

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DE LA

COMARCA LAGUNERA DEL TLAHUALILO

POR EL INGENIERO

JUAN D. VILLARELLO



MEXICO

IMPRESA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Callejón de Betlemitas núm. 8

1910

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

DIRECTOR: JOSE G. JARRO

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

DE LA

COMARCA LAGUNERA DEL TLAHUILLIO

CON SU INGENIERIA

JUAN D. VILLARIELLO



MEXICO

IMPRESA Y FOTOLITIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Calle de Bolandier núm. 2

1910

HIDROLOGIA SUBTERRANEA
DE LA
COMARCA LAGUNERA DEL TLAHUALILO

POR EL INGENIERO DE MINAS JUAN D. VILLARELLO

(Láminas XLV-XLVIII)

En Junio del corriente año fuí comisionado por el señor Director del Instituto Geológico Nacional, y por acuerdo de la Secretaría de Fomento, para estudiar la hidrología subterránea de la comarca lagunera del Tlahualilo y trazar un pozo artesiano que surtiera á la futura colonia Zarco, con el agua necesaria para los usos domésticos y también para la irrigación. Con objeto de hacer el estudio mencionado lo más completo posible, la exploración comprendió toda la zona que indica el plano adjunto (Lám. XLV), y también se extendió hacia el N.E., por la hacienda llamada Las Delicias y por el Vallecito del Hundido, que se halla al Este de la hacienda mencionada. El resultado de esa exploración geológica será el objeto del presente informe.

La comarca lagunera del Tlahualilo forma parte de la gran cuenca conocida con el nombre de Bolsón de Mapimí, cuenca que recibe el agua de varios arroyos y del

río Nazas, y que no tiene desagüe superficial. El agua que llega á esta cuenca en parte se evapora, una gran parte se infiltra, y otra se reúne en lagunas que desaparecen á veces en tiempo de secas.

La comarca lagunera del Tlahualilo es una extensa planicie, en la cual se levantan cerros y montañas aisladas, que algunas son de gran altura, pero todas de poca extensión.

Hacia el W. de la comarca se encuentran la Sierra de Mapimí y la Sierrita de Bermejillo, sierras que se extienden del S.E. para el N.W. La primera comienza á levantarse en las cercanías de Lerdo, y se prolonga por el Sarnoso para la Bufa de Mapimí, que es el punto más alto de esta sierra. La Sierrita de Bermejillo, paralela á la anterior, comienza á levantarse en este último lugar, y se extiende hacia el N.W. para el puerto del Jaboncillo. Entre esta última sierrita y la de Mapimí se encuentran los cerros andesíticos que comienzan á levantarse al N. de Mapimí, y se unen hacia el N.E. con la Sierrita de Bermejillo, conocida también con el nombre de Vinagrillos. Estos cerros andesíticos por el N., la Sierrita de Bermejillo por el N.E., y la Sierra de Mapimí por el W. y S., limitan á una planicie en forma de herradura, que desciende del W. al E., y que sólo es una pequeña entrante de la planicie del Tlahualilo.

Hacia el N. de la región se encuentran las sierras llamadas de la Campana y el Tlahualilo, sierras paralelas, de dirección N.S., y que comienzan á levantarse cerca del lugar llamado Zaragoza. En algunos lugares están coronadas estas sierras por mesetas entre las cuales figura la Mesa de San Juan. Estas dos sierras,

con los cerros de la Gavia, que se hallan más al N., limitan otra entrante de la planicie, zona esta de las más bajas de la región, y en la cual desaguaba antiguamente el río Nazas, formando la laguna del Tlahualilo.

Hacia el E. de la región se levanta la Sierra de Sardinas, la cual separa la cuenca del Tlahualilo de la llamada Las Delicias, cuenca esta última á la que se desciende pasando por el puerto de Ventanas. Esta sierra se extiende hacia el N.E., para unirse con la llamada de La Fragua.

Entre la Sierrita de Bermejillo y la hacienda del Tlahualilo se encuentra el cerro aislado llamado Cerro Colorado, el cual ocupa muy pequeña extensión de terreno, como se ve en el plano adjunto.

