HIDROLOGIA SUBTERRANEA DE LOS ALREDEDORES DE MONTENEGRO.

(ESTADO DE QUERÉTARO).

por el Ingeniero de Minas Juan D. Villarello.

Al Norte de Querétaro, Capital del Estado de su nombre, y á unos veinticinco kilómetros de distancia, se encuentra la hacienda de Montenegro, situada en el extenso valle que designaré con el nombre de Legarreta. Este valle hidrográfico que desciende de Norte á Sur, se inicia en las faldas de los cerros llamados La Gotera, La Calera y Los Pelones; desciende por las planicies de Jofre, Buena-vista y Montenegro; y por el lugar llamado El Salto continúa para Juriquilla, Jurica y Alvarado.

El gran valor comercial del valle Legarreta es debido no solamente á su extensión, sino á la magnífica calidad de sus tierras de labor. La importancia industrial de esa región se aumentaría notablemente si pudiera hacerse la irrigación de todas esas tierras; pero como las lluvias son por allí escasas, las presas que se han construído, tanto en Santa Catarina como en Puerto Pinto, no han dado todo el resultado que de ellas se esperaba. La primera de estas presas tiene una capacidad (según informes) de seis millones de metros cúbicos; pero es raro el año en que se llena de agua, y por lo general está casi vacía.

En vista de lo anterior, y con el objeto de obtener agua para la irrigación de aquellas tierras, el Sr. Antonio Legarreta, siguiendo las indicaciones y consejos de algunas personas, invirtió sumas considerables en obras de captación de aguas subterráneas. Estas obras han consistido hasta ahora: en tajos abiertos en las cercanías de San Antonio y en los cerros de La Gotera; y también en un tunel muy ramificado y de gran desarrollo abierto en el subsuelo de la planicie de Jofre. El resultado de estas obras de captación de aguas no fué el esperado, y yo creo que estas obras en vez de ser benéficas, fueron nocivas á las tierras de labor, y contrarias al fin que con ellas se deseaba alcanzar; pues como se verá después: en lugar de obtener agua para irrigación, se han desecado las tierras de labor, por haber hecho el drenaje de estas últimas.

En vista del fracaso de las obras anteriores se pensó después en abrir pozos artesianos; pero la Testamentaria Antonio Legarreta no quiso aventurarse en la costosa empresa de perforar los referidos pozos, sin conocer antes la opinión de un geólogo: y de que este último, en caso favorable, indicara los lugares en donde deberían hacerse las referidas perforaciones. Con este objeto acudieron á mí los interesados, y el haber aceptado yo tan honrosa comisión me permite escribir ahora el siguiente estudio, relativo á la hidrología subterránea de toda la Municipalidad de Santa Rosa, perteneciente al Distrito del Centro, en el Estado de Querétaro.

FISIOGRAFIA.

El valle que he llamado Legarreta está limitado: al Norte y Norte-Oriente por los cerros de La Gotera; al Norte-Poniente por los de La Calera y Los Pelones; al Poniente, por los elevados cerros de Tábula, La Rochera y Los Colorados; al Sur-Poniente, por los cerros de San Miguel y del Estudiante. Al Sur desciende el valle para Juriquilla, Jurica y Alvarado. Al Sur-Oriente se levantan los cerros llamados Tetillas; y al Oriente está limitado el valle Legarreta por los cerros de Media Luna cerca de Montenegro, y por el Cerro Alto de Jofre al Este de la planicie de este último nombre. (Véase la Lámina adjunta).

En el valle Legarreta se levantan los cerros aislados conocidos con los nombres de Pie de Gallo, El Buey y los dos cerros de La Chata. El cerro del Buey limita por el Sur á la planicie de Jofre, y obliga á las aguas á seguir en su descenso para Montenegro uno de dos caminos: ó entre el cerro mencionado y el de Jofre por el lugar llamado Puerto Pinto, en donde está la presa de este nombre; ó entre el mismo cerro del Buey y el de Pie de Gallo, para la presa de Santa Catarina.

Los cerros de La Gotera están coronados, hacia el Norte-Oriente por la pequeña meseta llamada de Los Chiles; y al Norte, hacia el lugar llamado Puerto Carroza, están coronados por la extensa meseta de San Diego. Al Norte de esta mesa el terreno desciende por La Venta para San José de Iturbide en el Estado de Guanajuato.

Las faldas de los cerros El Estudiante y Tetillas descienden hacia el Sur por Juriquilla; y en las cercanías de Alvarado se reúnen los cañones de Rancho Largo y El Salitre con el que desciende del Salto, cañones que por erosión han surcado á las corrientes de basaltos y tobas basálticas que describiré más adelante.

Por el Oriente, la falda del cerro Media Luna desciende para el lugar llamado Solana. En este lugar las aguas se dividen: una parte se dirige primero hacia el Norte-Oriente para Chichimequillas, y después sigue por Amascala y la cañada de Querétaro para el río de este nombre; y otra parte se dirige al Norte-Poniente, y por el cañón el Mezquital entra á la planicie de Montenegro, para seguir después por El Salto, Juriquilla y Jurica para Alvarado.

De Querétaro hacia el Norte el terreno se eleva en unas partes con suave pendiente, formando planicies poco inclinadas, y en otros lugares la pendiente es mucho mayor. Estos últimos forman una serie de escalones que separan entre sí á una de otra planicie, y de los cuales pueden mencionarse tres entre Querétaro y la Mesa de San Diego. En efecto, al Norte de Querétaro el terreno se eleva primero con suave pendiente por San Pablo y los ranchos de Providencia y Alvarado; después, de Jurica por Juriquilla para Santa Rosa, el terreno se eleva con mayor pendiente hasta alcanzar en Santa Rosa una altura de 140 metros sobre Querétaro. Este primer escalón separa la llanura de Montenegro de la planicie ligeramente inclinada que de Alvarado se extiende al SE. y al SW. para el valle de Querétaro. De Santa Rosa se eleva el terreno con poca pendiente para la hacienda de Montenegro, la cual se encuentra á 165 metros sobre Querétaro; y más al Norte de Montenegro con mayor pendiente sube el terreno hasta Puerto Pinto, 50 metros arriba de Montenegro. Este segundo escalón separa la extensa planicie de Jofre de la que se prolonga de Montenegro para Santa Rosa. De Puerto Pinto para Jofre y Jofrillo el terreno sube solamente 20 metros en seis kilómetros, hasta alcanzar en Jofre una altura de 235 metros sobre Querétaro; pero de Jofrillo por Ojo de Agua para Puerto Carroza la pendiente es mucho mayor, hasta llegar el terreno en este último lugar á una altura de 80 metros sobre Jofre, ó sean 315 metros sobre Querétaro. Este tercer escalón separa la planicie de Jofre de la Mesa de San Diego, la cual desciende con suave pendiente de Puerto Carroza para San José de Iturbide, pasando por la hacienda de San Diego y La Venta, lugares que se encuentran respectivamente á 300 y 275 metros arriba de Querétaro.

La forma general del terreno en el valle Legarreta se explica fácilmente si se tienen en cuenta la naturaleza y edad relativa de las rocas que afloran en esa región. Como se verá después, los cerros de La Rochera, Pie de Gallo, El Buey, los de la Chata y el de Media Luna, están constituídos por una andesita amphibólica, roca que está

cortada y en partes cubierta por el basalto pobre en olivino de los cerros llamados Colorados y Tetillas. Este basalto se extiende en corrientes alternadas con tobas basálticas blancas ó amarillentas, de los Cerros Colorados hacia el Sur y Sur-Este. Estas corrientes pudieron extenderse para el Sur formando un plano inclinado desde El Estudiante y Tetillas para Alvarado; pero hacia el Este, las referidas corrientes tendieron á rellenar la depresión entonces existente entre los cerros basálticos de Tetillas y Colorados, y los andesíticos de La Rochera, El Buey y Media Luna. Esta depresión rellenada por las mencionadas corrientes de basalto y tobas basálticas, y también con productos de erosión de los cerros circunvecinos, constituyó después la llanura de Montenegro, la cual quedó separada de la de Alvarado por el escalón que formaron las corrientes alternadas de basaltos y tobas basálticas, que se extienden al Sur de Montenegro.

