomentar la investigación hacia este rubro, sobre todo que en los próximos años, el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Querétaro, será a partir de manantiales localizados en el karso queretano.

- 1) Es de suma importancia tener un censo de cada uno de los manantiales que existen en la zona a efecto de conocer el comportamiento químico de los mismos.
- 2) Los manantiales serán lugares estratégicos para los siguientes años. Es responsabilidad de cada uno de nosotros, su conocimiento, su cuidado y preservación para el futuro.
- 3) El agua de los macizos calcáreos: El Doctor-San Joaquín, dadas las condiciones geológicas de la zona, es del tipo **bicarbonatada-cálcica**, de dureza elevada.
- 4) La karstificación de la zona, permite que el mo-

vimiento de aguas subterráneas, en estos dos macizos calcáreos, sean a partir de la filtración a través de grietas y fisuras, dando lugar a un buen número de manantiales en la zona, que son la fuente principal de abastecimiento del agua potable.

- 5) Se pretende informar a las autoridades municipales de Cadereyta Querétaro y delegación de Rancho Quemado de los resultados obtenidos y que se generen proyectos de conservación; sobre todo que es muy probable, que La Cueva del Agua sea abierta al público y esto requerirá de un manejo sustentable. Así mismo generar algún programa para el mejor cuidado del manantial El Higuierón. (Foto 7)



Foto 7 Posible trayectoria del agua subterránea entre La Cueva del Agua y el manantial El Higuierón. EXCAV-2008. (Google Earth 2008).

- 6) El movimiento de aguas subterráneas a través de los macizos calcáreos del Doctor y San Joaquín, tienen como destino final, la microcuenca del Río Extoráz.

Bibliografía

- Acevedo Arreguín L. A. 1989 Caracterización Físicoquímica del Agua, manual de laboratorio. UAQ.
- Antigüedad I, Ibarra V. Morales T. 1990 Los trazadores en la hidrogeología kárstica. San Sebastián-Bilbao (España)
- Beltrán de Heredia Alonso y colaboradores 2004. Análisis Químico de Aguas Residuales. Manuales de apoyo a la docencia universitaria. Universidad de Extremadura, Editorial ABCedario.
- Fagundo Castillo JR, Valdez Ramos, Rodríguez Rubio. 1996. Hidroquímica del Karst. Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Ediciones Osuna. La Habana Cuba.
- Grupo de Espeleología EXCAV de San Joaquín Qro. 2005 Reporte de exploración de la Cueva del Agua (inédito).
- Grupo Espeleológico de Estella-Navarra y EXCAV (2004). Expedición Sierra Gorda-Querétaro México. Revista KARAITZA tomo 12. Unión de Espeleólogos Vascos.
- HANNA instruments 1999 Instruction Manual HI 38000, HI 3815
- Hernández E. Margarita – Morán M. Ma. Teresa. 2003, Taller de experimentos de Química Ambiental en Microescala. Universidad Iberoamericana A.C: Centro de Química en Microescala.
- INEGI 1996 Cuaderno Estadístico Municipal de San Joaquín Qro.
- INEGI 1999 Carta topográfica F14C58
- Jenkins David. 1999, Química del Agua. Editorial LIMUSA
- Ledesma Ledesma Gilberto 2007. Las Cavernas del Área San Joaquín. Revista Palabra COBAQ num. 33
- Ledesma Ledesma Gilberto 1999 Formación de Grutas y Cavernas...Cuestión de Equilibrio Químico. Gaceta COBAQ num. 140.
- Ledesma Ledesma Gilberto 2005, Espeleólogos queretanos localizan por fin La Cueva del Agua. Periódico Noticias. 21 de Junio.
- Ledesma Ledesma Gilberto 2003. Reporte de exploración al Río Extoráz (inédito)
- P. Hernández-Jauregui, J. Valencia, R. Torres. 1999 Sedimentación Sintectónica de la Formación Soyatal. Excursión Geológica Nacional.
- Programa AqQA de la RockWare Since 1983. Earth Science & GIS Software (2006)
- Romero Rojas Jairo Alberto (1999). Calidad del Agua, 2ª Edición, Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable (2005) Anuario Económico. Querétaro.
- Velasco Mireles Margarita (1997) La Sierra Gorda: Documentos para su historia Vol. II. INAH