En la rinconada que se halla entre las sierras de Bermejillo y Mapimí están los pequeños cerritos llamados El Fruncidero y San Gilberto. Al S. de estos cerros están las lomas del Renoval, que se desprenden de la Sierra de Mapimí, cerca del cañón llamado del Sacramento. Desprendidos de la misma sierra, y al N.W. de Gómez Palacio, se encuentran los cerros San Ramón y San Ignacio, situados en el extremo S. de la Sierra de Mapimí. Además de estos pequeños levantamientos, mencionaré los cerritos de las cercanías de Torreón y los pequeños médanos formados por la acción del viento, lomititas entre las cuales figuran las llamadas Arenales y San Francisco.

Al S. de la región se encuentran las sierritas aisladas y de poca extensión conocidas con los nombres de Solís, Texas y San Lorenzo, situadas al S.W. de San Pedro de las Colonias.

La planicie del Tlahualilo desciende de Torreón, para

el N. y para el E. Por el N. baja de 1,140 metros sobre el nivel del mar, á 1,115 en Santa Clara, y 1,095 en Zaragoza. Por el E. desciende para Matamoros, á 1,123; para Hormiguero, á 1,130; para Santa Teresa, á 1,120, y para San Pedro de las Colonias, á 1,110 metros. En Santa Clara el terreno se levanta de 1,115 hasta 1,125 y 1,123, en Bermejillo y la Colonia Zarco, respectivamente; y de esta Colonia, hacia el N., el terreno desciende de nuevo para Peronal, cuya altura es 1,114 metros. De Bermejillo hacia el W., la planicie se eleva de 1,125, en este lugar, á 1,160 en San Gilberto, 1,165 en Santa Adela, 1,210 en San Alejandro y 1,245 en los Vinagrillos.

En esta extensa comarca, en donde las lluvias son escasas y en donde el clima es el de un desierto, desagua el río Nazas, y á este río debe su riqueza aquella región. El río mencionado desciende de la vertiente oriental de la Sierra Madre al N.O. de Durango, y conduce las aguas pluviales de la extensa zona de Papasquiario, Guanaceví y Canelas, para la cuenca del Tlahualilo. Este río entra á la cuenca mencionada por la villa, hoy ciudad, de Torreón, y se dirige hacia el N.E. para el lugar llamado El Hormiguero. De las cercanías de este lugar continuaba antes hacia el N., para desaguar en la laguna del Tlahualilo. Desde hace varios años abandonó el río este último trayecto, y ahora del Hormiguero continúa al N.E., hasta Guadalupe; allí sufre una inflexión, y se dirige después al S.E., por San Lorenzo y Santa Eulalia, para la presa de San Pedro, y continúa luego al E., pasando al S. de San Pedro de las Colonias, hasta llegar á la laguna de Mayrán.

Del río Nazas, en su trayecto por la comarca lagu-

nera, se desprenden varios canales de irrigación, siendo los principales y más numerosos los desprendidos en las cercanías de Torreón. Estos canales se dirigen al N. y N.E., y llevan las aguas hacia el Tlahualilo y á una amplísima zona que se extiende de Gómez Palacio para Santa Clara, para El Hormiguero y El Coyote. Estas aguas se emplean en el regadío de esas extensas zonas, y á ellas es debido el progreso que ha alcanzado la agricultura en aquella región.

Las lluvias son escasas, como he dicho; pero, en cambio, la humedad de las tierras se conserva con el riego anual, que se hace con las aguas del río Nazas. Este río está seco la mayor parte del año; pero durante los meses de Julio á Octubre su caudal de agua es muy crecido, é inundando los terrenos se conserva en ellos la humedad hasta el siguiente año.

El cultivo del algodón ha alcanzado mucho desarrollo en aquella comarca, y la escasez de lluvias, permaneciendo el suelo constantemente húmedo, parece que impide se desarrollen las plagas de esta planta. El algodón que allí se produce es rizado, y esto en la actualidad le da gran valor, pues con él han podido fabricarse en Europa telas especiales, muy apreciadas en el comercio. Además del algodón se han estado sembrando con éxito árboles frutales en la hacienda de Noé; y, gracias al empeño é ideas progresistas de los dueños de esta hacienda, se han logrado ya extensos viñedos y diversos árboles frutales.