La planicie de Jofre está limitada al Norte-Poniente, Norte, y Norte-Oriente, por los cerros de la Calera, Puerto Carroza y los de La Gotera. Los de La Calera, como se verá después son los cerros más antiguos de la región, y están constituídos por pizarras sericiticas, y por calizas; y los de Puerto Carroza y La Gotera están constituídos por rhyolitas cubiertas por tobas rhyolíticas, rocas que se extienden para el Norte-Oriente, y también al Sur-Oriente por Chichimequillas y El Lobo. Al Sur, la planicie de Jofre está limitada por los cerros andesíticos del Buey y Pie de Gallo. En cambio, hacia el Oeste se levantan cerros menos antiguos que los anteriores, y que están formados por basaltos y tobas basálticas. Estas últimas rocas, durante su eyección, tendieron á rellenar la depresión entonces existente entre los cerros de La Calera, La Gotera y El Buey, hasta llegar á formar la llanura de Jofre, á la cual limitaron los cerros basálticos por el Oeste. Rellenada así la antigua depresión quedó formada la planicie de Jofre, y separada ésta de la de Montenegro por los cerros andesíticos del Buey y Pie de Gallo, cerros que sirvieron como de barrera por el Sur, para impedir en parte el descenso por ese lado de las corrientes de basalto y tobas basálticas, que llenaron á la depresión que entonces existía en Jofre. Los basaltos y tobas basálticas sólo pudieron pasar de Jofre para Montenegro entre el cerro Pie de Gallo y los de La Rochera; y también, entre el mismo cerro Pie de Gallo y el del Buey, por el lugar llamado Santa Catarina. Estos cerros, que fueron antes la barrera que separaba á las depresiones de Jofre y Montenegro, son ahora un escalón que separa á las depresiones anteriores ya rellenadas, y trans-

formadas en las planicies de Jofre y Montenegro. De igual manera, los cerros de La Calera y La Gotera, que antes separaban á la depresión de Jofre de la de San José de Iturbide, son el escalón que separa ahora la planicie de Jofre de la Mesa de San Diego.

Sobre la rhyolita y toba rhyolítica, de los cerros La Gotera para Puerto Carroza se extendió una corriente de basalto, la cual fraccionada después por erosión, constituye ahora las mesetas aisladas de Los Chiles y San Diego, mesetas que coronan como he dicho á los cerros de La Gotera.

En los cerros de La Calera además de la erosión mecánica que ha experimentado la roca, las aguas pluviales han disuelto en parte á la caliza; y el carbonato de cal ha sido depositado más abajo por las mismas aguas, formando una cubierta más ó menos gruesa de "caliche." En estos cerros, en los lugares en que la erosión ha puesto á descubierto á las pizarras sericíticas, se observan en estas últimas profundas barrancas formadas por la acción de las aguas en su descenso para la planicie de Jofre.

El relieve de la región de La Gotera poco accidentado antes, por estar constituida aquella parte principalmente por tobas rhyolíticas en corrientes que cubren á un núcleo rhyolítico, ha sido modificado notablemente por erosión. En efecto, las corrientes de tobas rhyolíticas, que á veces están cubiertas por corriente de basalto, fueron cortadas por erosión, y se formaron barrancas que quedaron coronadas: ó por las corrientes de basalto, como sucede cerca de la mesa de Los Chiles; ó por acantilados de tobas rhyolíticas, como sucede por los lugares llamados La Gotera y El Terrero. Estas tobas agrietadas en los acantilados, se fraccionan en grandes blocks que descienden de las paredes al fondo de las barrancas, y de allí son arrastrados por las aguas. De esta manera las barrancas se han ido ensanchando, y se han formado grandes cañones, como son: los de La Borrega, el de Pozo Blanco, el del Mastranzo y otros varios.

La forma de los cerros andesíticos llamados Pie de Gallo, El Buey, La Chata y Media Luna, es más ó menos arredondada; y los cerros andesíticos La Culebra, El Arrastradero y La Rochera, están surcados por las barrancas abiertas por erosión, y conocidas por los nombres de El Saucillo y El Ahuacate, las cuales se reúnen en las de La Rochera.

Los cerros basálticos son poco accidentados; pero tanto estos como los andesíticos, elevan sus cimas á 200 y 400 metros sobre el nivel de Montenegro.

La planicie de Jofre desciende como he dicho, del Norte hacia el Sur. La línea de menor pendiente en esta planicie es la que va de Jofre por San Antonio para el cerro del Buey; y las líneas de mayor pendiente descienden de Jofre para Puerto Pinto, y de Jofre por Buena Vista para Santa Catarina. Según esto, en la planicie de Jofre existe una línea elevada que separa dos zonas bajas, las cuales descienden de Norte á Sur: una al pie del Cerro Alto de Jofre, desde La Pileta para Puerto Pinto; y la otra al pie de los cerros de Tábula, desde La Calera, por Buena Vista, para Santa Catarina. Por estas partes bajas circulan en la superficie del terreno las aguas que de Jofre descienden para Montenegro; y en las planicies de estos dos últimos nombres se deposita el producto de la erosión de los cerros circunvecinos, depósito que tiende á hacer desaparecer las pequeñas irregularidades en el relieve de las mencionadas planicies.

* * *

Como se comprende por la descripción anterior, las aguas superficiales que bajan por el valle Legarreta son debidas únicamente á las lluvias caídas en el mismo valle. En efecto, los cerros que limitan á este valle por el Norte y el Oeste, se encuentran en la línea divisoria de las aguas que por el Sur y Oriente descienden para el valle Legarreta, de las que por el Norte bajan para San José de Iturbide, y por el Oeste para Jalpa; y los cerros que por el Oriente limitan al mismo valle, están en la línea divisoria de las aguas que por el Oeste bajan para el valle Legarreta, de las que por el Oriente descienden por Chichimequillas y Amascala para la cañada de Querétaro.

Las aguas pluviales de los cerros de la Gotera y de los de Jofre que descienden para el valle Legarreta, siguen en la planicie un trayecto casi de Norte á Sur, por la parte baja oriental de la planicie de Jofre hasta llegar al lugar llamado Puerto Pinto, al Este del cerro del Buey, y por allí penetran á la planicie de Montenegro. Las aguas que descienden de los cerros de La Calera, Los Pelones y Tábula, para el valle Legarreta, siguen por la planicie un trayecto también casi de Norte á Sur por la parte baja occidental de la planicie de Jofre, pasan por la de Buenavista, y entran á la llanura de Montenegro por Santa Catarina, lugar que como he dicho se encuentra entre el cerro del Buey y el llamado Pie de Gallo.

Las aguas pluviales que de Jofre entran á Montenegro por Puerto Pinto, unidas á las que de La Solana descienden por el cañón El Mezquital, así como las de las faldas Norte y Este del cerro

Media Luna, y las de los flancos Norte-Poniente de los cerros Tetillas, se dirigen hacia Santa Rosa, cabecera del Municipio de su nombre, y que se halla al Sur de la hacienda Montenegro. A este lugar llegan también las aguas que de Jofre y Buenavista entran á la planicie de Montenegro por Santa Catarina; y reunidas estas aguas con las anteriores, siguen un trayecto de Este á Oeste para salir por el lugar llamado El Salto, de donde continúan hacia el Sur por Juriquilla, Jurica y Alvarado. Por el Salto salen también las aguas que descienden de las faldas orientales de los cerros de La Rochera, Los Colorados y San Miguelito, las cuales se reúnen en un pequeño arroyo que se halla en la parte Poniente de la planicie de Montenegro.

Como se vé, toda el agua pluvial precipitada en la parte del valle Legarreta comprendida desde Puerto Carroza hasta El Salto, debería pasar por este último lugar; sin embargo, esto no sucede, pues la mayor parte de esa agua se emplea en el regadío de terrenos de Jofre, Buenavista y Montenegro, y otra parte se recoge en las presas de La Rochera, Santa Catarina y Puerto Pinto.

GEOLOGIA DE LA REGION.

Los sedimentos más antiguos que se encuentran en la región que estudio son las pizarras sericíticas y las calizas de los cerros del Macho y La Calera, situados al Norte-Poniente de Jofre.

Pizarras.—Las pizarras de toda esa región son sericíticas, de colores abigarrados, amarillo verdoso, gris y á veces rojo. Estas pizarras se exfolian en hojas muy delgadas, tienen caracteres petrográficos idénticos á las pizarras de Guanajuato y de Zacatecas, y por el examen microscópico que de ellas hice puedo decir que: se componen de sericita con fragmentos de cristales de feldespatos, y granos de cuarzo. Lo mismo que en Guanajuato, no encontré fósiles en estas pizarras; y por lo tanto, no puedo indicar la edad á que pertenecen. Estas pizarras están plegadas pero su inclinación general es hacia el Norte-Oriente. Afloran en una barranca abierta en los cerros del Macho, por los lugares llamados Agua Salada y Ojo del Macho.

Calizas.—Cubriendo á las pizarras antes mencionadas, y desde los cerros del Macho hasta La Calera, se encuentran estratos poco gruesos de caliza compacta y dura, de color gris azulado. Esta caliza, en la que tampoco encontré fósiles, (1) tiene un rumbo medio de

(1) Solamente estuve dos horas en estos cerros.

50° Norte-Poniente, con echado de 40° al Norte-Oriente. En algunas partes la caliza está muy plegada, y los pliegues son bastante cerrados.

