

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DE

LOS ALREDEDORES DE QUERETARO

Por el Ingeniero de Minas, Juan D. Villarelo.

El Gobierno del Estado de Querétaro por una parte y varios particulares por otra, han emprendido obras importantes con objeto: el uno, de aumentar la cantidad de agua destinada á usos domésticos en la ciudad de Querétaro; y los otros, de acrecentar el gasto de algunos manantiales y aprovechar el agua, primero como fuerza motriz y después en el regadío.

El Instituto Geológico Nacional, á petición de los interesados, me comisionó para que estudiara la región en donde se han emprendido las referidas obras, y esta honorífica comisión me permite presentar el presente estudio relativo á la hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro.

La ciudad de Querétaro, capital del Estado de su nombre, se encuentra á los $29^{\circ}35'41''.60$ de latitud Norte, á $1^{\circ}15'19''.95$ de longitud Poniente de México, y á 1815 metros sobre el nivel del mar. La zona estudiada se extiende: de Querétaro hacia el Norte y el Este 19

kilómetros, 12 al Sur y 4 al Poniente de la referida ciudad.

FISIOGRAFÍA.

Al N.E. de Querétaro se levanta hasta 2952 m. el cerro llamado Pinal de Zamorano, que se encuentra en el Distrito de Tolimán y en la línea divisoria de las aguas que: hacia el N.E. descienden por el río Tolimán para el Moctezuma, afluente del Pánuco que desemboca en el Atlántico; de las que por el S.W. bajan por el río de Querétaro para el de La Laja, afluente del río Lerma, el cual arroja sus aguas en el lago de Chapala, y de éste por el río Tololotlán llegan al Océano Pacífico.

Al Sur de Pinal de Zamorano se encuentra el cerro aislado conocido con el nombre de Cerro Blanco, el cual se extiende para la hacienda La Griega. Al W. del cerro de Zamorano se hallan los de La Cruz y Chichimequillas, que se prolongan para Montenegro y Santa Rosa. Al S.E. de estos últimos y entre Amascala y Saldarriaga, se levantan los cerros de Bolaños, Santa Cruz y Amascala.

Las eminencias anteriores limitan y separan á varias planicies (véase el plano adjunto), algunas un poco extensas. En efecto, el valle de San Juan del Río, limitado al Este por los cerros de San Vicente y Galerías, se extiende al N.W., estrechándose en las cercanías del cerro La Pulga, y se une con la planicie de la hacienda La Griega. Esta última, al N.W., y en el lugar llamado La Angostura, se une con la planicie de Amascala, la cual continúa hacia el N.W., por Agua del Coyote y Chichimequillas, para el puerto de Montenegro que la separa de la planicie de este nombre; al N. se ex-

tiende para Atongo, y está limitada: al S., por los cerros de Amascala y Santa Cruz; al E., por el Cerro Blanco; y al N., por los de La Cruz y La Capilla, cerros que separan la planicie de Amascala de las de Alfajayuca y El Lobo, situadas al N.E. y E. de la anterior. La planicie del Lobo está separada de la de La Griega por el mencionado Cerro Blanco; y los cerros de Amascala, Santa Cruz y Bolaños limitan hacia el N. la planicie de Saldarriaga, la cual se une al E. con la de La Griega.

En la planicie de Amascala corren dos arroyos: el de Chichimequillas, que baja de la hacienda Servín por las barrancas de Matanzas, La Virgen, La Peña y El Cajón, y corre en las cercanías del cerro Santa Cruz; y el de Atongo, que pasa cerca y al W. de Cerro Blanco. Estos arroyos forman el río de La Calzada, el cual baja por la cañada de Hércules, tomando el nombre de río de Querétaro.

Las planicies anteriores, separadas por los cerros aislados que se levantan al N.E. de Querétaro, están á diversas alturas. En efecto, la planicie de El Lobo tiene una altura de 180 metros sobre Querétaro; la de Alfajayuca, 145; la de Amascala, 140 cerca de Atongo, 150 en Chichimequillas, y 110 en la hacienda de Amascala; y las de San Juan del Río, La Griega y Saldarriaga están á 95 metros sobre Querétaro. El terreno descende, como se ve, del Norte al Sur: del Lobo, Atongo y Chichimequillas, por Amascala, para las planicies de La Griega y Saldarriaga; y de estas últimas, con mayor pendiente, por la cañada de Hércules para el valle de Querétaro. Esta cañada desemboca en la parte oriental del valle mencionado, y en donde estre-

chan á éste los cerros de Saldarriaga por el N.E., y el cerro Cimatario que se levanta al Sur de la ciudad de Querétaro.

El valle de Querétaro al S.W. de esta ciudad se prolonga con muy ligero ascenso, 10 metros solamente, hasta la villa El Pueblito y hacienda La Negreta; y de estos lugares el terreno se levanta hacia el Sur y el Este. Al Sur se encuentran los cerros de La Negreta surcados por las barrancas llamadas: La Plata, El Carrizo, El Guardián y la del Zapote que baja entre los cerros Chichihuitillo y Güerejo, y se une al Norte, cerca de La Joya, con la Barranca del Batán, por la cual corre el río de Huimilpan. Al S.E. de los cerros anteriores se encuentran los de La Cueva y La Barranca, y al E. y S.E. del Pueblito se levantan el Cimatario y los cerros de San Francisco y Santa Teresa.

Al Sur de las eminencias anteriores se halla una planicie algo extensa, á 170 metros sobre Querétaro, y limitada: al Norte, por los cerros de San Francisco y el Cimatario; al Este, por los de Miranda, Santa Teresa y Malta; al Sur, por los de La Sabanilla y Bravo; y al Poniente, por los de La Barranca y La Cueva. En esta planicie, rodeada por los cerros ya mencionados, se encuentran, entre otras, las haciendas: Vejil, La Sabanilla, Apapátaro, Carranza, Obrajuelito, Arroyo Hondo y San Francisco. Este terreno está surcado por tres barranquillas que permiten el desagüe de la referida planicie, y son: la de Huimilpan, por donde corre el río del mismo nombre, que nace en el cerro de las Neverías y pasa al N.W. de Vejil; la llamada "lo de Casas," que se une á la anterior al S.E. del

Molino; y la de Bravo que se une á la de Huimilpan más cerca del Molino y en el lugar llamado Las Adjuntas. El agua que baja por estas tres barranquillas corre en seguida por la barranca del Batán, y sale por el Batancito y Molino de Guadalupe para el Pueblito; y el río, que arriba se llama de Huimilpan, toma los nombres del Batán y El Pueblito al pasar por estos lugares, de donde continúa por Trojitas y hacienda de Balvanera para unirse con el río de Querétaro al Poniente de esta ciudad.

Como se comprende por la descripción anterior, son varias las planicies que se encuentran tanto al Norte como al Este y Sur de Querétaro, y á alturas comprendidas entre 95 y 170 metros sobre esta población. Por otra parte, es muy notable la diferencia entre la cantidad de aguas meteóricas precipitadas anualmente en la región Norte y Este de Querétaro, comparada con la que se precipita al Sur; pues según las informaciones que pude obtener, las lluvias son muy escasas en las planicies de Montenegro, Amascala, El Lobo y La Griega; y por el contrario, son relativamente abundantes en toda la región por donde atraviesa el río de Huimilpan.

Las aguas que antes bajaban por el arroyo Chichimequillas para el río de Querétaro, hoy se detienen en la presa construída poco abajo de las barrancas de Matanzas, La Virgen, La Peña y El Cajón (la presa se encuentra en el punto P. del plano adjunto), presa que tiene una capacidad de tres y medio millones de metros cúbicos, y cuyas aguas se emplean en el riego de los terrenos de la hacienda de Chichimequillas. Las aguas que descienden por el río de Huimilpan se em-

plean, primero como fuerza motriz en el Molino del Batán, y después para el riego de los terrenos del Pueblito y de la hacienda Balvanera. Por último, las aguas que bajan por la barranca El Zapote se usan para riego en El Pueblito.

El terreno, en lo general poco accidentado en los alrededores de Querétaro, es montañoso hacia el N.E. desde el Pinal de Zamorano para Tolimán, y los cerros Tenché y El Frontón, eminencias en partes cubiertas de bosques y en otras desnudas de vegetación.

Descrito ya á grandes rasgos el relieve del terreno, y las corrientes de agua que lo surcan, paso á indicar la geología de la región.

GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.

En toda la zona que motiva este estudio sólo se encuentran rocas pliocenas y pleistocenas, cubiertas en partes por tierra vegetal, y distribuídas de la siguiente manera:

Como roca eruptiva más antigua, de las que casi inauguraron las erupciones pliocénicas, se encuentra en esta región una rhyolita porfiroide, con granos gruesos de cuarzo, y que aflora en la parte Norte formando las elevadas eminencias del Pinal de Zamorano. Estas rhyolitas, de la subdivisión felsonevadita probablemente, se extienden al W. por los cerros de La Cruz y Chichimequillas para Montenegro; y se prolongan al S. del cerro La Cruz por el de La Capilla, para el Cerro Blanco. Esta roca sirve de base ó apoyo á las tobas y rocas eruptivas posteriores, escurridas sobre el campo rhyolítico plioceno que abarcaba toda la zona ahora en estudio.

Acompañando á las rhyolitas y rodeando á veces núcleos de rhyolitas macizas, se encuentran gruesas capas de tobas rhyolíticas rosadas, silicificadas á veces por la acción de aguas termales que contenían la sílice en disolución. Estas tobas se encuentran en bancos casi horizontales: en los cerros y lomas que forman la Cañada de Hércules, cerca de Querétaro; al N. de la hacienda Chichimequillas, en las cercanías de la presa del mismo nombre; forman el subsuelo de las planicies de Amascala y El Lobo; y aparecen al Sur de la hacienda San Francisco, extendiéndose para Bravo y Apapátaro.

El cerro Cimatarío, al Sur de Querétaro, está formado por andesitas de hornblenda, y más al Sur, en las mesetas de San Francisco para Apapátaro y Bravo, se encuentra una corriente poco gruesa, en partes de sólo dos metros, de rhyolita axiolítica de aspecto litóide, de color gris, compacta y dura. Esta corriente rhyolítica está fraccionada por erosión, y la roca presenta una alteración superficial, sobre todo en los lugares en que la surcan los arroyos.

Por último, las labradoritas ó basaltos pobres de olivino, forman los cerros de Santa Cruz y Amascala; y se prolongan al E. por la Angostura, para los cerros de la hacienda La Griega. Esta roca pleistocena forma los cerros que se encuentran al S. de La Negreta; se extiende por La Cueva para el Sur del Molino del Batán; y se prolonga para San Francisco cubriendo á las tobas rhyolíticas que afloran más al Sur de los lugares anteriores. Las mismas labradoritas forman el subsuelo de la parte Norte de la planicie La Griega; y aparecen bajo la tierra vegetal, y sobre las tobas rhyo-

líticas, en la parte S.W. de la planicie de Amascala, y también en algunos lugares de la Cañada de Hércules.