El agua que anualmente baja por el río Nazas para la cuenca del Tlahualilo, no es suficiente para regar toda esa gran extensión de terreno, y menos por el sistema de inundaciones. Este sistema es indispensable

en esa región, porque, como he dicho ya, la mayor parte del año está seco el río, y hay necesidad de inundar para humedecer demasiado las tierras, y así conservan éstas la humedad hasta el año siguiente. Esta escasez relativa de aguas para irrigación ocasiona que mucha parte de terreno permanezca inculta; y como las tierras son fértiles y muy productivas, se ha tratado en diversas épocas de conseguir aguas artesianas, ó de aprovechar mejor las del río Nazas, construyendo en éste grandes presas. Estas presas permitirían hacer riegos más oportunos, menos abundantes, y por lo tanto, con igual cantidad de agua podría regarse mucha mayor extensión de terreno, y con mayores utilidades. Además, como con esas presas se impediría que el agua en las grandes crecientes del río, cuando están completamente llenos los canales de irrigación, bajara hasta la laguna de Mayrán, podrían aprovecharse en el riego las aguas que ahora se desperdician en la referida laguna.

Las tierras de la cuenca de las Delicias son igualmente fértiles, pero no hay ahora en esa región aguas para regadío. Esta cuenca está situada, como he dicho, al Este de la llamada El Tlahualilo; se encuentra 165 metros más baja que esta última, y existe el proyecto de llevar las aguas de la laguna de Mayrán, por un túnel ó tajo abierto en el puerto de Ventanas, para la hacienda de las Delicias.

Como dije antes, en diversas épocas y en distintos lugares de esta comarca se han hecho perforaciones, con objeto de obtener aguas artesianas para el riego, y sobre todo para usos domésticos; pero hasta hoy han fracasado por completo esas tentativas; y no obstante

que una de esas perforaciones alcanzó, según informes, 745 metros de profundidad.

San Pedro de las Colonias, el Tlahualilo, la hacienda de Noé y otros muchos lugares de esta comarca carecen de agua potable, pues la que se extrae de las norias es salada en algunos lugares, muy salada en otros, y contiene sulfatos de sodio y magnesio. En San Pedro de las Colonias, cuando se acaba el agua de los depósitos formados en el río, y de las norias abiertas en el mismo lecho del río, hay necesidad de llevar carros-tanques con agua de Torreón. Esta agua se vende en San Pedro para usos domésticos durante algunos meses del año, sobre todo cuando en el año anterior bajó poca agua para la laguna de Mayrán. En Tlahualilo hay depósitos que se llenan con el agua del canal de irrigación, y es la que se emplea para usos domésticos. En Bermejillo, Noé y otros lugares, se usa el agua de noria como agua potable; y esta agua, además de ser salada, contiene materia orgánica, y á veces está contaminada, como se verá en otra parte de este informe.

La necesidad de obtener agua dulce para usos domésticos y para la irrigación, necesidad cada día mayor en aquella comarca, y los fracasos de las diversas perforaciones hechas allí para obtener aguas artesianas, son motivos suficientes para comprender la importancia que tiene el estudio geológico é hidrológico de esa región.

Geología de la región

En la región del Tlahualilo se encuentran rocas sedimentarias mesocretácicas, que son las más antiguas; rocas ígneas terciarias; y el relleno de la cuenca está formado por arena y arcilla margosa.