Por los caracteres petrográficos de las pizarras y calizas mencionadas, al caminar por algunos lugares de los cerros del Macho se recuerda á las pizarras y calizas, de caracteres idénticos, que se encuentran en la zona del "bajo" de la Veta Madre de Guanajuato desde Peñafiel hasta Valenciana, y principalmente por los cerros de la Gloria, y las barrancas de Jolula y La Calera. En todas estas localidades de Guanajuato se encuentran capas de caliza de color gris azulado intercaladas entre las pizarras sericíticas de colores abigarrados. Estas rocas afloran en el Mineral de Guanajuato en grandísima extensión; y en cambio, el afloramiento de las pizarras en los cerros del Macho, del Estado de Querétaro, es bastante reducido, como dije anteriormente.

La actividad eruptiva en los alrededores de Montenegro se verificó durante el Neógeno, comenzando con la aparición de las andesitas, á la cual siguió la eyección de rhyolita, brechas y tobas rhyolíticas, para concluir con las erupciones de basaltos y tobas basálticas que mencioné antes.

Andesita. La andesita de color gris-claro constituye los cerros llamados La Culebra, Arrastradero, Crucitas, El Buey, La Rochera, Pie de Gallo, La Chata y Media Luna. Esta andesita se encuentra muy alterada en la superficie; y es la roca sobre la cual se apoyan en Montenegro las corrientes de basalto, como se puede ver en los cerros de La Rochera en las cercanías del lugar llamado Salitrera.

En algunos lugares la andesita es de un color gris-oscuro como se observa en la falda Sur-Poniente del cerro Media Luna, en las cercanías del pueblo Santa Rosa.

Rhyolita y Brechas rhyolíticas. La rhyolita de color gris ó rojo, y con gruesos granos de cuarzo, aflora en el arroyo llamado La Calera, en el Puerto Carroza, y en otros lugares de los cerros de La Gotera.

La rhyolita está cubierta por brechas y tobas rhyolíticas en las que la pomez es abundante. Estas tobas, de color gris claro, cubren á núcleos de rhyolita, y se extienden en corrientes sureadas por erosión.

Las tobas anteriores constituyen una gran parte de los cerros de La Gotera, y se extienden al Sur-Este para Chichimequillas. Las mismas tobas descienden para la parte Norte-Oriente de la planicie de Jofre, y constituyen por esta parte el subsuelo de la llanura.

La rhyolita, brechas y tobas rhyolíticas ocupan una gran extensión en esta parte del Estado de Querétaro; pues son ellas las que constituyen el elevado pico llamado Pinal de Zamorano, y su afloramiento se prolonga por los cerros de La Gotera, para Jofre, y por Chichimequillas y Cerro Blanco para El Lobo. Constituyen las brechas rhyolíticas el subsuelo de una parte de Amascala, y están cortadas por la cañada de Querétaro en los alrededores de Hércules.

El extenso campo rhyolítico pliocénico, que de la cañada de Querétaro se extendía por Amascala, El Lobo, Chichimequillas y los cerros de La Gotera para el Pinal de Zamorano, sirvió de apoyo á los basaltos y tobas basálticas blancas y amarillentas, que en varias corrientes se extendieron sobre el campo rhyolítico mencionado, modificando notablemente el relieve del suelo.

Basaltos.—Las labradoritas, ó basaltos pobres de olivino, de colores oscuros, gris ó negro, y de textura fluidal ó ampollosa, ocupan gran extensión en la zona de que me ocupo, y principalmente al Oeste del valle Legarreta.

Desde la parte S. W. de los cerros Pelones de Jofre, por Palo Dulce, La Chichita, Rancho Becerra, Loma del Chino, hasta el Pico de Tábula, se encuentra á la labradorita ó basalto pobre de olivino constituyendo todas las eminencias que se hayan en la parte poniente de la planicie de Jofre. En toda esta zona el basalto se encuentra en lajas, y es de color gris oscuro.

El Pico de Tábula está separado de los Cerros Colorados por los de La Rochera. Estos últimos cerros que son andesíticos, como dije antes, dividen por lo tanto en dos partes el afloramiento basáltico. La parte Norte de este afloramiento es la que indiqué antes, y que se extiende de los cerros Pelones para el Pico de Tábula; y la parte Sur del afloramiento basáltico se extiende de los Cerros Colorados, por la hacienda San Miguelito, y los cerros Estudiante y Tetillas, para Juriquilla, Jurica y Alvarado. El basalto de toda esta zona es de color gris-oscuro ó negro, y por lo general de textura ampollosa. El afloramiento del basalto anterior se prolonga hacia el Oriente, de Juriquilla y Jurica, por Salitre, para los cerros de Santa Cruz y la Griega.

Brechas y tobas basálticas.—Cubriendo en parte á los basaltos, y á veces intercaladas entre las corrientes basálticas, se encuentran brechas y tobas también basálticas, las primeras de color rojo, y las segundas blancas, rojas ó amarillentas. Las brechas de color rojo se encuentran en los Cerros Colorados, en el lugar llamado Salitrera,

y también en las cercanías del rancho Pie de Gallo, entre el cerro de este nombre y los de La Rochera.

Las tobas blancas ó amarillentas se encuentran en casi toda la extensión que ocupan las corrientes de basalto, extensión que indiqué antes; pero se hayan en mayor abundancia en los alrededores de Buenavista, desde Santa Catarina, por la base de los cerros de Tábula, para los cerros Pelones. Las tobas de color rojizo se encuentran entre los cerros Pie de Gallo y El Buey, por Santa Catarina, y se les ha encontrado á la profundidad en las norias de Montenegro.

Los basaltos, brechas y tobas basálticas que constituyen los picos elevados de Tábula y los Colorados, se extienden en corrientes á veces alternadas que descienden de Tábula para Buenavista y Jofre, llenando la depresión antes existente en aquel lugar, y forman ahora la mayor parte del subsuelo de la planicie de Jofre. Las rocas anteriores pasan de la planicie de Jofre á la de Montenegro, entre los cerros de La Rochera y Pie de Gallo, y entre este cerro y el del Buey, salvando la barrera andesítica que separa á las llanuras mencionadas. Los basaltos y tobas basálticas se extienden en corrientes alternadas de los cerros Colorados hacia el Este. Al Sur-Este descendieron por San Miguelito, El Estudiante y Tetillas, para Juriquilla, Jurica y Alvarado. Al Este descendieron para la depresión antes existente en Montenegro, y llegaron hasta el cerro andesítico llamado Media Luna, llenando en parte á la depresión de Montenegro.

Debajo de la tierra vegetal se encuentran en la planicie de Montenegro las tobas basálticas amarillentas ó rojizas, tobas que han sido cortadas por las norias abiertas en esa llanura. Estas tobas continúan á gran profundidad, sobre todo en las cercanías de Buenavista, como lo han demostrado los pozos y norias abiertas en busca de aguas subterráneas.

En la planicie de Montenegro, debajo de la tierra vegetal se hallan las tobas basálticas amarillentas ó rojizas; pero en algunos lugares, como sucede en las cercanías de la huerta de Montenegro, las norias han cortado entre la tierra vegetal y las tobas mencionadas á una arenisca que mencionaré más adelante.

En los cerros de La Gotera, principalmente por el Rincón de las Borregas y Pozo Blanco, las tobas rhyolíticas están cubiertas por tobas basálticas blancas ó amarillentas; y en algunos lugares, corrientes de basalto surcadas por erosión coronan, como he dicho, á

los cerros de La Gotera, formando mesetas como son las de Los Chiles y la de San Diego.

Los bordes de las corrientes de basalto y tobas basálticas se encuentran: ó en el contacto entre estas rocas y las andesitas que constituyen á los cerros ya mencionados, ó por los alrededores de Alvarado.

Areniscas.—Después de la formación de las rocas ígneas ya mencionadas, y sobre las tobas basálticas en unas partes, y en otras sobre la andesita, se depositaron capas de arena acarreada por las aguas y depositada en las depresiones del terreno. Esta arena cementada por una pequeña cantidad de arcilla constituye una arenisca poco dura, y fácilmente desagregable. La arena es por lo general de color obscuro, gris ó negro, y de grano arredondado de tamaño desigual, desde muy fino hasta un poco grueso. Estos granos se depositaron obedeciendo á una clasificación por tamaños, los más gruesos abajo y los más finos encima, formando lechos delgados casi horizontales. Esta clasificación por tamaños indica que el depósito de la arena se verificó dentro del agua que ocupaba la depresión del terreno; y además, este depósito se ha de haber repetido varias veces, porque se encuentran superpuestas varias series de capas de arena gruesa abajo y de arena fina encima.

La arenisca mencionada aflora: en la acequia honda llamada La Maroma, al Norte-Poniente de Montenegro; en la acequia de La Torna, en el camino de Montenegro para casa Blanca; en la Loma Demetrio; y se hallan también debajo de la tierra vegetal, y encima de las tobas basálticas de color rojizo, en las norias abiertas cerca de la casa de Montenegro.