La planicie de Amascala está limitada al Norte, Este y Oeste, por eminencias rhyolíticas; y al Sur, por las labradoritas de los cerros Amascala y Santa Cruz. El subsuelo de esta planicie está formado en su mayor parte por rhyolitas cubiertas con tobas rhyolíticas, como lo comprobó la perforación profunda que en busca de aguas artesianas se hizo en la hacienda de Amascala, cerca de sus linderos con la de Chichimequillas; y solamente en la parte Sur de la planicie, que es la más baja, se encuentra la lava labradorítica en algunas partes muy delgada, cubriendo á las tobas rhyolíticas, como se observa en algunos tajos que se han abierto para dar corriente á las aguas freáticas superficiales que hay en esta planicie.

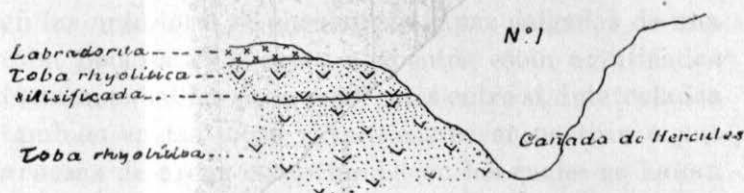
Las planicies de Alfajayuca y El Lobo están limitadas por cerros rhyolíticos; y el subsuelo, bajo la tierra vegetal, está constituido por rhyolitas y tobas rhyolíticas que fueron atravesadas por la noria del Lobo, cuya profundidad es de 58 metros.

La planicie de la Griega está limitada al Norte por eminencias labradoríticas; y abajo de la tierra vegetal se encuentra la lava labradorítica, de bastante espesor, como lo comprobaron las perforaciones profundas que se hicieron en esta planicie para buscar aguas artesianas.

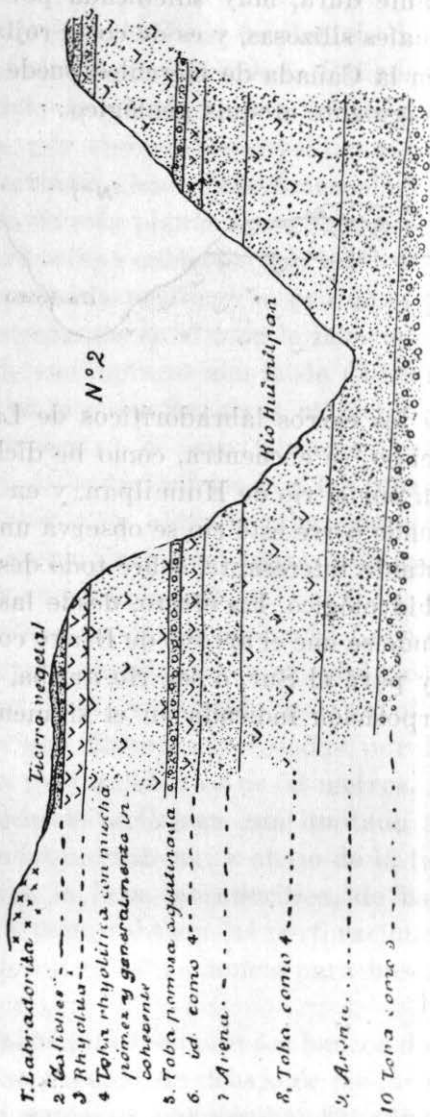
En la Cañada de Hércules los bancos de tobas rhyolíticas que se encuentran debajo de las lavas labradoríticas están surcados por venillas de siliza hidratada, la cual impregna irregularmente á las tobas y sobre todo á las de los bancos superiores, en los cuales la

toba es bastante dura, muy silicificada por la acción de aguas termales silicosas, y es de color rojizo.

Un corte en la Cañada de Hércules puede representarse por el siguiente croquis geológico:



Al Sur de los cerros labradoríticos de La Negra y San Francisco, se encuentra, como he dicho, la planicie surcada por el río de Huimilpan, y en la barranca por donde corre este río se observa una sucesión de rocas bastante interesante, sobre todo desde el punto de vista hidrológico. En efecto, desde las cercanías del lugar donde se une el arroyo de Bravo con el río de Huimilpan y para el Sur, ó sea río arriba, se encuentra la superposición indicada en el siguiente croquis geológico:



Debajo de la rhyolita axiolítica de aspecto litoide se encuentran en la barranca de Huimilpan y en el arroyo llamado "lo de Casas," tobas rhyolíticas con mucha pómez, de texturas distintas, pero generalmente incoherentes, y de color blanco ó rojizo. Intercaladas en las anteriores se encuentran capas delgadas de una toba pomosa fina, cuyos elementos están aglutinados formando bolitas poco coherentes entre sí. Intercaladas también en las tobas rhyolíticas se encuentran capas gruesas de arena comprimida, en las cuales se hallan á veces blocks muy coherentes formados por granos de pómez en su mayor parte, cimentados por calcita cristalizada, debida á la circulación de aguas termales calcáreas. La corriente de rhyolita axiolítica, fraccionada por la erosión como he dicho y extendida en las mesetas de Apapátaro, Bravo y San Francisco, está cubierta en partes por las labradoritas de este último lugar, y en otras por tobas calizas silizosas, "caliche" que cubren á veces también á la labradorita, y que son debidos á la acción de las aguas termales de que hablaré más adelante.

Una superposición parecida á la anterior, aunque las capas de arena son muy delgadas, se encuentra en la barranca del Zapote, al Oeste de la de Huimilpan, y al Sur de los cerros labradoríticos de la hacienda La Negreta.

Para comprender más fácilmente la geología de la región, he creído de utilidad hacer los dos cortes geológicos adjuntos, y el plano que acompaño á este estudio. En el corte *A B*, que parte de Querétaro hacia el N.E. pasando por la planicie de Amascala para los cerros de La Cruz, se ve que: el terreno se eleva con

fuerte pendiente de Querétaro por la Cañada de Hércules para la planicie de Saldarriaga, y en todo este trayecto se encuentran tobas rhyolíticas en gruesos bancos, y silicificadas las de los bancos superiores principalmente; en seguida, las tobas se ocultan bajo las labradoritas que forman los cerros de Santa Cruz, y que se extienden hacia la parte Sur de la planicie de Amascala; después, y bajo la tierra vegetal de esta planicie, se encuentran las mismas tobas que continúan hasta el Norte de la misma planicie; y por último, en los cerros de La Cruz, y hacia el Pinal de Zamorano, afloran las rhyolitas. En el corte *A C*, que parte de Querétaro, hacia el Sur, por el Molino del Batán, para la planicie surcada por el río Huimilpan, se ve que: después de pasar la formación cuaternaria del Valle de Querétaro, se encuentran las labradoritas de las haciendas La Negreta, La Cueva y San Francisco; y después, más al Sur y cerca del lugar en que se une el arroyo de Bravo con el río Huimilpan, comienzan las tobas con bancos de arena intercalados, y coronados por las rhyolitas axiolíticas, como lo indica el corte núm. 2. Estas rhyolitas están alteradas superficialmente: en los bordes de las barranquillas que fraccionan el escurrimiento, en las cercanías de los arroyos que la surcan, y en las diaclasas que la atraviesan; y aunque al microscopio no se percibe diferencia alguna observando en lámina delgada la parte alterada y la no alterada de esta roca (según las observaciones del Sr. Ing. Ezequiel Ordóñez, quien clasificó las rocas que he mencionado), macroscópicamente la diferencia es muy notable. En efecto, la parte no alterada es compacta, dura y de color obscuro; y en la zona alterada

la roca es porosa, poco dura y de colores claros, que varían entre el rosa, gris azulado y blanco rojizo. Esta alteración es debida á la disminución de la cantidad de siliza (esta disminución fué comprobada por la análisis química hecha por el Prof. Vigier en el Laboratorio del Instituto Geológico Nacional, pues la rhyolita no alterada tiene 76.9 por 100 de siliza, y en la parte alterada solamente 74.5 por 100), contenida en la roca, por la acción de las aguas meteóricas, y á la oxidación por la misma causa de los compuestos ferruginosos, lo cual origina la porosidad, poca dureza y colores varios de la parte alterada de la rhyolita.

Tanto las tobas rhyolíticas de la Cañada de Hércules, como la parte alterada de las rhyolitas axiolíticas en las mesetas de la hacienda San Francisco, se explotan como materiales de construcción, por ser de fácil labrado; pero la explotación de las últimas sólo puede hacerse en pequeña escala, por ser muy superficial la alteración de la rhyolita, y localizada solamente en los puntos antes mencionados.

[*Tectónica.*—En toda la región en estudio no existen paraclisas, ó sean amplias fracturas con dislocación del terreno, pero existen sistemas conjugados de diaclasas producidas por esfuerzos de presión. Las direcciones dominantes de estas fracturas son: en la parte Norte, en las rhyolitas y tobas rhyolíticas de Chichimequillas y de la Cañada de Hércules, 60° á 70° N.W., casi verticales, cortadas por otras de rumbo, unas entre 20° y 35° N.E. echado 52° al S.E., y otras con el mismo echado y con rumbo 70° N.E., y en la parte Sur, en las labradoritas, tobas y arenas de San Francisco, Arroyo Hondo y “lo de Casas,” las diaclasas

son: de 10° N.W. echados 85° al N.E., y 67° N.E. con echados de 45° á 60° al N.W. Estas fracturas exokinéticas forman zonas de diaclasas en las cercanías de los manantiales termales de la región; y sobre todo, en la Cañada de Hércules, y en el arroyo "lo de Casas" al S.E. del Molino del Batán. En este último lugar, principalmente en el socavón llamado Arroyo Hondo, las diaclasas son numerosas, y muy cercanas las unas de las otras.

En el río de Huimilpan, poco arriba del lugar en donde se le une el arroyo de Bravo, las diaclasas tienen 30° N.W. y están echadas 60° al N.E., y en el socavón del Zapote, en la barranca del mismo nombre, las diaclasas son generalmente de 35° N.W. de rumbo y casi verticales.

Estas diaclasas desempeñan gran papel, como se verá adelante, en la circulación subterránea de las aguas que brotan por los manantiales de esa localidad.

HIDROLOGÍA.

Varios son los manantiales que se encuentran en esta región y están distribuídos de la siguiente manera:

Al Norte de la hacienda de Chichimequillas, al pie de los cerros del mismo nombre, y á una altura de 1995 metros, ó sea 180 metros sobre Querétaro, se encuentran los baños de Chichimequillas en el manantial del mismo nombre. (Marcado con la letra *a* en el plano adjunto.) El agua que brota por este manantial es poca, y con temperatura de 35° C.

En la Cañada de Hércules se encuentran varios manantiales termales, entre los cuales figuran los siguien-

tes como los más interesantes: Arriba del pueblo, La Cañada, cabecera del Municipio de su nombre, y á 60 metros sobre Querétaro, se encuentra el socavón llamado de Hércules (marcado con la letra *b* en el plano adjunto), obra que se emprendió con objeto de captar las aguas subterráneas que por allí circulan. Este socavón, con un desarrollo de más de 600 metros, se dirige primero hacia el Norte, y serpenteando llega á una lumbrera de ventilación; de aquí se dirige hacia el W. siguiendo aproximadamente el rumbo 70° S.W. de las muchas diaclasas que cortan á las tobas en que está abierta esta obra. Siguiendo el socavón con este último rumbo, corta á las diaclasas 20 á 35° N.E., y en varias de éstas y al pie de la obra, brota el agua que corre por el socavón. En algunos lugares se han abierto cruceros pequeños siguiendo á estas diaclasas, y algunos de ellos han producido regular cantidad de agua. El gasto de estos manantiales es casi constante todo el año, la temperatura del agua es de 30° C., también constante, el volumen de agua que producen es muy regular (150 litros por segundo, según informes), y se emplea ésta como fuerza motriz en varias fábricas de hilados.