La Sierra de Mapimí está formada por calizas en gruesos bancos, de color gris azulado, con rumbo medio 45° N.W., y que contienen diseminadas en su masa siliza, silicatos y materia orgánica. En muchos lugares se encuentran en estas calizas secciones de Radiolitas y Nerineas. Intercaladas entre los bancos de caliza, y en estratificación concordante, se hallan pizarras arcillosas sin fósiles, las cuales afloran: abajo del puente del ferrocarril que conduce de Mapimí para la estación del Cambio; á la mitad del trayecto del ferrocarril de cremallera, entre la estación anterior y la mina Ojuela; en las cercanías de la mina San Judas; en la base oriental del picacho de Acatita; en la base oriental también de la Bufa de Mapimí; y, por último, se han alcanzado á poca profundidad en las norias San Alejandro y Santa Adela, situadas éstas en la planicie que desciende de la Sierra de Mapimí para Bermejillo.

Las mismas calizas mesocretácicas, con iguales caracteres á los ya indicados, son las que constituyen á las sierritas de Bermejillo y de Banderas; al cerro Colorado y á los cerritos del Fruncidero y San Gilberto.

Las calizas mesocretácicas en gruesos bancos, pero casi horizontales, constituyen á las sierras de la Campana y del Tlahualilo; y los cerros aislados de Texas

y San Lorenzo están formados por las mismas calizas, con rumbo casi E.-W. y con *echado* al S.

Las calizas anteriores están plegadas, fracturadas y dislocadas, como indicaré después; y además están cortadas por una granodiorita terciaria. Esta roca ígnea intrusiva aflora en la zona central de la Sierra de Mapimí, en la parte conocida con el nombre de El Sarnoso, la cual está comprendida entre el picacho de Acacitita, el cerro del Sacramento, La Tinaja y el Cerro de Mármol, prolongándose hacia el W. Esta misma roca, en forma de diques, aflora en la Bufa de Mapimí, cerca de la mina Ojuela; ha sido alcanzada á la profundidad por los trabajos de esta mina, y aflora también en la vertiente oriental de la Sierra de las Delicias, muy cerca y al W. de la hacienda de este último nombre.

En la zona de contacto entre la granodiorita intrusiva y las calizas se encuentran metamorfizadas estas últimas: están transformadas en mármol, el cual forma una faja bastante ancha y muy extensa, sobre todo en el cerro llamado de *Mármol*.

Además de la granodiorita, se encuentra en esta región la andesita, roca eruptiva que ocupa una gran extensión de terreno. Se le encuentra en los alrededores de la estación El Cambio, cerca de Mapimí, y al Norte de este lugar se extiende para el puerto del Jaboncillo, hasta llegar á la sierrita de Bermejillo. Se le encuentra también en las sierras de Banderas, del Indio, del Tlahualilo, y en los cerros prietos del puerto de San Juan.

Por efecto de la erosión en las sierras de esta comarca, se encuentra en las faldas de las mismas sie-

rras un conglomerado calizo, de fragmentos en general pequeños, y que constituye, entre otras, á las lomas llamadas del *Renoval*.

El fondo macizo de la depresión del Tlahualilo está formado, sin duda, por calizas y pizarras; y esta cuenca está rellena con el material detrítico acarreado por el río Nazas y depositado en la referida cuenca. Este relleno en su mayor parte está constituido por arena de grano desigual y por arcilla margosa, distribuída en forma de lentes á distintas profundidades. Esta distribución de las arcillas ha sido comprobada por muchas perforaciones hechas en la planicie con distintos objetos: unas para buscar aguas artesianas, como las de Noé, El Coyote y San Pedro de las Colonias; y otras para reconocer el subsuelo antes de hacer la cimentación de presas, como la llamada del Cuije. La misma distribución se observa al estudiar las muchas norias abiertas en esa región. En vista de los hechos anteriores puede decirse que la arcilla no se encuentra en ese relleno formando capas continuas, sino en lentes distribuídas á diversas profundidades.

Las rocas más antiguas que afloran en la región en estudio, son las calizas y pizarras arcillosas mesocretácicas. Estas rocas plegadas, fracturadas y dislocadas durante el Terciario, fueron inyectadas por la granodiorita intrusiva ya mencionada. Después tuvo lugar la eyección de andésitas; y durante el período de actividad eruptiva de la región se formaron los criaderos de plomo, cobre, fierro, antimonio, mercurio y azufre, que se encuentran en los cerros de esa comarca. Más tarde, y hasta ahora, la erosión de las sierras y el acarreo del río Nazas han ocasionado el relleno de la

profunda depresión del Tlahualilo, y la han transformado en la planicie sin desagüe superficial que es el objeto del presente estudio.