*
* *

Como resumen de los datos geológicos anteriores puede decirse lo siguiente:

Después de haberse formado las pizarras y las calizas de los cerros llamados del Macho y La Calera, comenzó el período continental en esa región, pues no se encuentra otro sedimento posterior más que la arena que se depositó en las depresiones del suelo. Después del plegamiento de las pizarras y calizas, aparecieron las rocas ígneas terciarias, comenzando por la andesita de los cerros La Rochera, Pie de Gallo, El Buey, La Chata y Media Luna. En seguida tuvo lugar la eyección de rhyolitas, brechas y tobas rhyolíticas, rocas pliocénicas que constituyen los cerros de La Gotera, y que formaron el extenso campo sobre el cual se extendieron las corrientes pleistocénicas.

cas de basaltos pobres de olivino, brechas y tobas basálticas. Estas últimas rocas constituyen los cerros de Tábula, El Estudiante y Tetillas. Las corrientes anteriores se extendieron hacia el Este y Sur, y rellenaron en gran parte á las grandes depresiones existentes antes en Jofre y Montenegro.

Sobre las tobas rhyolíticas se extendieron en los cerros de La Gotera corrientes de basalto que fueron surcadas y fraccionadas por erosiones intensas; y es la erosión la causa principal de los accidentes que se observan en el relieve actual de los cerros situados en los alrededores de Montenegro.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

Indicada ya la orografía, hidrografía y geología de la zona en estudio, me falta para completar los datos de observación indicar los relativos á la hidrología.

Son varios los manantiales que se encuentran en el valle Legarreta; y en tanto que por unos sale agua fría, aproximadamente á la temperatura media del lugar, por otros sale agua á temperaturas mucho más elevadas. Estos manantiales se hallan en las tobas rhyolíticas; ó en las basálticas blancas ó amarillentas que se encuentran intercaladas entre las corrientes de basaltos.

Como manantiales por los cuales sale agua fría citaré los siguientes. El manantial La Gotera está á 2230 metros sobre el nivel del mar, se halla en tobas rhyolíticas superpuestas á un macizo rhyolítico, en el cual se encuentran fracturas 15° N.E. y 45° N.W. casi verticales. La temperatura del agua que sale por este manantial es de 21° C., y el gasto es pequeño é intermitente, pues en cierta época del año desaparece el agua en ese manantial.

El manantial El Terrero está á 2280 metros sobre el mar, la cantidad de agua que sale por él es insignificante, y la temperatura del agua es de 16° C.

En el Rincón de las Borrogas hay varios manantiales situados en las tobas, á 2220 metros de altura, y por los cuales sale muy pequeña cantidad de agua á 20° C. de temperatura.

En Pozo Blanco, á 2310 metros, está el manantial del mismo nombre, por el cual sale muy pequeña cantidad de agua á 20° C.

En el Mastranzo, á 2290 metros de altura, se halla el manantial del mismo nombre, por el cual sale poca agua á 20° C.

Todos los manantiales anteriores se hallan en los cerros rhyolíticos de La Gotera. En los cerros del Macho se encuentra el manan-

tial llamado Ojo del Macho; está situado en las pizarras sericíticas, y por él sale muy pequeña cantidad de agua á 20° C. En los cerros de La Rochera se encuentran los siguientes manantiales: el de la Loma Demetrio (2310 m.), el de La Salitrera (2250 m.), el de Tío Horduño (2340 m.), el Saucillo (2236 m.), y el del Ahuacate (2240 m.) Por todos estos manantiales sale muy pequeña cantidad de agua á 19° C., y los tres últimos están situados en la andesita.

Los manantiales más importantes de esa región son los que se hallan en el lugar llamado El Salto. Este lugar se encuentra en la falda del cerro El Estudiante, al Sur Poniente de Santa Rosa, en terrenos pertenecientes á la hacienda Juriquilla, y á 1935 metros sobre el nivel del mar. Por El Salto descendiendo hacia el Sur el valle Legarreta, y es el lugar más bajo por donde se comunica la llanura de Montenegro con el plano inclinado que forma el escalón que separa á la llanura anterior, de la planicie que de Alvarado se extiende al S. E. y al S. W. Por los manantiales del Salto sale regular cantidad de agua á 32° C., están situados en tobas basálticas, intercaladas entre corrientes de basalto pobre en olivino, y son los únicos manantiales termiales de la región.

El agua freática en el llano de Jofre se encuentra á 6½ metros de profundidad en las cercanías de San Antonio, lugar que se halla á 2035 sobre el mar; y en las cercanías de Jofre, que está á 2050 metros, la profundidad del agua freática es de 11½ metros. La temperatura de esta agua es de 18° C.

La profundidad á que se encontraba el agua freática en los lugares antes mencionados era mucho menor cuando no existían los tajos en San Antonio, y el túnel en el subsuelo de Jofre. Entonces el agua estaba á poca profundidad, y las norias eran también poco profundas. Después se abrió el tajo de San Antonio, cortando la tierra vegetal y las tobas basálticas que se encuentran debajo. Este tajo desempeñó desde luego su papel drenador, y al principio salía por él regular cantidad de agua. Más tarde, cuando ese tajo había hecho ya el drenaje de las tierras cercanas, la cantidad de agua que salía por él fué disminuyendo, y para que continuara el escurrimiento había necesidad de profundizar más el tajo. La disminución en la cantidad de agua que salía por el tajo mencionado, se atribuyó á la evaporación del agua y no á su verdadera causa. Esta última, como se comprende fácilmente, era la desecación del terreno por el tajo; de tal suerte, que á medida que iba disminuyendo la cantidad de agua contenida en las tierras que drenaba el tajo, disminuía tam-

bién la cantidad de agua que salía por ese tajo. Pero habiendo aceptado que la evaporación era la causa de que desapareciera el agua en el referido tajo de San Antonio se abrió en el fondo de éste un canal ancho, y se le cubrió con lajas de basalto. No obstante esto, y como tenía que suceder, llegó el momento en que no salió agua por el caño mencionado. Esto sucedió cuando el tajo había hecho el drenaje completo de los terrenos cercanos.

Como se ve, el tajo de San Antonio no llegó al resultado que se esperaba, no se obtuvo agua para la irrigación; pero sí se desecaron las tierras de labor cercanas, y bajó el nivel del agua en las norias de aquella región.

No obstante el fracaso anterior, se procedió á hacer el túnel que *ha hecho el drenaje del terreno en las cercanías de Jofre. Este túnel* tiene varios kilómetros de desarrollo, numerosas lumbreras y muchas ramificaciones en el subsuelo de Jofre. Por la boca de este túnel sale ahora una cantidad de agua insignificante, á 18° C. de temperatura; y sale agua todavía, porque aún está desarrollándose ese túnel, y á medida que va cortando terreno hace el drenaje del nuevo terreno cortado, y por lo mismo sale agua por la boca del túnel. Por toda la parte antigua del mismo túnel ya no entra agua á este último, porque en toda esa zona el drenaje está concluído, como lo comprueba la desaparición de los pequeños veneros que antes existieron en toda esa parte antigua del referido túnel.

Como se ve, tanto el tajo de San Antonio como el túnel de Jofre han hecho solamente el drenaje de las tierras de labor cercanas; y una vez *concluído este drenaje* desapareció el agua en el tajo de San Antonio, y desaparecerá también en el túnel de Jofre cuando se suspenda el trabajo de desarrollo de este último. Creo en vista de esto, como dije antes, que las referidas obras en vez de ser benéficas fueron nocivas, y contrarias al fin que con ellas se deseaba alcanzar; pues en lugar de proporcionar esas obras el agua necesaria para la irrigación de las tierras de labor cercanas, lo que se consiguió fué hacer el drenaje de las tierras, y que el nivel del agua freática descendiera bastante en las cercanías de los referidos drenes.

En los cerros de La Gotera se abrieron también varios tajos. Estos últimos permitieron la salida del agua contenida en los poros de las tobas rhyolíticas, rocas que como he dicho constituyen la mayor parte de los mencionados cerros; y una vez que se concluyó el drenaje de las tobas situadas arriba y en las cercanías de esos drenes, se acabó la salida de agua por los tajos.

El agua freática en la planicie de Montenegro está mucho más profunda que en la de Jofre. En efecto, por la huerta de la hacienda Montenegro hay dos norias, una adentro y otra afuera de la referida huerta. Los brocales de estas norias, que se hallan muy cercanos, se encuentran á 1975 metros sobre el mar; y el nivel del agua se encuentra en las dos norias á 49 metros de profundidad, ó sea á 1926 metros sobre el mar. En Santa Rosa hay también dos norias: una pertenece al pueblo de este nombre, y la otra es de la hacienda Montenegro. Estas últimas norias están muy cercanas una de otra, sus brocales se hallan á 1955 metros sobre el mar, y el nivel del agua en estas norias está á 36 metros de profundidad, ó sea á 1919 metros sobre el mar.