En la misma Cañada de Hércules y un poco abajo del socavón anterior se encuentran las albercas (designadas con la letra *c* en el plano adjunto) que surten de agua potable á la ciudad de Querétaro. Estas albercas están construídas alrededor de manantiales que producen 35 litros por segundo, derramando la alberca por la parte superior; y este gasto no sólo es constante durante todo el año, sino que lo ha sido durante muchos años como lo prueban las medidas practicadas en

distintas épocas, y cuyos resultados están grabados en uno de los departamentos anexos á las referidas albercas. La temperatura de estas aguas, también constante, es de 30° C. Hacia el Norte de estas albercas se encuentra terreno cenagoso constantemente húmedo.

Más abajo de los anteriores, y ya en el pueblo de La Cañada, á 30 metros sobre Querétaro, se encuentran los manantiales (marcados con la letra *d* en el plano adjunto) de los baños, que son de gasto constante y de 29° C. la temperatura de sus aguas. En las cercanías de estos manantiales cualquier tajo que se abre en la tierra produce agua; y tanto éstos, como los manantiales de las albercas, se hallan en el fondo de La Cañada. En los cerros que limitan á ésta, y muy cerca de los baños, se observan diaclasas rellenas con siliza hidratada, formando las venillas de que hablé antes; y esta siliza impregna también, como dije ya, á las tobas cortadas por La Cañada.

Además de los manantiales anteriores se hallan en el fondo de La Cañada de Hércules otros varios, aunque de menor importancia.

Al Sur de Querétaro, en el arroyo llamado "lo de Casas," existen dos socavones antiguos denominados: San Francisco (marcado con la letra *e* en el plano adjunto), y Arroyo Hondo (marcado con la letra *f* en el mismo plano), obras que se han estado desazolvando á la vez que se construye un magnífico canal de 4 kilómetros de desarrollo, con objeto de llevar las aguas de estos socavones para El Batán, formando una caída de 45 metros de alto, y aprovechar así esas aguas como fuerza motriz antes de que se reúnan á las del río de Huimilpan.

El socavón San Francisco está abierto en la margen derecha del arroyo "lo de Casas," á nivel del arroyo y á 90 metros sobre Querétaro. Este socavón en los primeros 70 metros tiene un rumbo de 10 y luego 15° N.W.; después sigue hacia el W. en línea curva hasta llegar á la lumbrera de ventilación, que se encuentra á 104 metros de la boca del socavón (véase el plano respectivo adjunto), y de este lugar continúa la obra 30 metros más con el rumbo 80° S.W. En la lumbrera está abierto un crucero de un metro de largo, y con rumbo 10° S.E., siguiendo la dirección de una diaclasa que cortó el socavón en ese lugar, y que produce bastante agua á la temperatura de 31° C. El agua brota por esa fractura, tanto al pié del socavón como en el piso del crucero mencionado, que se encuentra metro y medio arriba de la plantilla del caño abierto en el socavón, y por el cual corren las aguas hacia afuera. 15 metros al Este de la diaclasa anterior, fué cortada otra, con rumbo también 10° N.W., y que produce agua aunque en menor cantidad. Todo este socavón está abierto en un banco grueso de arena comprimida marcado con el número 9 en el corte número 2 adjunto, y en el piso aparece la toba pomosa fina. En los respaldos de las diaclasas, y sobre todo en la que pasa por la lumbrera, la arena está cimentada con carbonato de cal que la hace muy coherente, calcita depositada por las aguas termales que circulan por esas grietas, las que también han arrastrado arcilla que se encuentra depositada junto con el carbonato de cal. Este socavón sólo ha cortado hasta ahora las dos diaclasas ya mencionadas, que son paralelas y echadas 85° al N.E., y las dos están dando aguas termales en regular cantidad.

En la margen izquierda del arroyo "lo de Casas," á 195 metros al Este del socavón San Francisco, se encuentra el llamado de Arroyo Hondo. Este último socavón está abierto á nivel del arroyo, á 90 metros sobre Querétaro, y con rumbo variable entre 15° y 28° S.W. Su longitud es de 120 metros, y hacia el Este se han abierto cuatro cruceros. El primero, muy cerca de la boca del socavón, tiene primero 70° y luego 30° S.E. con un desarrollo de 40 metros; y á los 15 metros de la boca de este crucero hay una frente de 11 metros de longitud y con 40° S.W. de rumbo. A los 59 metros de la boca del socavón está el segundo crucero, de 13 metros de largo y con 56° S.E. de rumbo. A 32 metros al Sur de este último está el tercer crucero, de 4 metros y con 72° S.E. de rumbo; y de este crucero sigue una frente con 10° S.W. y 10 metros de longitud. Por último, á 114 metros de la boca del socavón está el cuarto crucero, de 1 metro de largo y con 10° S.E. de rumbo. La lumbrera de ventilación está entre el segundo y tercer crucero, y en todo el socavón está abierto un caño de más de 1 metro de profundidad. Todas estas obras están labradas en el banco grueso de arena núm. 9, del corte núm. 2, y en algunos lugares aparece en el piso del caño la toba pomosa. Este socavón ha cortado hasta ahora 4 diaclasas de rumbo 10° N.W., dos están cerca de la lumbrera; una entre los cruceros tercero y cuarto, y la última en donde está abierto el cuarto crucero. Todas estas diaclasas producen agua á 31° C. de temperatura, y en mayor cantidad la que se encuentra cerca del tope del socavón. Por los cruceros segundo y tercero sale también bastante agua, y en menor cantidad por el primero. El agua termal brota en

el piso de las obras y un poco arriba, pero en la frente del crucero primero, escurre también de la cabeza de la obra.

Cerca del socavón Arroyo Hondo, y hacia el E., hay otros manantiales en la margen izquierda del arroyo "lo de Casas."

El volumen de agua producido por los socavones anteriores, es casi constante en todo el año, así como la temperatura del agua, y el gasto de los dos juntos es de 100 litros por segundo (según informes).

Al Sur de la hacienda La Negreta, en la barranca del Zapote, y á la margen izquierda del río de este nombre, se encuentra el socavón del Zapote (marcado con la letra *g* en el plano adjunto), á 80 metros sobre Querétaro y á 70 arriba de La Negreta. Esta obra tiene una longitud de 126 metros aproximadamente y su dirección varía entre 74° S.W. y 82° N.W. (véase el plano respectivo adjunto), cortó cuatro diaclasas con rumbo variable entre 20 y 35° N.W., y estas fracturas producen agua de 31° C. de temperatura. Toda la obra está abierta en tobas con capas delgadas de arena, intercaladas en las primeras, y es pequeña la cantidad de agua que produce.

En frente del socavón anterior, y en la margen derecha del mismo arroyo del Zapote, existen manantiales muy pequeños, casi á nivel del arroyo, y en unas diaclasas cuyo rumbo es de 10° N.W.

Además de los manantiales termales ya mencionados, existen en la región otros fríos, y por los que brota muy pequeña cantidad de agua. De estos últimos se encuentran varios en los cerros rhyolíticos que se hallan al Norte de Chichimequillas, y cerca de los baños del

mismo nombre; los hay también en la falda N.E. de Cerro Blanco, en la hacienda Alfajayuca, en los cerros de Amascala, cerca de la casa de la hacienda de este nombre; y en los cerros labradoríticos, abajo de la hacienda San Francisco y cerca del Molino del Batán.

Por último, se encuentran aguas freáticas, á poca profundidad, en varios lugares de la planicie de Amascala, sobre todo en la faja de terreno que va de la casa de esta hacienda para Atongo, zona en la cual se hallan aproximadamente las norias llamadas Puerta del Jaral y Atongo, en las cuales se encuentra el agua á una profundidad de 8, 10 y 7.50 metros respectivamente, estando más alto el brocal de la noria de Atongo que el de la llamada Puerta del Jaral. Cerca de la casa de la hacienda del Lobo está la noria de San Isidro, y en ésta el agua se encuentra á 50 metros de profundidad; pero el brocal de esta noria está 60 metros arriba del brocal de la noria del Jaral. En cambio, en la hacienda de La Griega, que está á 75 metros aproximadamente más baja que el brocal de la noria de San Isidro, el agua se ha encontrado hasta la profundidad de 48 metros, próximamente, en las perforaciones que se han hecho en esa planicie para buscar aguas artesianas, y que sólo encontraron aguas freáticas á la profundidad indicada.

Los datos anteriores permiten formarse un concepto acerca de la circulación subterránea de las aguas en esta región, de la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos que existen en ella, y de la gran cantidad de agua que por éstos circula anualmente; y ahora, conocida ya la topografía y geología del terre-

no, debo indicar cuáles son las cuestiones hidrológicas cuya resolución motiva el siguiente estudio.

Con objeto de aumentar la cantidad de agua que ahora llega á la ciudad de Querétaro, se está desvian-do el canal que la conduce, para que en lugar de que éste desemboque de la parte alta de la alberca, salga del fondo de ésta. Motivó el referido cambio de trazo la observación hecha al vaciar la alberca anualmente para limpiarla. En efecto, durante los días que estaba vacío ese receptáculo, y que por lo mismo salía el agua por los manantiales libremente sin sobrecarga alguna, el volumen de agua era doble del que derrama en igual tiempo por la parte superior de la alberca. Para mayor seguridad se instaló una bomba en la referida alberca cuando estaba llena, y se extrajeron los 70 litros (según me informaron en la localidad) por segundo, que producen los manantiales cuando la alberca está vacía; y no obstante que se estuvo extrayendo ese volumen de agua durante mucho tiempo, no se observó cambio alguno en el gasto de los manantiales. Ahora se pregunta:

A. ¿Se modificará el régimen constante de estos manantiales, de tal suerte que en alguna época del año lleguen á secarse ó por lo menos á tener un gasto menor de los 35 litros por segundo que siempre han tenido, si se permite la salida de un volumen de agua doble del que hasta ahora se ha utilizado?

Por otra parte, varios capitalistas de Querétaro, emprendedores y progresistas (son éstos los Sres. Adolfo Isla, Alfonso Veraza, José Calvo, Juan J. de la Mota, Felipe y Joaquín Cabañas), desean aumentar la cantidad de agua que sale por los socavones de San

Francisco y Arroyo Hondo para emplearla como fuerza motriz primero, y que después la usen para regar terrenos del Pueblito y de la hacienda de Balvanera. Estos señores comenzaron por mandar desazolvar los referidos socavones y bajar más de un metro el piso de éstos en la mitad de la anchura de esas obras, para formar así el caño de escurrimiento de las aguas, con lo cual consiguieron además aumentar el volumen de estas últimas. Se abrió la lumbrera de ventilación del socavón San Francisco, y se ha construído ya la mayor parte del canal que sale del piso de los socavones para el cerro del Batán en donde se puede aprovechar una caída de 45 metros. Ahora, preguntan estos señores:

B. ¿Podrá aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo nuevas obras en los referidos socavones?

C. ¿No habrá peligro al hacer estas obras de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos, y de que se sequen éstos para siempre ó periódicamente?