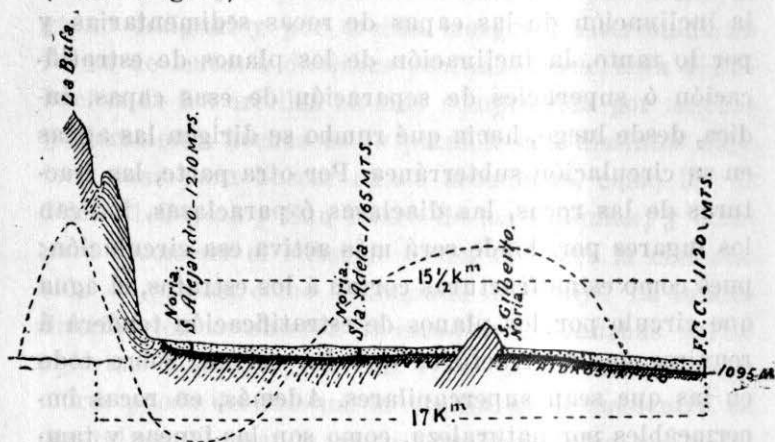
Estructura y tectónica

El estudio de la estructura y tectónica de una región es sumamente interesante para conocer el modo de circulación subterránea de las aguas. El conocimiento de la inclinación de las capas de rocas sedimentarias, y por lo tanto, la inclinación de los planos de estratificación ó superficies de separación de esas capas, indica, desde luego, hacia qué rumbo se dirigen las aguas en su circulación subterránea. Por otra parte, las fracturas de las rocas, las diaclasas ó paraclasas, indican los lugares por donde será más activa esa circulación; pues como estas fracturas cortan á los estratos, el agua que circule por los planos de estratificación tenderá á reunirse en las fracturas que los cortan, sobre todo en las que sean supercapilares. Además, en rocas impermeables por naturaleza, como son las ígneas y también las calizas, la circulación de las aguas sólo puede verificarse por esas fracturas, diaclasas ó paraclasas, que las corten. Por lo tanto, el estudio de estas fracturas es de mucha importancia cuando se trata de conocer la hidrología subterránea de una región.

Refiriéndome á la comarca lagunera del Tlahualilo, diré lo siguiente:

En la parte N.W. de la Sierra de Mapimí se encuentra un anticlinal que forma la Sierra de la Bufa, cuyo eje tiene por rumbo medio 45° N.W. Este anticlinal se encuentra descabezado por la erosión. El flanco oriental de este pliegue desciende para la planicie de San Alejan-

dro y Santa Adela, y en la base de la Sierra de Mapimí sufren las capas una inflexión, formándose un pliegue sinclinal. En esta parte las pizarras afloran con rumbo 60° N.W. y con *echado* variable entre 35° y 60° al S.W. Más al E. se levantan las calizas y forman el flanco W. de otro anticlinal, flanco que constituye los cerritos llamados El Fruncidero y San Gilberto. (Véase Fig. 1.)



Signos empleados en todas las figuras de este estudio.

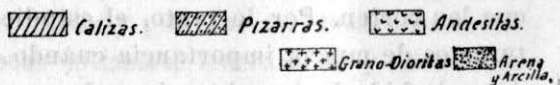


Fig. 1

En la vertiente oriental de la misma Sierra de Mapimí, en el contrafuerte E. del Picacho de Acatita, hay otro anticlinal paralelo al de La Bufa, que se prolonga al S. por los cerros del Sacramento y la Tinaja, y al Norte se interrumpe al llegar á la planicie en que se encuentra San Gilberto. En el flanco W. de este anti-

clinal se encuentra la granodiorita intrusiva del Sarnoso, y su flanco oriental descende para la planicie del Tlahualilo. (Fig. núm. 2).