En el cañón El Mezquital se comenzó á abrir una noria en la andesita del cerro Media Luna, pero no se encontró agua. Cerca de Puerto Pinto se abrió otra noria, también en andesita, y encontró agua á una profundidad de 70 metros. Entre La Maroma y los cerros de La Chata, en la planicie que se extiende de Montenegro para el Norte, se han abierto norias que encontraron agua á poca profundidad; pero es el agua freática fría y en pequeña cantidad que se encontró también en las norias de la huerta de Montenegro, agua fría que se reúne en las norias de esa localidad como resultado del drenaje que hacen del terreno cercano. Por Santa Catarina se abrió otra noria también, la cual cortó corrientes de tobas amarillentas y de brechas basálticas de color rojo; pero no obstante que alcanzó bastante profundidad no se encontró el agua freática en esa zona. Tampoco se encontró el agua freática en la prolongación de la misma zona hacia el Norte, es decir, en las cercanías de Buenavista, y no obstante que en este lugar la noria alcanzó 70 metros de profundidad.

Cuando se comenzaron á abrir las norias de Montenegro antes mencionadas, y entretanto atravesaban á la tierra vegetal y á las capas de arenisca ya descritas, la cantidad de agua que podía extraerse de esas norias era pequeña, y la temperatura de la agua era aproximadamente la media del lugar, 19° C. Como esa cantidad de agua no era suficiente para los usos á los cuales se destina, hubo necesidad de profundizar más las norias, cortando entonces á las tobas basálticas rojas que se encuentran en el fondo de esas norias. Así se consiguió que el agua no se agote, que pueda extraerse de las norias toda el agua necesaria para usos domésticos y para abrevadero del ganado; pero no es ya agua fría la que se extrae á esa pro-

fundidad de las norias, sino que la temperatura del agua es muy superior á la media anual de la localidad, y es un poco diferente en las dos norias, no obstante estar tan cerca una de otra. Estas aguas termales tienen: 29° C. de temperatura en la noria que está dentro de la huerta mencionada, noria que tiene 50 metros de profundidad total; y 26° C. en la noria que está en los corrales fuera de la huerta, y que tiene 49 ½ metros de profundidad total.

En las norias de Santa Rosa, y no obstante estar muy cerca una de otra, la diferencia de temperatura del agua en una y otra es mucho mayor que la indicada antes para las norias de Montenegro. En efecto, la temperatura del agua en la noria de Santa Rosa, que pertenece á la hacienda Montenegro es 19° C.; y en la noria que pertenece al pueblo Santa Rosa la temperatura del agua es 27° C. Estas diferencias en las temperaturas del agua en norias cercanas, y que alcanzan profundidades aproximadamente iguales; así como la existencia de aguas freáticas termales á poca profundidad relativa en la llanura de Montenegro, procuraré explicarlas en este estudio más adelante.

En la región de que me ocupo existía la creencia de que el agua en su circulación subterránea pasaba de las norias de Montenegro para las de Santa Rosa, y de allí seguía para el lugar llamado El Salto. La creencia anterior no la creí yo justificada por varios motivos. En efecto, las diferencias tan notables en la temperatura del agua en norias muy cercanas no podría explicarse si por todas esas norias pasaba una corriente de agua subterránea, pues esta corriente única habría igualado la temperatura del agua en las norias cercanas. Además, la mayor altura que alcanza el agua en las norias de Montenegro es de 1926 metros sobre el mar, y en las norias de Santa Rosa la altura máxima es de 1919 metros; y la altura de los manantiales en El Salto es de 1935 metros sobre el nivel del mar. Estos datos eran suficientes para asegurar que no podía salir por los manantiales del Salto el agua de las norias mencionadas, en las cuales el agua está á menor altura que los manantiales. Sin embargo, como las alturas anteriores las determiné con aneroide temí no fueran muy exactas, y busqué una prueba más convincente para confirmarme en la opinión de que no existe comunicación subterránea entre las norias mencionadas y los manantiales del Salto. Con este objeto usé la fluoresceína, de la manera que paso á indicar.

Puse tres gramos de fluoresceína en la noria de la huerta de Montenegro, á las seis y media de la tarde del día 29 de Diciembre

de 1907, y durante toda la noche no se extrajo agua de esa noria. En caso de existir la comunicación subterránea ya indicada, y sobre todo la supuesta corriente de agua de las norias de Montenegro para los manantiales del Salto, la coloración del agua en la noria donde puse la fluoresceína debía desaparecer, ó disminuir de intensidad notablemente durante una noche; y además, la coloración tenía que aparecer en el agua de las norias de Santa Rosa, y en la de los manantiales del Salto. Pues bien, nada de esto sucedió, como se verá en seguida. A las siete de la mañana del día siguiente, 30 de Diciembre, ó sea después de doce horas de haber puesto la fluoresceína en la noria de la huerta de Montenegro, el agua tenía la misma coloración verde intensa que adquirió desde el momento en que se disolvió la fluoresceína: y esa coloración no apareció ni en el agua de la noria cercana á la anterior, ni en las de Santa Rosa, ni en los manantiales del Salto, no obstante que se buscó haciendo uso del nuevo fluoroscopio que arreglé y describí en 1906.⁽¹⁾ El agua colorida de la noria de la huerta fué extraída de la noria, porqué la intensidad de la coloración no disminuía con el tiempo.

En vista de la prueba práctica anterior puede decirse con fundamento que: no existe corriente de agua subterránea de las norias de Montenegro para los manantiales del Salto; y que no están comunicadas entre sí subterráneamente las norias de Santa Rosa y las de Montenegro.

Indicados ya los principales datos de observación recogidos en la zona de que me ocupo, paso á hacer algunas consideraciones encaminadas á resolver: si existe ó no agua subterránea brotante en el valle Legarreta; y en caso de existir esa agua, por donde pasa la línea de intersección entre las superficies topográfica y piezométrica de la región, línea que separaría á la zona de agua brotante, de las zonas en que las aguas subterráneas aunque artesianas no llegarían á ser brotantes.

Para poder indicar con mayor claridad mis ideas relativas al movimiento del agua en el subsuelo de los alrededores de Montenegro, creo conveniente dividir esta región en varias partes, y ocuparme por separado de cada una de ellas.

La parte constituída por rocas sedimentarias, es la marcada con

(1) J. D. Villarello. Un nuevo fluoroscopio. Mem. Soc. Antonio Alzate. Tomo 24. (1906-1907). pág. 63 á 72.

el número 1 en la lámina adjunta. Las rocas que constituyen á esta parte son: unas impermeables, las pizarras que se hallan debajo de las calizas; y otras impermeables por no ser porosas, las calizas, pero de permeabilidad localizada por estar algo fracturadas. Las fracturas de las calizas mencionadas no son abundantes; y aunque algunas de esas fracturas son supercapilares, no pueden considerarse como muy permeables las calizas de esa región.

Las rocas sedimentarias antes mencionadas se encuentran en los cerros del Macho y la Calera, zona elevada que desciende al S.E. para la llanura de Jofre, y al Norte y Norte-Oriente para San José de Iturbide en el Estado de Guanajuato. Hacia el Sur-Poniente de los cerros del Macho y la Calera el terreno se eleva para el pico de Tábula, estando constituida toda esta parte por basaltos y tobas basálticas.

El agua que se precipita sobre los cerros del Macho y la Calera, en su mayor parte desciende por la superficie del terreno para Jofre por el S.E., y por el N.E. para San José de Iturbide; y una porción pequeña del agua se infiltra por las grietas y fracturas de las calizas, así como, por los planos de estratificación de estas últimas. El agua en su movimiento descendente por estos conductos subterráneos llegará hasta las pizarras situadas debajo de las calizas; y esas pizarras, como son impermeables, impiden que continúe la infiltración del agua. Las referidas pizarras constituyen así el fondo impermeable de los conductos subterráneos por los cuales el agua circula, y obliga á esta á continuar su descenso siguiendo la inclinación de los estratos, para salir de nuevo al exterior por manantiales situados en las cercanías del contacto entre las calizas y las pizarras, ó para penetrar en el relleno de los valles cercanos, si el contacto anterior está cubierto por el referido relleno.

En los cerros del Macho y la Calera, las calizas y también las pizarras están inclinadas 40° hacia el Norte-Oriente; por lo tanto, y por las razones anteriores, el agua en su circulación subterránea descenderá hacia el Norte-Oriente, es decir, hacia la depresión de San José de Iturbide, y no hacia la llanura de Jofre, que está situada al Sur y Sur-Este de los cerros mencionados.