D. ¿Pueden abrirse nuevos socavones, río abajo de los dos anteriores, sin perjudicar los manantiales descubiertos ya por éstos, ni los que puedan descubrirse al prolongar el socavón de San Francisco?

E. ¿Por el canal que se ha construído podrán correr todas las aguas que produzcan las nuevas obras de captación que se emprendan en esa zona?

El dueño de la hacienda La Negreta (el Sr. Desiderio Reséndiz), y los habitantes de la villa El Pueblito, cabecera del Municipio de su nombre, están interesados en el aumento del agua que ahora sale por el soca-

vón del Zapote: el primero, para emplearla como fuerza motriz, aprovechando los 70 metros de desnivel que hay entre la boca de este socavón y la referida hacienda; y los segundos, para usarla en el riego de los terrenos. Con estos objetos preguntan los mencionados señores:

F. ¿Qué obras deberán hacerse para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote?

Por último, el dueño de la hacienda Amascala, estando dispuesto á emprender obras de captación de aguas, aun cuando fueran costosas, pregunta:

G. ¿Hay aguas artesianas brotantes en la planicie de Amascala?

Para poder contestar las preguntas anteriores es preciso conocer primero: el origen de las aguas termales que brotan en los alrededores de Querétaro, y la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos por donde ellas circulan. Al efecto, paso á ocuparme de estas cuestiones que son del dominio de la geología, ciencia única que puede resolverlas.

ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES QUE BROTRAN EN LOS ALREDEDORES DE QUERÉTARO Y FORMA DE LOS RECEPTÁCULOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS POR DONDE ELLAS CIRCULAN.

Las aguas que brotan por los manantiales son el resultado de la infiltración de las meteóricas, pero no siempre de las lluvias caídas en las cercanías de los manantiales;¹ y para el presente caso procuraré demostrar, en las siguientes líneas, que: la mayor parte

¹ Dr. A. Paskin. Note sur l'origine des eaux minérales de Spa. Bull. Soc. Belg. de Géol. Paléo. et d'hydro. Tomo II, 1888, P. v., pág. 386.

de las aguas que brotan por los manantiales de los alrededores de Querétaro, no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en el suelo próximo, en las planicies ya descritas; que el trayecto subterráneo de estas aguas no es superficial y casi horizontal, sino que por el contrario es vertical y profundo en gran parte; que la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por donde circulan estas aguas, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó para cada grupo de manantiales, y que no están todas éstas en relación hidrostática.

No podré indicar paso á paso el camino que siguen las aguas desde su infiltración superficial hasta brotar por los manantiales antes mencionados, no podré trazar las curvas isocronocromáticas;¹ pero los datos ya referidos me permitirán demostrar que:

La zona de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos que derraman por esos manantiales termales no se encuentra cerca de estos últimos; y que esos receptáculos no son superficiales sino profundos, en el sentido riguroso de esta palabra, y no en la acepción en que la toma Mr. Gosselet, cuando dice que: pueden llamarse profundos si reciben las aguas de la superficie después que hayan pasado por un filtro bastante grueso y bastante activo que las despoje de todas las impurezas que contuvieran antes de su penetración en el suelo.²

Las aguas que recorren un trayecto subterráneo superficial tienen por carácter, dice el Dr. A. Paskin, el tener una temperatura inferior á la media del lugar;³

1 Nombre propuesto por M. León Fanel.

2 M. F. Gosselet. Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France. Bul. Soc. Belg. Géo. Paléon. et d'hydro. Tomo II. 1888, págs. 18 y 19.

3 A. Paskin. L. C., pág. 393.

y se consideran como aguas termales, dice A. Daubrée, aquellas cuya temperatura es dos grados superior á la temperatura media de la localidad.¹ Ahora bien, la temperatura de las aguas que brotan por la mayor parte de los manantiales de Querétaro es de 29° hasta 35° C., y la temperatura media anual en este lugar es de 18.3 C.² La diferencia, como se ve, es de: 10.7 á 16.7 C.; y por lo mismo, es muy superior la temperatura de las aguas á la media del lugar, y deben considerarse por lo tanto como aguas termales.

Es bien sabido que la temperatura del subsuelo aumenta con la profundidad, como lo han probado multitud de medidas, y así se comprende fácilmente por qué adquieren las aguas un exceso termométrico en su trayecto subterráneo profundo; y puede decirse con A. Daubrée que: la termalidad de las aguas, que brotan por algunos manantiales, demuestra su procedencia de gran profundidad.³

Como dije antes, al hablar de los manantiales de Chichimequillas, la Alberca, y los descubiertos por los socavones de Hércules, Arroyo Hondo, San Francisco y El Zapote, la temperatura de las aguas es constante durante todo el año en cada manantial ó en cada grupo de manantiales; y esta constancia en la temperatura es una prueba del trayecto subterráneo profundo seguido por esas aguas; y también, de que estas últimas no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en las planicies cercanas. En efecto, si el trayecto subterráneo de estas aguas fuera solamente superfi-

1 A. Daubrée. *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*. Tomo I. Paris. 1877 pág. 434.

2 Boletín del Observatorio Meteorológico Central. 1894. 1895. 1896.

3 A. Daubrée. *Loc. cit.* Tomo I, pág. 175 y Tomo II, págs. 165-181.

cial y corto, los cambios de la temperatura exterior influirían desde luego en la temperatura del agua; y sobre todo, en tiempo de lluvias se observaría un enfriamiento de las referidas aguas, principalmente en los socavones de Arroyo Hondo y San Francisco, los cuales están abiertos en bancos de arena que surca el arroyo llamado "lo de Casas," pues por éste baja regular cantidad de agua en tiempo de lluvias; pero como no se observan estos cambios de temperatura, puede decirse que: el trayecto subterráneo de esas aguas es largo, y en su mayor parte profundo.

En apoyo de lo anterior existen también otros hechos, bastante interesantes, como son: el gran volumen de agua que sale por estos manantiales, su gasto casi constante durante todo el año, y la presencia del carbonato de cal en las aguas de los socavones San Francisco y Arroyo Hondo. En efecto, en la Cañada de Hércules, solamente por los socavones del mismo nombre, salen 150 litros, 35 por los manantiales de las albercas, más el agua de los baños y de otros manantiales pequeños; y por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo salen 100 litros, volumen de agua por segundo que no sólo es casi constante durante todo el año, sino que lo ha sido en muchos años, según las medidas hechas en los manantiales de la alberca, y á los cuales me referí ya en otro lugar. Además, como dije antes, en las diaclasas con agua cortadas por los socavones San Francisco y Arroyo Hondo, la arena está cementada por carbonato de cal cristalizado, mineral que proviene, sin duda, de las aguas termales que por allí circulan, así como los "caliches" que cubren en la superficie del terreno á las rhyolitas axiolíticas y á las

labradoritas. Ahora bien, las variaciones anuales de un mismo manantial son, por lo común, bastante considerables,¹ influyendo las lluvias de una manera notable sobre el gasto estos manantiales,² volumen de agua que aumenta con la abundancia de las aguas meteóricas caídas dentro del perímetro de la superficie de alimentación de los receptáculos subterráneos. Muchas veces este aumento no se verifica inmediatamente después de las precipitaciones atmosféricas, sino cuando ha transcurrido un período de tiempo más ó menos largo, según sea más ó menos largo también el trayecto subterráneo que tengan que recorrer las aguas, desde su infiltración en el terreno hasta salir de nuevo á la superficie por los manantiales. En el presente caso, la casi constancia en el gasto anual de los manantiales y el regular volumen de agua que producen, hacen suponer, con fundamento, que: la superficie de alimentación de los receptáculos subterráneos ahora en estudio es muy extensa, al grado que las variaciones en la cantidad de lluvia anual caída en las distintas partes de esta zona se compensan entre sí y no influyen en la cantidad de agua que circula en los receptáculos subterráneos, ni ocasionan por lo tanto cambios en el gasto de los manantiales, que son sus aberturas de desagüe al exterior. Esta extensa superficie de alimentación no puede decirse que sea el espacio reducido ocupado por las planicies cercanas á los manantiales, y menos cuando en la parte Norte, por el Lobo, Amascala y La Griega, las lluvias son muy escasas, como

1 A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 146.

2 Para explicación del tecnicismo empleado en este estudio, véase J. D. Villarello. Estudio de la hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, N^o 6, p. 182.

dije antes. Además, el subsuelo de los alrededores de Querétaro está formado en su mayor parte por rocas rhyolíticas, es decir, silizosas y muy poco calcáreas; por lo tanto, el carbonato de cal que contienen las aguas de esos manantiales, y que han depositado tanto en las grietas por donde circulan como en la superficie del suelo, formando el "caliche," no proviene de las rocas superficiales sino que comprueba el trayecto largo y profundo que recorren esas aguas, el cual les permite ponerse en contacto con rocas calizas.

Por último, el trayecto subterráneo de estas aguas no es solamente horizontal y superficial; pues como dije antes, el agua brota por grietas casi verticales, que han sido cortadas por los socavones mencionados.

La forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por los cuales circulan las aguas termales de que me ocupo, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó cada grupo de manantiales, y no están éstos en relación hidrostática, por los motivos que paso á indicar.

Las rocas, aun cuando no sean porosas, pueden ser permeables si están fracturadas; pues estas grietas permiten la circulación de los líquidos y los gases en el interior de las rocas. Esta "permeabilidad en grande"¹ no es continua sino localizada, pues la circulación tiene lugar solamente por esas fracturas localizadas que se denominan: paraclasas ó diaclasas, según que estén acompañadas ó no por dislocaciones notables del terreno.² Ahora bien, en los alrededores de Querétaro existen rocas porosas, y otras que no lo son. Entre es-

1 A. Daubrée. L. c. Tomo I, pág. 16.

2 A. Daubrée. L. c. Tomo I, pág. 143.

tas últimas se encuentran las rocas eruptivas ya mencionadas; y entre las primeras figuran las tobas que ocupan gran extensión, y los bancos de arena que afloran en el arroyo "lo de Casas," en el río Huimilpan, y que han sido reconocidos por los socavones de Arroyo Hondo y San Francisco; pero estas rocas porosas no son muy permeables, pues es pequeña la velocidad de circulación del agua en el interior de ellas, debido esto á la capilaridad de los huecos ó espacios vacíos contenidos tanto en las tobas rhyolíticas de la región como en los bancos de arena comprimida por el peso de las rocas que soportan, presión que los hizo coherentes, al grado que los socavones abiertos en ellos no requieren ademación; pero que, al estrechar los espacios vacíos comprendidos entre los granos desiguales de arena, disminuyó la permeabilidad de esta última. En cambio, en toda la región, y localizadas principalmente en las cercanías de los manantiales, se encuentran zonas de diaclasas, y por estas fracturas sale el agua termal tanto en los socavones de Hércules, como en los cercanos al Batán y á La Negreta, razón por la cual puede decirse que: los receptáculos acuíferos subterráneos de esta zona son de forma en diaclasas, por lo menos en su región activa cercana á los manantiales.