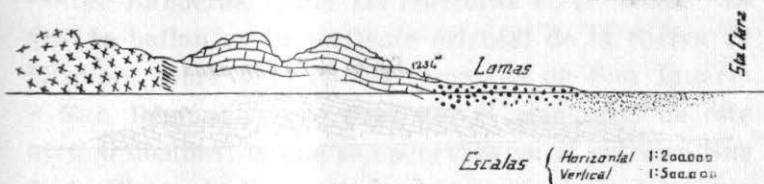


Fig. 2

La Sierrita de Bermejillo está constituida en su mayor parte por el flanco W. de un anticlinal; y en el extremo S. de la misma sierrita se conserva una porción del flanco E. de ese anticlinal. (Véase Lám. XLVI y Figuras 3 y 4). El eje de este anticlinal tiene un rumbo medio de 45° N.W., y el *echado* de las capas varía entre 20° y 40° al S.W. ó al N.E.



Fig. 3

Extremo S. de la Sierrita de Bermejillo



Fig. 4

La Sierra de la Campana y el Cerro Colorado son el flanco W. de un anticlinal paralelo á los anteriores (Figs. 5 y 6), y en los contrafuertes de La Tajada se encuentran los últimos restos del flanco oriental de este pliegue.



Fig. 5.



Fig. 6.

La presión horizontal que ocasionó el plegamiento de las calizas y pizarras de esta región, fracturó también á estas rocas y produjo las diaclasas y paraclasas que se observan en las sierras antes mencionadas. Estas fracturas forman dos sistemas, que son ortogonales entre sí. Las fracturas más comunes y mejor desarrolladas tienen rumbo medio N.-S., con *echado* de 75° á 85° al Este ó al W., y las otras son de rumbo medio E.-W., con *echado* de 80° á 90° hacia el N.

Las fracturas anteriores se observan tanto en la mina la Ojuela, de la Sierra de Mapimí, como en las minas de la Sierra de Banderas, y también en la superficie del terreno. Entre las fracturas del sistema N.-S. puedo citar: las fallas que se encuentran en la Sierrita de

Bermejillo, de las cuales pasa una por la mina La Purísima, con *echado* de 85° al E.; la que pasa por la mina Bienhechora, con 75° de *echado* al E.; y la que se encuentra en el socavón El Carmen, en la Sierra de Banderas. Entre las fracturas E.-W. citaré: las que se hallan en la vertiente oriental de la Sierra de Mapimí, sobre todo en las cercanías de San Ignacio y San Ramón; la que pasa por el manantial de este último nombre; la que se encuentra en el extremo Sur de la Sierra de la Campana, que es vertical; y las que se hallan en la Sierra de las Delicias, al W. de la hacienda de este nombre.

De las fracturas anteriores, las unas son diaclasas más ó menos anchas, que no han ocasionado ninguna dislocación del terreno; y las otras son paraclasas, verdaderas fallas acompañadas de dislocación, y de las cuales algunas están rellenas con una brecha de fricción, como sucede en la Sierra de Banderas, y en la mina Ojuela en Mapimí.

El estudio del papel muy interesante que estas fracturas desempeñan en la circulación subterránea de las aguas, será el objeto de algunos de los párrafos siguientes.

Los datos geológicos anteriores me parecen suficientes en el presente caso, como preliminares del estudio de la hidrología subterránea de la comarca lagunera del Tlahualilo. Como complemento á estos datos acompaño un plano geológico de la región. (Véase Lámina XLV).

Hidrología subterránea

Las aguas meteóricas en su movimiento subterráneo circulan por fracturas, grietas ó intersticios, y en general por los huecos existentes en las rocas que atraviesan. Estas cavidades deben estar comunicadas con el exterior, puesto que son las aguas meteóricas las que abastecen á los receptáculos acuíferos subterráneos.¹ Por lo tanto, el estudio de estos receptáculos tiene que comprender la parte superficial, llamada superficie de alimentación; y la parte profunda, en la cual se encuentran las regiones de alimentación, la región activa y la pasiva. Además, hay que estudiar el fondo de roca relativamente impermeable ó saturada de agua, la cual impide que la infiltración sea indefinida, deteniendo á las aguas en su descenso.