De acuerdo con lo anterior, los cerros del Macho y la Calera pueden considerarse como la superficie y región de alimentación (1)

(1) Véase la explicación de estos términos en el estudio de la "Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez, E. de Querétaro," por J. D. Villareillo. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, 1904, página 184.

de los receptáculos acuíferos subterráneos, que con la forma de un sistema venoso, localizado entre las caras de separación de los estratos calizas, y principalmente en las cercanías del contacto de las calizas y pizarras, desciende hacia el Norte-Oriente para San José de Iturbide. Hacia este rumbo, y en el lugar llamado La Venta, el agua subterránea sale en parte al exterior, y forma una zona de pantanos que indica el nivel de los manantiales hacia ese mismo rumbo. Otra parte de esta agua continúa su descenso hacia San José de Iturbide y llena á los receptáculos acuíferos subterráneos que perforados allí podrán dar aguas artesianas, y tal vez brotantes en algunos lugares de la depresión situada en las cercanías de San José de Iturbide. Esta zona se encuentra muy al Norte de Montenegro, separada por la Mesa de San Diego; y por lo mismo, aunque el estudio de esta zona es muy interesante para la resolución de otras cuestiones, no lo es para lo que se refiere al trazo de pozos que den agua brotante en el valle de Legarreta, el cual está situado como he dicho en los alrededores de Montenegro.

De lo anterior se concluye que: el agua caída en los cerros del Macho y la Calera no alimenta receptáculos acuíferos situados en el subsuelo de los alrededores de Montenegro, sino que el agua infiltrada en los mencionados cerros desciende subterráneamente hacia La Venta y San José de Iturbide, al N. E. de los mismos cerros.

Hacia el Norte, Norte-Oriente y Este de la planicie de Jofre, se levantan los cerros rhyolíticos que ocupan la extensión marcada con el número 3 en la lámina adjunta, cerros que en parte están cubiertos por rocas basálticas distinguidas con el número 4 en la misma lámina. Esta zona comprende á los cerros de la Gotera, y á los del Este de Jofre.

En esta región se encuentran rocas porosas poco permeables, y rocas de permeabilidad localizada por estar agrietadas en algunos lugares. Las tobas rhyolíticas, así como las basálticas que se hallan en los cerros de la Gotera, y que se extienden principalmente para el Norte y el Este, son rocas porosas; pero como esos poros son capilares, el movimiento del agua por los referidos intersticios está sujeto á las leyes de la capilaridad, y es pequeña la permeabilidad de estas rocas. Los núcleos de rhyolita que están cubiertos por las tobas rhyolíticas son muy macizos, y relativamente son pocas las grietas que los cortan. Los basaltos surcados por erosión, y que se extienden en corrientes sobre las tobas rhyolíticas formando mesetas, como son entre otras las llamadas de los

Chiles y de San Diego, son rocas de permeabilidad localizada, debida esta en parte á las grietas que se formaron al contraerse la roca por enfriamiento, y en parte también á las cavidades que quedan en los lugares por donde se verificó el escurrimiento continuo de la lava, tubos estos más ó menos irregulares contenidos en el interior de las corrientes basálticas.

Constituídos los cerros de la Gotera de la manera indicada, el agua de las precipitaciones pluviales en esa zona desciende por la superficie del terreno hacia la planicie de Jofre por el Sur-Oeste, y hacia Chichimequillas y Amascala por el Sur-Oriente; y el agua que se infiltre en esa zona seguirá el siguiente trayecto subterráneo.

El agua infiltrada por las grietas y cavidades de los basaltos, descenderá por estas hasta llegar á las tobas rhyolíticas que están cubiertas por la corriente de basalto. El agua que ha llegado á estas tobas como acabo de indicar, y también la que directamente se infiltre en las tobas tanto rhyolíticas como basálticas, descenderá por los poros de estas rocas con mucha lentitud, y tenderá á salir de nuevo al exterior por los cortes que la erosión ha abierto en estas rocas.

Las tobas no son igualmente porosas en toda su masa, sino que en ciertos lugares son más compactas, y en otros tienen mayor número de espacios vacíos, es decir, de poros más ó menos capilares. Esta diferencia de porosidad, ocasiona también una diferencia relativa de permeabilidad, la cual es casi nula en las partes más compactas de las tobas, y más ó menos sensible en los lugares más porosos de las mismas rocas. Por esta razón, en los macizos de tobas rhyolíticas ó basálticas hay unas partes que se impregnan hasta saturarse de agua, porque en estos tramos el agua no puede circular, ó si circula es con suma lentitud; y en cambio, en otros lugares del mismo macizo de roca la circulación del agua es más ó menos fácil, por ser más permeables las tobas en estos lugares. En vista de esto puede decirse que: en las tobas mencionadas, el agua aunque con lentitud desciende por trayectos muy irregulares, siguiendo los tramos relativamente más permeables de la roca, tramos que están limitados por otros casi impermeables, en los cuales la roca se satura de agua por impregnación, principalmente en las cercanías del contacto con las partes permeables de la misma roca que son las que marcan el trayecto principal de circulación subterránea de las aguas.

Cuando la erosión corta á estos macizos de tobas, quedan á descubierto alguno ó algunos de los tramos relativamente permeables

de la roca: y entonces sale el agua al exterior, porque experimenta mayor resistencia en su trayecto subterráneo descendente por los poros de la roca, que en un corto trayecto lateral para salir al exterior en la barranca abierta por la erosión. En este caso, el trayecto subterráneo del agua por las tobas mencionadas es corto en el sentido vertical, y á poca profundidad sale el agua al exterior por manantiales situados en las partes altas de las barrancas que cortan á las tobas, manantiales que estarán localizados en los tramos relativamente más permeables de las tobas mencionadas, ó en las cercanías del contacto entre estas tobas y los núcleos rhyolíticos que ellas cubren en la localidad que estudio.

Todo lo anterior explica con claridad la existencia de los manantiales que se encuentran en los cerros de la Gotera. Además, se comprende fácilmente que si el trayecto subterráneo de las aguas en esas tobas es corto, y más bien horizontal que vertical, la temperatura del agua que salga por esos manantiales no será muy superior á la media de la localidad. Por otra parte, si son poco permeables las tobas mencionadas, será poca la cantidad de agua que pueda circular en su interior, y corto por lo tanto será el gasto de los manantiales por donde sale al exterior esa misma agua. Todo esto está comprobado en la región rhyolítica de la Gotera, pues como dije en su lugar, todos los manantiales que se hallan en los cerros de la Gotera son fríos, con gasto de agua muy escaso, y están situados en las tobas rhyolíticas ó basálticas ó bien en las cercanías del contacto de las primeras tobas mencionadas y de los núcleos rhyolíticos que ellas cubren.

En vista de los razonamientos anteriores puede decirse que: el agua caída en los cerros rhyolíticos de la región en estudio, no alimenta receptáculos acuíferos subterráneos situados en el subsuelo de las planicies de Jofre ó Montenegro, sino que alimenta á pequeños receptáculos subterráneos, poco profundos, y comprendidos en los mismos cerros. El agua infiltrada en estos cerros rhyolíticos sigue un trayecto más bien horizontal que vertical, y sale por los manantiales situados en las barrancas llamadas: la Gotera, el Rincón de las Borregas, el Mastranzo, el Terrero, Pozo Blanco, etc. Todos estos manantiales son de poca importancia; porque siendo pequeños los receptáculos acuíferos subterráneos, y poco permeables las rocas rhyolíticas de la región, los manantiales tienen que ser de gasto pequeño y variable durante el año. En efecto, así sucede en los manantiales de la Gotera, muchos de los cuales permanecen secos durante varios meses del año.

De lo anterior se concluye que: casi toda el agua que se infiltra en los cerros rhyolíticos de la región de que me ocupo, recorre un corto trayecto subterráneo, y sale al exterior por los manantiales que acabo de mencionar. Por lo tanto, los referidos cerros rhyolíticos no constituyen la superficie de alimentación de *receptáculos acuíferos* subterráneos situados en el subsuelo del valle Legarreta.

Al Oeste de Jofre y de Montenegro se levantan, como he dicho, los cerros basálticos llamados Támbula y los Colorados; y esta formación basáltica, distinguida con el número 4 en la lámina adjunta, se extiende en corrientes alternadas de basaltos y tobas basálticas al Sur y Sur-Este de Montenegro, de San Miguelito por Juriquilla para Amascala.

Los basaltos de los cerros anteriores son rocas de permeabilidad localizada, debida ésta como dije antes, tanto á las grietas que se formaron al contraerse la roca por enfriamiento, como á los espacios vacíos que quedan en los lugares por donde se verificó el escurrimiento continuo de la lava, cavidades estas de forma irregular, y también irregularmente distribuídas en el interior de las corrientes basálticas.