Las fracturas de las rocas, como es bien sabido, no son de igual anchura en todo su trayecto tanto á rumbo como á la profundidad, y esta diferencia de "potencia" de las litoclasas ocasiona cambios en la velocidad de los líquidos que por ellas circulan, velocidad que es mayor en las partes supercapilares que en las capi-

lares, y casi nula en las subcapilares¹ que son las que oponen mayor resistencia al movimiento de los líquidos. Por este motivo, las aguas en su trayecto subterráneo tienden á seguir las partes más amplias de las fracturas, que son las de menor resistencia; y por lo tanto, ese trayecto dentro de las diaclasas es muy irregular, ramaleado; la velocidad de circulación de las aguas es variable según la anchura de estos ramales; y el movimiento de ellas está sujeto á las leyes ordinarias de la hidrostática en los ramales supercapilares, y á las leyes de la capilaridad en los que sean capilares. Todo esto explica por qué se encuentran manantiales separados en una misma diaclasa² con gastos diferentes y sin estar en relación hidrostática. Por otra parte, no todas las diaclasas llegan á la misma profundidad sino que son más frecuentes cerca de la superficie;³ y en tanto que unas alcanzan mucha profundidad, otras van desapareciendo al alejarse de la superficie del terreno.⁴ Según esto, se comprende fácilmente por qué se observan á veces diferencias en la temperatura de las aguas que salen de diaclasas distintas, aunque los manantiales se encuentren á la misma altura, pues las aguas provienen de distintas profundidades. Todo lo anterior explica los hechos observados en los manantiales de los alrededores de Querétaro y que paso á exponer, para demostrar que se encuentran en diaclasas distintas y no están en relación hidrostática.

1 Véase Alfred Daniell. Text-Book of Physic. 3ª edición, 1894, págs. 277-316.

2 A. Daubrée L. c. Tomo I, pág. 129.

3 Emm. de Margerie y Albert Heim. Les dislocations de l'écorce terrestre. Zurich. 1888, pág. 44.

4 Van Hise. Some Principles Controlling the Deposition of Ores. Trans. Am. Ins. Min. Eng. Tomo XXX, 1901, págs. 34-35.

El manantial de Chichimequillas se encuentra, como he dicho, á 180 metros sobre Querétaro, y la temperatura de sus aguas es de 35° C.; los manantiales de los socavones San Francisco, Arroyo Hondo y La Negreta, están á 90 metros sobre Querétaro los dos primeros, y á 80 metros el último, y la temperatura de sus aguas es 31° C.; y por último, los manantiales del socavón de Hércules están á 60 metros arriba de Querétaro, y las aguas tienen 30° C. Si estos manantiales fueran desagües de un mismo receptáculo acuífero subterráneo, y por lo mismo todas esas aguas provinieran de la misma profundidad, la temperatura de éstas sería mayor en los lugares de desagüe más bajo y menor en los más altos, es decir, sería mayor en la Cañada de Hércules y en San Francisco y La Negreta, que en Chichimequillas; pero sucede todo lo contrario, lo cual prueba que esos receptáculos acuíferos se encuentran en diaclasas distintas, y que las aguas provienen de diferentes profundidades.

Las albercas de la Cañada de Hércules están separadas solamente por un muro de mampostería, y vaciando completamente una de ellas no baja por esto el nivel del agua en la contigua. Esto demuestra claramente que las diaclasas en que se encuentran aquellos manantiales son distintas, y no están en relación hidrostática. Lo mismo puede decirse de las diaclasas cortadas por los socavones Arroyo Hondo y San Francisco, pues unas sólo producen agua á nivel del piso de estas obras, en otras brota el agua á mayor altura; y en una de ellas, que es la que pasa por la lumbrera de ventilación del socavón San Francisco, y que normalmente da el agua á la altura del piso de esta obra, cuando represan

el agua en esta labor comienza á brotar á mayor altura, en la tabla Norte de la referida lumbrera, cosa que no sucede en las otras diaclasas cortadas por los socavones mencionados.

El gasto de los manantiales de las albercas, y de los baños de la Cañada de Hércules, es menor que el de los socavones de este último nombre, y del de los llamados San Francisco y Arroyo Hondo; y sin embargo, los primeros están más bajos que todos los otros, lo cual prueba que son receptáculos distintos, pues si estuvieran unidos sucedería lo contrario de lo expuesto anteriormente.

Por último, las aguas de estos manantiales termales no contienen ácido carbónico en exceso ni tienen ácido sulfhídrico, ni las acompaña en su salida ningún gas; por lo tanto no puede decirse que su ascenso sea debido á la tensión de ningún vapor. Además, por su composición química puede decirse que: en su trayecto subterráneo no pasan estas aguas por regiones mineralizadas.

Aunque la forma aparente de estos receptáculos acuíferos subterráneos, en su región activa, es en diaclasas, el agua no circula en toda la extensión de estas últimas; sino que, como dije antes, sigue las partes más amplias, y su trayecto irregular forma ramales separados en los cuales la velocidad de circulación y la altura de ascensión de las aguas varían, entre otros motivos, con la anchura de los referidos ramales. Estos últimos, al ser cortados por la superficie del terreno, terminan en manantiales separados, cuando el agua puede ascender hasta estos afloramientos; pues de lo contrario, las aguas de esos ramales sólo saldrán

á la superficie al ser cortados por socavones abiertos en la diaclasa que los contiene, y siempre que el nivel de estas obras sea más bajo que el alcanzado por el agua en los referidos ramales. Cuando no existen estos desagües artificiales, el agua puede extenderse en las rocas porosas adyacentes á su trayecto, formando lentes acuíferas con aguas freáticas superficiales ó profundas, y entre las cuales pueden comprenderse: las ciénegas que se encuentran en la planicie de Amascala, y en la Cañada de Hércules; así como los receptáculos acuíferos con aguas freáticas encontrados á la profundidad por las perforaciones hechas en la planicie de La Griega; aguas estas últimas que sólo pueden llegar á la superficie extrayéndolas con bomba. Las rocas porosas que contienen estas lentes acuíferas, en los lugares mencionados antes, son las tobas rhyolíticas que forman el subsuelo de la planicie de Amascala, y que se encuentran debajo de las labradoritas de La Griega á regular profundidad.

Estudiado ya el origen de las aguas termales que brotan en los alrededores de Querétaro, y la forma de los receptáculos acuíferos de la región, paso á ocuparme de las cuestiones hidrológicas ya indicadas.

CUESTIONES HIDROLÓGICAS SOMETIDAS Á ESTUDIO.

A. *¿Se modificará el régimen constante de los manantiales de la alberca, de tal suerte que en alguna época del año lleguen á secarse ó por lo menos á tener un gasto menor de los 35 litros por segundo que siempre han tenido, si se permite la salida de un volumen de agua doble del que ahora se ha utilizado?*

Probablemente no, por las siguientes razones:

La constancia del gasto de un manantial indica que: el receptáculo acuífero subterráneo es bastante extenso, y sobre todo en la superficie y región de alimentación; de tal suerte, que aun habiendo variaciones en la cantidad de aguas meteóricas caídas en las diversas partes de esa superficie, las variaciones se compensan, y permanece siempre llena la región activa del receptáculo. El desagüe de esta región será más rápido, á medida que aumente el gasto de los orificios de salida de las aguas, ó sea de los manantiales; pero si la región de alimentación del receptáculo es bastante extensa y no es excesivo el aumento de gasto de los manantiales, la región activa permanecerá siempre llena y será constante siempre el régimen de estos últimos. En el presente caso, la región de alimentación es bastante extensa y lejana de los manantiales, por las razones ya indicadas; y por otra parte, el aumento de gasto que se obtiene dejando salir el agua por el fondo de la alberca no es excesivo, porque no obstante haber extraído toda esta agua durante varios meses, no se notó posteriormente ningún cambio en el régimen de los referidos manantiales; luego es fundado suponer que: no se modificará el régimen constante de estos últimos al dejar correr el agua á nivel del suelo aun cuando su gasto aumente. En apoyo de esta afirmación se puede indicar también el siguiente hecho: todos los manantiales termales de esa región, por los que el agua sale libremente á nivel del suelo, son de régimen constante, y como sus receptáculos acuíferos subterráneos son semejantes, como indiqué ya, es más fundado suponer que: los manantiales de la alberca

serán de régimen constante como todos al salir el agua á nivel del suelo; y no, el hacer de éstos una singular excepción que no cuenta en su apoyo con hecho alguno. Si en todo tiempo, por los manantiales de la alberca hubiera salido el agua libremente, á nivel del suelo, habrían producido siempre estos manantiales los 70 litros; pero su gasto se disminuyó al construir las albercas, obligando así al agua á subir á un nivel superior, cosa que ha sucedido casi siempre, pues como dice Daubrée: es un hecho generalmente observado en los manantiales, que: su gasto aumenta ó disminuye según que baja ó se eleva el orificio de escurrimiento.¹

Antes de pasar á otra cuestión, y puesto que se trata de aguas destinadas á usos domésticos de la población de Querétaro, creo conveniente hacer las siguientes observaciones:

Antes se creía que toda agua por solo el hecho de provenir directamente de un manantial es excelente, como si los manantiales fueran, dice Stainier² aparatos misteriosos que la purificaran, cuando no son sino los orificios de desagüe de los receptáculos subterráneos: y por lo mismo, sólo que sean excelentes las aguas de estos receptáculos, lo serán también las de los manantiales; pues de lo contrario, como sucede muchas veces, las aguas de estos manantiales serán detestables.

Más tarde se creyó suficiente, para determinar la salubridad de una agua de manantial, hacer la análi-

1 A. Daubrée. L. c. Tomo II, pág. 147.

2 Xavier Stainier. L'Hidrologie envisagée au point de vue de l'agriculture. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléon. d'Hydro. Tomo VII, 1893. Pro. Ver., p. 150.

sis química y microbiológica; pero ¿de qué sirve, dice Legrand,¹ que una agua sea excelente desde el punto de vista químico y que no se encuentre en ella ningún microbio patógeno, si proviene de terrenos cuya composición está sujeta á inevitables variaciones, si por buena que sea hoy, puede ser mala mañana?

Los poderes públicos de Francia, después de un examen detenido de multitud de casos en los que, según Rutot,² en vez de surtir á las poblaciones con agua potable se les envenena oficialmente, se decidieron á expedir una circular³ en la cual se dice que: una agua no pudiendo ser utilizada para la alimentación sino cuando es salubre, y como resulta de los trabajos científicos más recientes que: para apreciar esta salubridad la análisis química no basta, deberá hacerse la análisis microbiológica; y además, utilizar los datos proporcionados por la geología acerca de la naturaleza de los terrenos atravesados por esas aguas; y agrega que: el examen geológico debe preceder á la análisis, porque ésta es inútil si aquél es desfavorable; puesto que no se puede utilizar una agua por pura que resulte á la análisis, si ella está sujeta á causas de contaminación.

Abundando en las últimas ideas antes expresadas, me parece oportuno decir que: en los receptáculos acuíferos subterráneos en forma de diaclasas, el agua

1 M. Jules Legrand. Bull. Soc. Bel. Géol. Paléo. d'Hydro. Tomo XV, 1901. Pro. Ver., pág. 76.

2 A. Rutot. A propos des nouvelles instructions à suivre pour l'étude des projets d'alimentation d'eau potable des communes de France. Bull. Soc. Bel. Géol. Paléo. d'Hydro. Tomo XV, 1901, pág. 81.