El agua, al infiltrarse en la extensa superficie ocupada por las rocas basálticas en la parte occidental de la región de Montenegro, desciende por las grietas y cavidades irregulares de esas rocas, formando una serie de venas acuíferas subterráneas. Estas últimas pueden ser casi superficiales; y también más ó menos profundas, en los lugares en que sean también profundas las cavidades ó grietas supercapilares por las que se verifica la circulación descendente de las aguas infiltradas. En el primer caso, el trayecto subterráneo del agua es corto, más bien horizontal que vertical; y por lo mismo, el agua sale fría por los manantiales que son alimentados por estas venas acuíferas casi superficiales. En el segundo caso, es mucho más largo el trayecto que el agua recorre desde su infiltración en la superficie del terreno hasta salir en parte al exterior por los manantiales; y este trayecto es más bien vertical profundo, que horizontal casi superficial. En este último caso el agua infiltrada sigue primero un trayecto descendente, y se va poniendo en contacto con partes más y más calientes de la roca basáltica, á medida que va aumentando la profundidad alcanzada por el agua. Estas partes profundas de la roca tienden á enfriarse por la circulación constante del agua en su interior; y en cambio, esta última se calienta al ponerse en contacto con las rocas calientes permeables.

Después, el agua caliente puede seguir un trayecto lateral ascendente, y salir de nuevo al exterior por manantiales en los cuales la temperatura del agua será superior á la de la roca en esos lugares.

En los cerros de la parte occidental de la región de que me ocupo se verifican los dos casos anteriores, es decir, que en su interior existe una circulación casi superficial de aguas que alimentan á manantiales fríos; y también una circulación profunda, más bien vertical que horizontal y en parte ascendente, la cual alimenta manantiales termales.

Las indicaciones anteriores permiten explicar la existencia de los manantiales fríos de los cerros de La Rochera, y los termales del lugar llamado el Salto. En efecto, los basaltos y brechas basálticas de los cerros Colorados cubren en parte, como dije ya, á las andesitas de los cerros de La Rochera; y la porción del agua infiltrada que sigue un trayecto subterráneo poco profundo en los basaltos, tiende á salir al exterior en las cercanías del contacto entre estas rocas basálticas y las andesitas, marcadas con el número 2 en la lámina adjunta. Como este trayecto subterráneo es casi superficial, el agua es fría en esos manantiales. Entre estos manantiales fríos situados en las cercanías del contacto anterior puedo citar el llamado la Salitrera. Tanto el agua infiltrada en las rocas basálticas y que pasa subterráneamente á la andesita, como la infiltrada directamente en esta última roca, desciende por las pocas grietas que existen en las andesitas de esa región. Estas grietas al volverse capilares ó subcapilares á poca profundidad, impiden que el agua continúe infiltrándose, y sale fría al exterior por manantiales localizados en esas pequeñas grietas. Como ejemplos de estos últimos manantiales, situados en las grietas de las andesitas, citaré los llamados: Tío Horduña, Saucillo y el Aguacate. Por estos manantiales fríos, lo mismo que por los del cerro la Gotera, sale muy pequeña cantidad de agua, y se secan algunos en determinadas épocas del año. Esto se explica fácilmente, porque siendo pequeños los receptáculos acuíferos subterráneos, contenidos en los cerros mencionados, no se puede acumular gran cantidad de agua; y por lo tanto, el gasto de los manantiales que se hallan en los mismos cerros debe ser corto y muy variable.

La porción del agua infiltrada que sigue en las rocas basálticas de la región un trayecto subterráneo vertical profundo, después de calentarse por su contacto con la zona profunda de los basaltos, sigue un trayecto vertical ascendente y sale en parte por los manan-

tiales del Salto, y por las perforaciones verticales allí abiertas. El agua que sale por estos lugares es termal, porque su temperatura es muy superior á la de la roca y á la media de la localidad. En efecto, el agua de esos manantiales es de 32° C., y la media del lugar es solamente de 19° C. La existencia de estas aguas termales, así como de las que se han alcanzado á la profundidad en las norias de la huerta de Montenegro, y en una de las del pueblo de Santa Rosa, son prueba evidente de que existe allí una circulación acuífera subterránea profunda. (1)

El hecho de que en la región basáltica de Montenegro existan en el mismo macizo aguas subterráneas frías y termales, no tiene nada de extraordinario; y digo esto, porque no sólo en un mismo macizo, sino en una misma falla ó fractura pueden existir aguas frías y también termales. Antes se creía que las diferencias de temperaturas y composición de las aguas de los manantiales indicaban siempre la existencia de trayectos circulatorios subterráneos distintos é incommunicados; pero ahora está ya probado que esto no es exacto, y que en una misma fractura pueden circular aguas frías descendentes y agua termales ascendentes, por trayectos distintos pero que en ciertos lugares se reúnen, lo cual permite que salgan mezcladas las dos aguas por un mismo manantial. Me refiero al hecho observado al abrir el túnel del Simplón. En efecto, á 3891 metros de la boca, en la galería del lado de Iselle, se encontró el manantial número 11, por el cual salía agua á la temperatura de 28°; y con 40 grados de dureza. En el mismo túnel, á 3860 metros de su boca, se abrió después un crucero, el XIX, el cual cortó á la falla del manantial mencionado número 11, en el contacto de la pizarra micácea negra. Dos manantiales se encontraron por el crucero en esta fractura: uno más frío que el 11, situado en el cielo del crucero, y por el cual descendía agua á la temperatura de 25° 7 y con 17 grados de dureza, manantial que se designó con el número 8. El otro manantial, el número 9, se encontró en el crucero en la misma fractura, pero en el suelo, y por él salía agua de abajo hacia arriba, con la temperatura de 32°, y con 56 grados de dureza. El manantial número 11 se encontró primero; y después, cuando el crucero mencionado cortó á la fractura en la que estaban los manantiales 8 y 9, y salió agua por estos últimos, casi se secó el manantial número 11. (2)

(1) A. Daubré. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Tomo I. Paris. 1877. pág. 434.

(2) H. Schardt. Les eaux souterraines du Simplon. Bull. Soc. Belg. Géol. Min. et d'Hydro. Tomo XIX. 1905. Traducciones. págs. 7-9-10.

En vista de lo anterior se puede decir que: los tres manantiales 8, 9 y 11, estaban en una misma fractura; por el 11 salían mezcladas aguas muy diferentes, unas que venían de arriba, frías y poco duras, y otras que venían de abajo calientes y más duras; estas aguas fueron separadas por el crucero en el que aparecieron los manantiales 8 y 9; y una vez separadas las dos clases de aguas, que salieron por estos últimos manantiales, se secó el número 11. Es decir, que en una misma fractura circulaban aguas frías y termales por trayectos en partes separados, y en partes reunidos como sucedía en el tramo comprendido entre los manantiales 9 y el 11.

No solamente en el túnel del Simplón se han observado los hechos ya mencionados, sino en otras muchas localidades entre las que citaré la región de Massa Marittima ó de Massetan. En esta región se halla la veta Bocceggiano, en la que se encontraron varios manantiales fríos de origen superficial, en el nivel 345; y después, en el "bajo" de la veta se hallaron dos manantiales termales, situados á dos metros de distancia uno de otro, en pequeñas grietas distintas; y por los cuales, no obstante su proximidad, salía agua á temperaturas diferentes: en uno á 36° y en el otro á 45°. Estos manantiales prueban la existencia á ese nivel, 345, de dos ramales divergentes en un trayecto acuífero subterráneo. (1)

Los hechos anteriores me van á servir de gran ayuda, para terminar la explicación relativa al movimiento subterráneo profundo del agua en los alrededores de Montenegro.

El último trayecto circulatorio de las aguas termales en el subsuelo de los alrededores de Montenegro es ascendente y en partes lateral. El agua calentada á la profundidad, asciende por grietas ó cavidades en el basalto, y en algunas partes por los tramos más permeables de las tobas amarillentas ó rojizas que se encuentran intercaladas entre las corrientes de basaltos. Este movimiento ascendente de las aguas calientes se verifica por una serie de ramales distintos, aunque en ciertos tramos estén estos comunicados entre sí. Digo que el agua termal asciende por trayectos distintos, aunque en ciertos lugares estén comunicados entre sí, porque como dije en otra parte de este estudio, no existe comunicación subterránea entre las norias de Montenegro y las de Santa Rosa, ni entre los manantiales

(1) L. de Launay. La Métallo-genie de l'Italie et des régions avoisinantes. Compte Rendu du Xème Congrès Géologique International. 1906. Tomo I. pág. 691.

del Salto y las norias anteriores. En todos estos lugares hay aguas termales, y si no están comunicados entre sí subterráneamente, según lo demostró el experimento hecho con la fluoresceína, es indudable que el agua asciende por ramales divergentes, como sucede en una de las localidades antes citadas como ejemplos. Este ascenso por ramales divergentes, aunque en ciertos lugares estén tal vez comunicados entre sí, explica porqué tienen temperaturas diferentes las aguas de manantiales cercanos, ó de norias profundas también muy cercanas en esa región.