3 Circulaire de la Direction de l'assistance et de l'Hygiène Publiques. Paris' le 10 Décembre 1900. Instruction des projets pour l'alimentation en eau des communes.

no sufre ninguna filtración al pasar por estas grietas, como sucede cuando pasa por gruesas capas de arena;¹ y por lo tanto, hay que evitar la contaminación de agua de estos receptáculos subterráneos; pues aun cuando sean profundos, al llegar á la superficie del terreno pueden volverse superficiales, en la acepción en que emplea Gosselet² estas palabras, es decir, que aun cuando las aguas estén desprovistas de toda impureza primero, pueden contaminarse en las cercanías de los manantiales al llegar á la superficie del suelo.

Una de las cosas que está íntimamente ligada con la calidad de las aguas que circulan por las grietas de las rocas, como sucede en los receptáculos acuíferos subterráneos en forma de diaclasas, es la ubicación de los cementerios. En efecto, como dice Stainier,³ se cree que basta alejar los cementerios de las ciudades, persuadidos de que el peligro reside en las emanaciones producidas por la descomposición de los cadáveres; y aunque es cierto que el contagio puede transmitirse por el aire, el principal peligro no está en éste, sino en el agua; pues las lluvias pueden arrastrar á los gérmenes mórbidos, por las grietas del terreno, y llevarlos á largas distancias, hasta los receptáculos acuíferos subterráneos, contaminando las aguas de estos últimos, y por lo tanto las que salen por los manantiales que son sus orificios de desagüe.

En vista de todo lo anterior, es conveniente, y muchas veces necesario, establecer un perímetro de protección alrededor de los manantiales; y no sólo pa-

1 Xavier Stainier. L. c., pág. 149.

2 J. Gosselet. L. c., pág. 24.

3 Xavier Stainier. L. c., pág. 150.

ra evitar la contaminación de las aguas, sino también para asegurar el gasto de los referidos manantiales. La extensión de este perímetro tendrá que variar según las circunstancias y principalmente con la forma del receptáculo acuífero subterráneo, y con el origen de sus aguas; razón por la cual, y como toda cuestión hidrológica, cada caso que se presente debe considerarse en toda la fuerza del término, según Rutot,¹ como un problema local que demanda estudiarse á fondo, y que debe recibir la única solución clara, precisa y práctica que requiera.

En el caso actual, el perímetro de protección puede ser relativamente pequeño, por ser profundo el receptáculo acuífero subterráneo, bastante largo el trayecto de las aguas, lejana la zona de alimentación, y las diaclasas distintas para cada grupo de manantiales. Por lo tanto, me parece suficiente para este objeto la zona comprendida entre los baños y los socavones de Hércules, prolongándola con esta anchura hasta los cerros Santa Cruz por el N.E. y hacia el S.W. hasta el cerro Cimatario. Dentro de este perímetro de protección deberá prohibirse toda clase de investigaciones ó explotaciones superficiales ó subterráneas de manantiales, con excepción de los que indicaré en seguida; y hacer sondeos, pozos y en general excavaciones cuya profundidad exceda de dos metros.

Con objeto de aumentar la cantidad de agua que puede llegar á la ciudad de Querétaro, por el nuevo canal puede hacerse lo siguiente: abrir un tajo, partiendo de la alberca, con 20° N.W., y cuyo piso esté

1 A. Rutot. L. c., pág. 83.

á nivel del fondo de la misma alberca y de la plántilla del nuevo canal en ese lugar; este tajo hará el drenaje de la cieneguita cercana. Continuar el tajo para abrir, en su prolongación después, un socavón 20° N.W. hasta entrar debajo del cerro que allí limita la cañada, y luego, con 70° N.E. y 70° S.W., abrir frentes siguiendo alguna de las diaclasas que tienen este rumbo aproximadamente. Estas frentes cortarán diaclasas casi normales, algunas con agua brotante á este nivel, y siguiendo estas últimas, se abrirán frentes hacia el N. y S. para encontrar las partes más anchas de esas grietas, que son los trayectos principales del agua en su circulación subterránea, ramales que producirán mayor cantidad de agua que las partes angostas de la misma diaclasa. Al ir ejecutando las obras anteriores, y en vista de las diaclasas que se vayan cortando, podrán indicarse con oportunidad cuales de las frentes anteriores deben continuarse por presentar buena expectativa.

Las aguas de estos manantiales, aunque algo silizosas, serán de composición constante, pues los terrenos por los cuales circulan no están sujetos á variaciones, ni pasan las aguas por regiones mineralizadas. Por lo tanto, basta evitar que las aguas se contaminen al salir á la superficie del suelo, estableciendo para esto el perímetro de protección.

□ B. *¿Podrá aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo nuevas obras en los referidos socavones?*

Creo que sí, por los siguientes motivos:

Los receptáculos acuíferos subterráneos de esta región, son en forma de diaclasas, distintas para cada grupo de manantiales. Por otra parte, casi todas las diaclasas 10° N.W., que han sido cortadas por los socavones San Francisco y Arroyo Hondo, son acuíferas. Por último, en este lugar existen muchas de esas grietas 10° N.W., formando zona de diaclasas. Según esto, es fundado suponer que: al prolongar convenientemente los referidos socavones, se cortarían las diaclasas paralelas, la mayor parte acuíferas también, y cuyas aguas aumentarían el gasto actual de esas obras. Además, como casi nada se han avanzado los frentes sobre las diaclasas acuíferas cortadas ya por estos socavones, es muy probable que al avanzar éstas, se corten otros ramales acuíferos dentro de la misma diaclasa, y al facilitar así el desagüe de esta última, aumentará el volumen de agua que sale de cada una de ellas en la actualidad.

No basta dice Rutot,¹ que el geólogo indique la presencia del agua en el subsuelo, por exactas y científicas que sean sus informaciones, sino que necesita decir también la manera de tomar posesión de ella, aunque sin entrar en detalles técnicos. Por este motivo me voy á permitir indicar las siguientes obras que tienen por objeto procurar el aumento de la cantidad de agua que ahora sale por los socavones mencionados.

En el socavón San Francisco conviene continuar su

¹ A. Rutot. A propos des nouvelles instruction a suivre pour l'étude des projets d'alimentation d'eau potable des communes de France. Bull. Soc. Belg. Geo. Paleo. d'Hydro. Tomo XV. 1901, págs. 85-86.

frente con el rumbo 80° S.W. que lleva esta obra en su último tramo. Al prolongar este socavón se cortarán diaclasas 10° N.W., y en éstas, aun cuando en su corte den poca agua, conviene abrir frentes siguiéndolas, para alcanzar las partes más amplias de las fracturas que serán las que den mayor cantidad de agua. Con este último fin conviene también abrir frentes en las dos diaclasas ya cortadas por esta obra, y principalmente en la que pasa por la lumbrera de ventilación, y prolongar estas frentes tanto hacia el Norte como al Sur, siguiendo siempre la dirección de las mencionadas diaclasas.

En el socavón Arroyo Hondo, conviene prolongar su frente para cortar nuevas diaclasas; y aun cuando la dirección del socavón no es normal al rumbo de estas grietas, es bueno continuarlo así, hasta llegar más adentro del cerro en que está abierto para seguirlo después hacia el S.E. Además, deben abrirse frentes en las diaclasas acuíferas que se encuentren, y desde luego en la que pasa por el crucero Sur número 4, ó sea cerca del actual tope del socavón, y prolongar estas obras, tanto al Norte como al Sur.

El piso de todas estas obras debe estar más alto que la plantilla del canal que se está construyendo para conducir estas aguas; y así podrá abrirse en el piso de las obras el caño para dar salida á las aguas, el fondo del cual estará también un poco más alto que la plantilla del canal mencionado.

Las obras posteriores se prolongarán teniendo siempre en cuenta la topografía del terreno, para evitar invasiones de las aguas corrientes superficiales.

C. *¿No habrá peligro al hacer estas obras de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos, y de que se sequen éstos para siempre ó periódicamente?*

No hay peligro alguno.

Dos especies de obras he propuesto anteriormente: unas normales á la dirección general de las diaclasas acuíferas; y las otras siguiendo á estas mismas grietas. Las primeras tienen por objeto cortar nuevas diaclasas paralelas á las que cruzan los socavones; y como estas grietas son distintas para cada grupo de manantiales, por las razones ya indicadas, las aguas que puedan brotar hasta el nivel de estas obras al cortar nuevas diaclasas no influirán en el gasto de las ya descubiertas, puesto que provienen de receptáculos subterráneos distintos. Las segundas obras propuestas tienen por objeto encontrar nuevos ramales acuíferos existentes en las mismas diaclasas; y como estos ramales son trayectos distintos que siguen las aguas en su circulación por esas grietas, á medida que se corte mayor número de estos canales, el desagüe de la diaclasa será más rápido y producirá más agua; sin que este aumento de gasto modifique el régimen constante que hoy tienen los manantiales de estos socavones, por los motivos indicados ya al tratar la cuestión A ó sea que: la región de alimentación de esos receptáculos es bastante extensa, y lejana del lugar en que se encuentran estos manantiales.

Existe aquí la creencia de que ningún manantial debe tocarse porque se seca, al romper la capa impermeable que impide al agua su descenso vertical á mayor profundidad. Esto, que á veces es cierto, cuando los receptáculos acuíferos subterráneos están contenidos en

rocas de permeabilidad continua, superpuestas á rocas impermeables, y en los cuales la circulación de las aguas se verifica por los poros de la roca permeable, no debe generalizarse para todos los manantiales; porque ni todos los receptáculos acuíferos subterráneos son de la misma forma aparente en su región activa, ni están contenidos en rocas de la misma clase de permeabilidad, ni la circulación de las aguas se verifica de la misma manera en todos ellos; y en muchas localidades se encuentran estos receptáculos unos arriba de otros, y sucede á veces que: al romper la capa impermeable que sirve de fondo á uno de ellos, brota el agua de otro receptáculo más bajo, aguas detenidas en su movimiento ascendente por la referida capa impermeable. Según esto, cada caso es un problema local, como dije antes, y que debe estudiarse á fondo, alejándose de las generalizaciones que en asuntos de hidrología interna no conducen á buenos resultados. En el presente caso, los receptáculos están contenidos en rocas de "permeabilidad en grande," permeabilidad localizada debida al agrietamiento de la roca, y que desaparece á la profundidad cuando concluyen ó se estrechan mucho las referidas grietas. Así, la misma roca que es permeable en la superficie, se vuelve impermeable á un nivel inferior y constituye el fondo del receptáculo acuífero, fondo que en el presente caso se encuentra á mucha profundidad por las razones ya indicadas. Además, las obras se van á ejecutar en la parte del receptáculo en la cual la circulación del agua es ascendente, y por lo mismo, saldrá ésta por el socavón en vez de seguir ascendiendo, por ser el primer trayecto el que presenta menor resistencia al movimien-

to. Como en los diferentes ramales acuíferos contenidos en una misma diaclasa la fuerza ascensional del agua es diferente, en los niveles superiores el agua no brotará por todos ellos; y por lo mismo, á medida que el piso del socavón que se haga para captar estas aguas, sea más bajo, la cantidad de agua captada podrá ser mayor, pero saldrá á menor altura; y como en el caso presente ya está fijado el límite inferior para el nivel del piso del socavón, por la plantilla del caño construído para conducir las aguas al Batán, no se puede bajar más el piso de las obras, aun cuando esto produciría mayor cantidad de agua.