La mayor altura que las aguas termales alcanzan en su circulación subterránea ascendente por los alrededores de Montenegro, está comprendida entre 1919 y 1935 metros sobre el nivel del mar; pues estas son las alturas á que se encuentran las aguas termales: en una noria de Santa Rosa, en las dos norias de la huerta de Montenegro, y en los manantiales del Salto. Según informes que me proporcionaron en la localidad, antiguamente no existían estos manantiales, sino únicamente una zona pantanosa. Más tarde, bajó por erosión el nivel del terreno en el Salto, y aparecieron los manantiales de ese lugar. Desde entonces está saliendo agua termal por los referidos manantiales.

Aceptando, en vista de los hechos ya mencionados, que el agua termal alcanza en su movimiento ascendente, por los alrededores de Montenegro, una altura máxima de 1935 metros sobre el nivel del mar, puede decirse que: 1935 metros sobre el mar es también la altura máxima de la superficie piezométrica en los alrededores de Montenegro.

Para que el agua subterránea pueda brotar en determinado lugar, es indispensable que este último se halle á una altura igual ó inferior á la de la superficie piezométrica en el mismo lugar, es decir, que esta última sea exterior y no subterránea en el lugar mencionado. Ahora bien, tanto la llanura de Jofre como la de Montenegro, y en general todos los terrenos pertenecientes á la hacienda de Montenegro y sus Anexas, se encuentran á alturas superiores de 1935 metros sobre el mar, que es la altura que tienen los manantiales del Salto, y la superficie piezométrica en esa región. Según esto, en las referidas haciendas la superficie piezométrica es subterránea; y por lo tanto, el agua no brotaría si se hicieran allí perforaciones verticales. En cambio, la referida superficie piezométrica corta á la superficie del terreno en las cercanías del Salto, y allí, además de los manantiales, el agua ha brotado por varios po-

zos abiertos en las cercanías de los referidos manantiales. Del Salto para Juriquilla el terreno baja, y aún cuando el ascenso del agua termal se verifica en esa región por ramales divergentes como he dicho, y que esta circulación subterránea se verifica por trayectos difíciles de localizar, creo sin embargo que se podría aumentar un poco el volumen de agua que ahora sale en el Salto, abriendo socavones, más bien que pozos, en terrenos de la hacienda Juriquilla. No entro en detalles acerca de esto último, por estar eso fuera de los límites del presente estudio, el cual se refiere solamente á los terrenos pertenecientes á las haciendas de Montenegro y Anexas.

La circulación acuífera profunda que acabo de explicar, creo que es la única que se verifica en el subsuelo de los alrededores de Montenegro; porque las aguas profundas que pudieran circular del Norte para el Sur en esa región, no pasarían al subsuelo de Jofre y Montenegro por impedirlo la barrera formada: al N.W. por las pizarras sericíticas de los cerros del Macho y la Calera, y al Norte y Norte-Poniente por el núcleo rhyolítico de los cerros de la Gotera. Hacia el Sur, Este y Oeste de Montenegro, el terreno desciende notablemente y en larguísima extensión; por lo tanto, no es de esperarse existan hacia estos rumbos superficies de alimentación lejanas, de receptáculos acuíferos situados en el subsuelo de los alrededores de Montenegro.

Sólo me falta estudiar ahora la circulación subterránea del agua que se infiltra directamente en las llanuras de Jofre y Montenegro. El subsuelo de estas llanuras está constituido como sigue: La parte Norte y Norte-Oriente de la llanura de Jofre está constituida por tobas rhyolíticas cubiertas por tobas basálticas; la parte Poniente de la misma llanura está constituida por basaltos cubiertos por tobas basálticas; y hacia el Sur, las tobas basálticas cubren á las andesitas del cerro del Buey. Hacia el Sur-Poniente de esta llanura, es decir, por las cercanías de Buenavista, es mucho mayor el grueso de las tobas basálticas blancas y amarillentas. La llanura de Montenegro está constituida por basaltos y tobas basálticas, que por el Oriente cubren á las andesitas del Cerro Media Luna. En algunos lugares, sobre las tobas basálticas se encuentran allí areniscas en lentes aisladas. Constituido el subsuelo de las llanuras como acabo de decir, el agua que en ellas se infiltre se evapora en parte directamente y en parte por intermedio de la vegetación, que absorbe el agua por las raíces y por las hojas la cede á la atmósfera; y otra parte de la agua desciende con lentitud por los poros de las tobas

rhyolíticas y basálticas, hasta llegar al nivel hidrostático de la región. Estas aguas freáticas son las que alimentan á las norias en la parte superior de estas últimas; y más abajo se mezclan estas aguas frías superficiales con las termale ascendentes, como sucedía en el manantial 11 en el túnel del Simplón; y esto, agregado á la causa indicada antes, completa la explicación de las diferencias de temperatura que se observan en norias y manantiales muy cercanos en esta región.

El nivel hidrostático en las llanuras de Jofre y Montenegro no es una superficie continua, sino interrumpida é irregular, por no ser uniformemente permeables las tobas como he dicho. De esto resulta que en algunos lugares el agua freática esté más cerca de la superficie del terreno que en otras. En la llanura de Jofre el nivel hidrostático ha bajado, como dije antes, por el drenaje que han hecho allí los tajos de San Antonio y el túnel de Jofre; pero no obstante esto, la altura absoluta del nivel hidrostático en Jofre, es mayor que el del mismo nivel en Montenegro. En efecto, el agua freática está en la llanura de Jofre á 2038 y 2028 metros sobre el nivel del mar, respectivamente en las cercanías de Jofre y de San Antonio; y en la llanura de Montenegro la mayor altura del agua freática es de 1950 metros sobre el mar. Esta diferencia de altura se explica fácilmente, porque existe entre las dos llanuras mencionadas una barrera impermeable que las separa, y es la que forman los cerros andesíticos del Buey. Según esto, las aguas subterráneas de la planicie de Jofre no pueden pasar para la de Montenegro; y puede ser, como en efecto lo es, muy distinta la altura que alcanzan las aguas freáticas en las dos mencionadas llanuras.

Explicada ya la circulación del agua en el subsuelo de los alrededores de Montenegro, y teniendo en cuenta todos los razonamientos expuestos en este estudio, creo fundadas las siguientes conclusiones:

CONCLUSIONES.

En los alrededores de Montenegro existen aguas frías superficiales y escasas, que brotan por manantiales situados en las partes altas de los cerros rhyolíticos de la Gotera, y de los andesíticos de La Rochera.

Existen en esa región aguas termale, de circulación profunda, que ascienden por ramales divergentes, aunque tal vez comunicados entre sí en algunos lugares. Estas aguas brotan por los manantiales

del Salto; y se han encontrado diseminadas á la profundidad en la llanura de Montenegro, en donde alimentan á las norias profundas de esta hacienda.

En las llanuras de Jofre y Montenegro hay aguas freáticas á poca profundidad, y las aguas termales están mucho más profundas.

La superficie piezométrica es subterránea en todos los terrenos pertenecientes á Montenegro y Anexas; y por lo tanto, el agua no puede brotar por perforaciones en esa región.

En vista de lo expuesto, los pozos artesianos que se abrieran en la región estudiada no alcanzarían éxito; y por lo mismo, no puede recomendarse la apertura de las referidas perforaciones.

En las cercanías de los manantiales fríos de la región es inútil abrir socavones. Estos últimos podrían facilitar la salida del agua; pero como los receptáculos acuíferos que alimentan á esos manantiales son muy pequeños, y son poco permeables las rocas en que están contenidos, lo único que se conseguiría con esos socavones sería aumentar un poco el gasto de los manantiales durante unos días del año, y en cambio permanecerían secos más tiempo del que están en la actualidad anualmente.

Abrir tajos ó túneles en las rocas porosas de la región, ó en el suelo y subsuelo de las llanuras de Jofre y Montenegro es inútil; porque estas obras sólo hacen un drenaje costoso de las tierras cercanas, y producen poca agua durante corto tiempo.

Para utilizar el agua de los manantiales de la Gotera podrían construirse cerca de ellos unas pilas para reunir el agua, y así se aprovecharía ésta para abrevadero del ganado.

En las norias profundas de Montenegro pueden ponerse bombas, para extraer de ellas mayor cantidad de agua, destinada para usos domésticos y para abrevadero del ganado; pero sobre todo, es indispensable y urgente tapar los tajos de San Antonio y rellenar el socavón de Jofre, para que con el tiempo pueda volver á subir el nivel hidrostático en esa región, y se conserve la humedad más cerca de la superficie del terreno como sucedía antiguamente.

México, Febrero de 1908.

- 1 - Caliza, y pizarra sericítica
- 2 - Andesita
- 3 - Rhyolita y toba rhyolítica
- 4 - Basalto, brecha y toba basáltica
- 5 - Reciente