D. *¿Pueden abrirse nuevos socavones río abajo de los dos anteriores, sin perjudicar los manantiales descubiertos ya por éstos, ni los que puedan descubrirse al prolongar el socavón San Francisco?*

En términos generales: no deben abrirse esos socavones.

Como acabo de decir, al ser cortada una diaclasa acuífera por un socavón, el agua tiende á salir por la obra artificial; y así, al abrir socavones más bajos que los ya existentes para cortar las diaclasas cruzadas por éstos, las aguas tenderían á salir por las obras más bajas, se impediría el ascenso de aquellas á los socavones más altos ya existentes, y el gasto de estos últimos podría llegar á ser nulo. Según esto, no deben abrirse esos socavones más bajos, sino hasta que el socavón San Francisco haya llegado á su completo desarrollo por el W.; y siempre que esas nuevas obras no tiendan á cortar á las mismas diaclasas que produzcan

agua en los socavones superiores, sino únicamente á las que se encuentren más al W. que el tope del socavón San Francisco ya prolongado.

E. *¿Por el canal que se ha construído podrán correr todas las aguas que produzcan las nuevas obras de captación que se emprendan en esa zona?*

Sí correrán, porque el piso de todas las obras propuestas estará más alto que la plantilla de este caño al salir de los socavones; y además, esas obras explorarán todas las diaclasas acuíferas de la zona: las del socavón San Francisco por el Poniente, y las de Arroyo Hondo por el Oriente de la referida zona. Por último, estas obras harán el drenaje del banco de arena¹ en que tienen que abrirse, y darán salida á las aguas superficiales que provengan de la infiltración de las lluvias caídas en las cercanías, y de las aguas que bajan por los arroyos de esa región, como lo está haciendo ya el crucero primero del socavón Arroyo Hondo.

F. *¿Qué obras deberán hacerse para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote?*

Las siguientes, aunque no creo que ese aumento sea notablemente considerable para poderlo utilizar como fuerza motriz.

En esta zona, las diaclasas no son muy frecuentes;

¹ Véase E. van den Broeck. Quelques considérations sur la perméabilité du sol sur l'infiltration pluviale et sur la condensation souterraine des vapeurs d'eau à propos des recherches et exposés de MM. Worré et Duclaux. Bull. Soc. Belg. Géo. Paléo. d'Hydro. Tome X, 1896. Proc. Ver., pág. 103.

la cantidad de agua que producen á nivel de la barranca es pequeña, y por lo tanto no es de esperarse un aumento muy considerable al cortar otras grietas con las obras siguientes:

Prolongar el socavón llamado El Zapote, abriendo lumbrera de ventilación, y en las diaclasas acuíferas que se corten abrir frentes hacia el N.E. y el S.W. siempre siguiéndolas á rumbo. Abrir frentes hacia el N.E. y S.W., siguiendo la diaclasa acuífera ya cortada por esa obra, y que se encuentra á 33 metros aproximadamente del tope actual del referido socavón. Enfrente de este último, en la margen derecha del arroyo El Zapote, y en donde se observan pequeñas filtraciones, puede abrirse un socavón 80° N.E., y romper frentes en las diaclasas acuíferas que se corten, las cuales, repito: ni serán muy abundantes, ni producirán mucha agua, como no la producen las ya cortadas.

G. *¿Hay aguas artesianas brotantes en la planicie de Amascala?*

Brotantes por perforaciones verticales, probablemente no se encontrarán.

Cerca de Chichimequillas, y á mayor altura que Amascala, existe, como he dicho, una diaclasa acuífera cuyas aguas brotan hasta la superficie del suelo, aunque en pequeña cantidad; pero como las diaclasas en esta región son distintas para cada grupo de manantiales, y no están en relación hidrostática, por este hecho no puede decirse que: en todas las diaclasas acuíferas de la planicie de Amascala, el agua puede ascen-

der hasta la superficie del suelo. En cambio, existen varios hechos que indican dos cosas, y son: que sólo en una faja de terreno que se extiende de las cercanías de las casas de Amascala para Atongo, con un rumbo aproximadamente igual al de las fracturas en esta región, 20° á 35° N.E., existen diaclasas acuíferas cuyas aguas llegan hasta muy cerca de la superficie del suelo; y que esta altura máxima de ascenso de las aguas es aproximadamente el nivel de la casa de la hacienda de Amascala. En efecto, en las cercanías de esta casa, tanto al Sur como al Norte, existen ciénegas, una de las cuales, la más grande, produce alguna cantidad de agua por los tajos que se le han hecho. En esta misma faja, y hacia el Norte, para donde sube el terreno, se encuentran las norias de Atongo y Puerta del Jaral, así como la perforación que mencioné en otro lugar, y en todos estos puntos el agua se encuentra á poca profundidad, ocho á diez metros; y fuera de esta faja, las norias son muy profundas para alcanzar el agua. Como se ve, en esta faja estrecha es en la única en que se encuentra agua á poca profundidad, pero no es brotante; además, las diaclasas de esta región están bastante paradas, son muy irregulares los trayectos que sigue el agua dentro de estas grietas; y por último, no son éstas muy abundantes á la profundidad.¹ Creo que los anteriores fundamentos, y sabiendo que el subsuelo de la planicie de Amascala está formado por rhyolitas y tobas rhyolíticas, son suficientes para decir que: las perforaciones verticales en esta

1 F. C. Chamberlin. Les Puits artésiens. Bull. Soc. Belg. Géo. Paléo. d'Hydrolog. Tome IX, 1895, págs. 7-8.

planicie no encontrarán probablemente aguas brotantes hasta la superficie del suelo.

Las aguas, que por distintos ramales ascienden en las diaclasas de la faja mencionada, se extienden, al llegar al máximo de su ascenso, en las tobas rhyolíticas porosas adyacentes á su trayecto, y se forman lentes acuíferas con aguas freáticas casi superficiales, y en las cuales el agua se eleva un poco más por efecto de la capilaridad. El agua de estas lentes aisladas, tanto en las ciénegas referidas como en las cercañas de las norias del Jaral y Atongo, puede hacerse correr en la superficie del terreno: abriendo tajos 20° N.E., y en la prolongación de éstos, socavones también 20° N.E., con cruceros al E. y W. Estas obras harán el drenaje de las lentes mencionadas y podrán descubrir tal vez los ramales acuíferos de las diaclasas, facilitando así su desagüe. Para localizar estas obras, es conveniente deslindar primero las referidas lentes, haciendo varios sondeos de poca profundidad dentro de la faja mencionada, y tener el plano exacto y acotado de este último; porque, si bien es cierto que el relieve del suelo no tiene ninguna influencia sobre la propagación de las aguas subterráneas,¹ en el presente caso esos datos son indispensables para hacer un buen trazo, que: á la vez que llene por completo su objeto, las obras resulten lo más económicas que sea posible. La cantidad de agua que salga por estas obras no creo que sea notablemente abundante: tanto porque es estrecha la zona de diaclasas, como por estar relativamente alta la referida planicie de Amascala; y pocos

1 Félix Marbontin. Sur la propagation de eaux souterraines. Bull. Soc. Bel. Géo. Paléo. d'Hydrolog. Tome XV, 1901. Mém., pág. 217.

serán, por lo mismo, los ramales acuíferos cuyas aguas puedan subir hasta esta planicie.

CONCLUSIONES.

Como resumen de este estudio pueden deducirse las siguientes conclusiones:

Tanto al Norte, como al Este y Sur de Querétaro, existen varias planicies á alturas comprendidas entre 95 y 170 metros sobre esa población, y separadas por cerros aislados. El terreno es, en lo general, poco accidentado en los alrededores de Querétaro, y montañoso hacia el N.E., desde el Pinal de Zamorano para Tolimán, y los cerros Tenché y el Frontón.

Las lluvias son muy escasas al Norte, en las planicies de Montenegro, Amascala, El Lobo y La Griega; y son relativamente abundantes al Sur de Querétaro, en toda la región que atraviesa el río Huimilpan.

Toda la región estudiada está formada por rocas pliocenas y pleistocenas: rhyolitas cubiertas por tobas rhyolíticas, y entre estas últimas intercalados, á veces, bancos de arena; encima se encuentra una corriente de rhyolita axiolítica, en la parte Sur de la región estudiada; y sobre las tobas rhyolíticas se hallan lavas labradoríticas, cubiertas en partes por "caliches."

Existen en la región sistemas conjugados de diaclasas, producidas por esfuerzos de presión, y que desempeñan gran papel en la circulación subterránea de las aguas que brotan por los manantiales de esa localidad.

Varios manantiales se encuentran en la región estudiada: tanto en Chichimequillas como en la cañada

de Hércules, en el arroyo llamado "lo de Casas," y en la barranca del Zapote. Estos manantiales están á diversas alturas, sus aguas son termales, y tanto su gasto como la temperatura del agua, son constantes en todo el año. Hay también aguas freáticas, casi superficiales, en la planicie de Amascala; y profundas, en la del Lobo y La Griega.

La mayor parte de las aguas que brotan por los manantiales de los alrededores de Querétaro, no son el resultado de la infiltración de las lluvias caídas en el suelo próximo; el trayecto subterráneo de estas aguas no es superficial y casi horizontal, sino que por el contrario es vertical y profundo en gran parte; y la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos, por donde circulan estas aguas, es en diaclasas localizadas y distintas para cada manantial ó para cada grupo de manantiales, y no están todos éstos en relación hidrostática. Existen también, en las planicies antes mencionadas, lentes acuíferas con aguas freáticas.

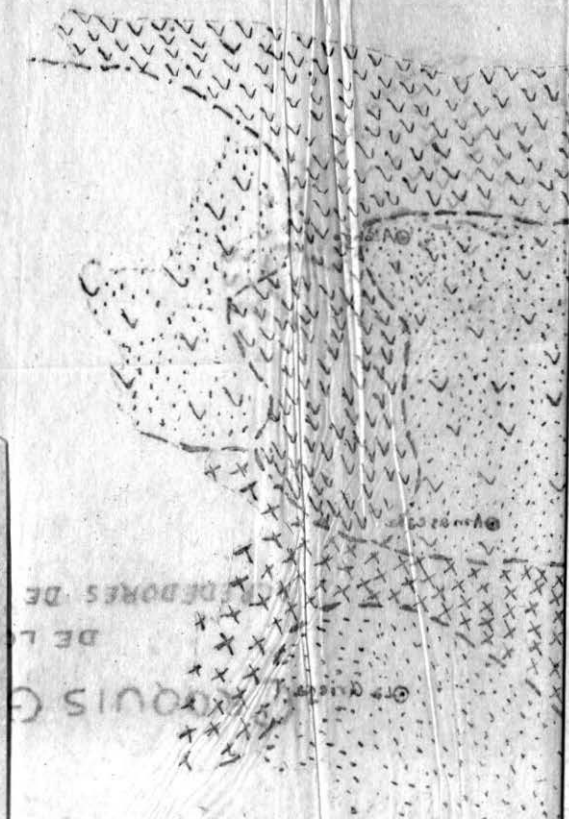
Pueden desagüarse por el fondo las albercas de la Cañada de Hércules, sin que se modifique el régimen constante de esos manantiales. Las aguas serán de composición constante; pero es conveniente establecer el perímetro de protección indicado, para evitar que se contaminen éstas al llegar á la superficie del suelo, y para asegurar el gasto de los referidos manantiales.

Puede aumentarse la cantidad de agua que actualmente sale por los socavones de San Francisco y Arroyo Hondo, emprendiendo las obras indicadas, sin que haya peligro, al hacer estas obras, de que se altere el régimen de los manantiales ya descubiertos por los

socavones. No deben abrirse nuevos socavones abajo de los anteriores sino hasta que el socavón San Francisco haya llegado á su completo desarrollo por el W., y siempre que esas nuevas obras sólo traten de cortar diaclasas que se encuentren más al W. que el tope de este socavón ya prolongado. Las obras propuestas harán la exploración completa de todas las diaclasas acuíferas de esa zona, darán salida á las aguas que provengan de la infiltración de las lluvias caídas en las cercanías, y todas las aguas que produzcan podrán correr por el canal que se está construyendo para llevarlas al Batán, con objeto de aprovecharlas como fuerza motriz.

Para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca El Zapote pueden hacerse las obras indicadas, aunque no creo que ese aumento sea notablemente considerable para poderlas utilizar como fuerza motriz.

En la planicie de Amascala probablemente no se encontrarán aguas brotantes por perforaciones verticales; pero el agua de las lentes acuíferas aisladas de esa planicie puede hacerse correr en la superficie del terreno, abriendo las obras indicadas, las cuales no se pueden localizar hasta que estén deslindadas estas lentes por varios sondeos, y levantando el plano exacto y acotado de la faja de terreno en que se encuentran; datos indispensables para que las obras resulten lo más económico que sea posible. La cantidad de agua que salga por estas obras no creo que sea notablemente abundante por las razones indicadas al final de este estudio.

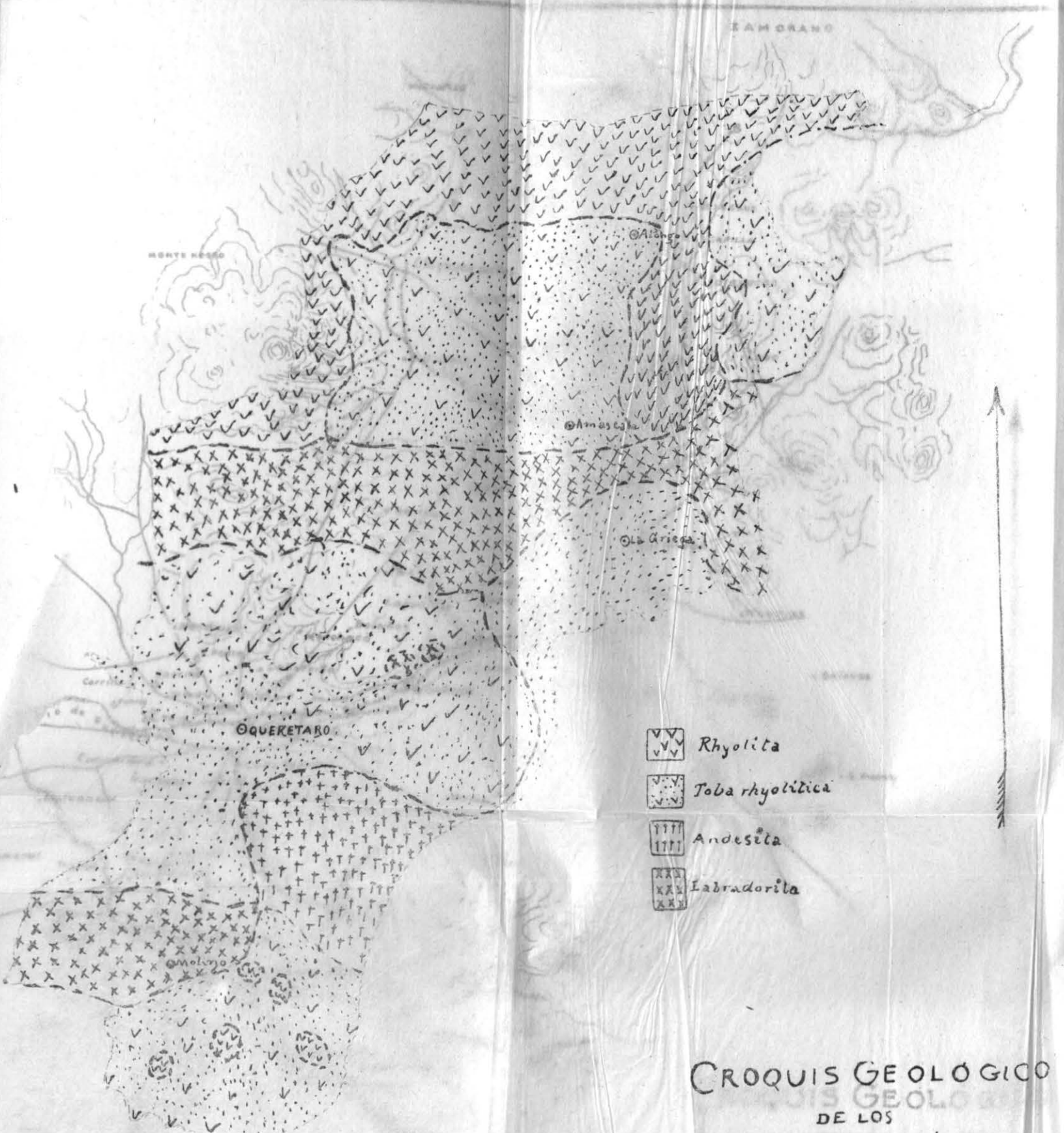


DE L
DEBRES DE
G

Toda República

RH 10/12

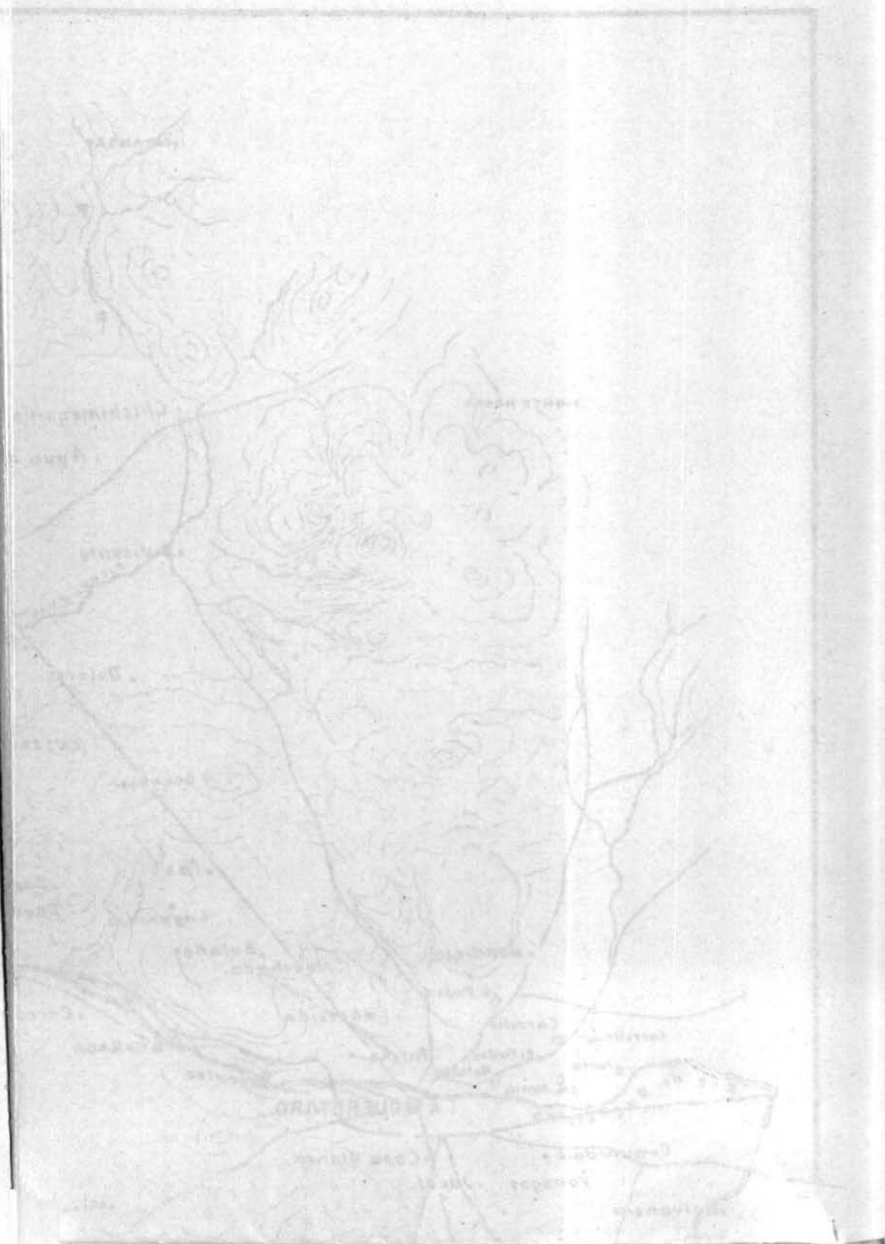


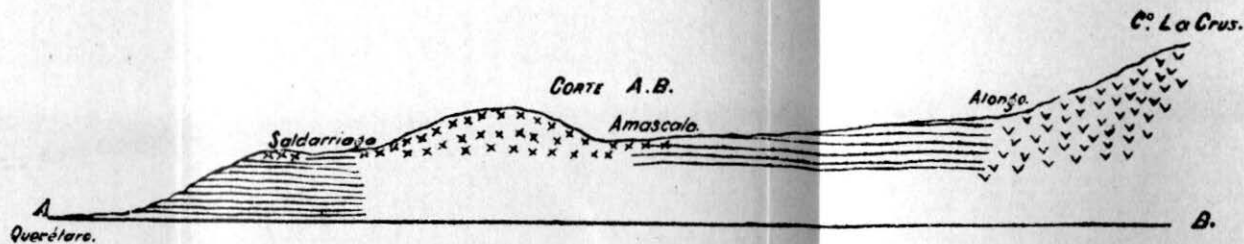


-  Rhyolita
-  Toba rhyolitica
-  Andesita
-  Labradorita

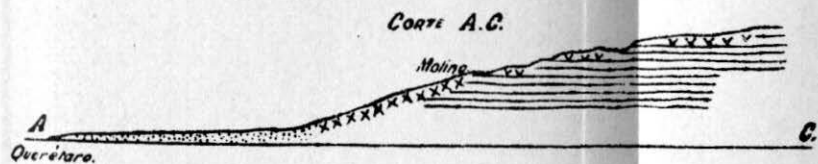
CROQUIS GEOLOGICO
 DE LOS
 ALREDEDORES DE QUERÉTARO




ESCALA - 1:200,000





Escalas { Horizontal — 1: 200.000
Vertical — 1: 10.000.



-  Rhyolito
-  Labradorita
-  Tabas rhyolíticas