El conocimiento de la superficie de alimentación antes mencionada, es necesario para tener una idea acerca de la cantidad de agua meteórica que anualmente abastece al receptáculo acuífero subterráneo; y también para poder limitar el perímetro de protección, que tiene por objeto: asegurar el gasto de los manantiales ó pozos y evitar también la contaminación de las aguas subterráneas.

La forma del receptáculo acuífero subterráneo, así como la permeabilidad relativa de las rocas en que está contenido ese receptáculo, son datos indispensables para poder indicar, en cada caso particular, cuál es la obra

¹ Para explicación de los tecnicismos empleados en este informe, véase J. D. Villarello, Estudio de la hidrología interna de los alrededores de Cadereyta Méndez. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, páginas 180 á 192.

más adecuada para que salgan de nuevo á la superficie del terreno las aguas meteóricas que circulan á la profundidad.

La presión hidrostática en el receptáculo acuífero subterráneo y la superficie piezométrica, son datos indispensables para decidir, teniendo en cuenta la topografía de la región, si las aguas subterráneas podrán brotar solas, al abrir una perforación en alguna zona de la superficie del terreno.

La cantidad y composición de las aguas subterráneas son datos necesarios para resolver si esas aguas podrán emplearse en los usos para los cuales se piense destinarlas.

En vista de lo anterior, y como son varias las cuestiones de que debo ocuparme, las estudiaré por separado con objeto de evitar muchas y cansadas repeticiones.

Superficie de alimentación

La alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la comarca del Tlahualilo es debida: en primer lugar, á la gran cantidad de agua que baja por el río Nazas, y que distribuída como he dicho por varios canales, se emplea en la irrigación de una vasta superficie de terreno; en segundo lugar, á las precipitaciones atmosféricas de la misma región, aguas que descienden por varios arroyos de las sierritas y cerros aislados de esta comarca; y por último, á las aguas subterráneas de las sierritas, las cuales en algunos lugares pueden llegar, siguiendo su trayecto subterráneo, hasta el fondo de la depresión del Tlahualilo.

Las aguas del río Nazas se emplean en su mayor

parte para inundar los terrenos de irrigación, cubriéndolos con una capa hasta de 75 centímetros de altura. De esta agua: una parte se evapora; y otra se infiltra, haciendo subir el nivel hidrostático de la planicie en la época de irrigación del terreno. La cantidad de agua infiltrada varía en los diversos lugares de esta planicie, según es la permeabilidad de las tierras superficiales. Cuando éstas son arenosas, como sucede en las cercanías de San Pedro de las Colonias, la infiltración es fácil, y por lo tanto es poca relativamente la cantidad de agua perdida por evaporación. En cambio, en algunos terrenos pertenecientes á la hacienda de Noé, la tierra superficial es arcillosa, la infiltración es lenta y difícil; y por lo tanto, la evaporación es mayor, y menor la cantidad de agua infiltrada. La irregularidad en la infiltración de las aguas, y que no se verifique ésta en toda la región, sino únicamente en los terrenos que se inundan y en aquellos por donde pasan los canales de irrigación, hace que el nivel hidrostático de la planicie sea en la época de riego una superficie muy irregular; y tanto menos profunda, cuanto que se encuentre más cerca de los lugares en donde es mayor la cantidad de agua infiltrada.

Desde Noviembre hasta Junio del siguiente año, época en que el río Nazas está seco, el agua del subsuelo sube por capilaridad hasta cerca de la superficie del terreno, y las raíces de las plantas descienden hasta alcanzar esta humedad, á veces hasta dos metros. Una parte del agua infiltrada se pierde por evaporación, ya sea directamente ó por intermedio de las plantas, que la absorben por sus raíces y por sus hojas la ceden á la atmósfera.

Como se ve en el plano adjunto, la mayor parte de los canales de irrigación se desprenden del río Nazas en las cercanías de Torreón. Por estos canales pasa la mayor cantidad de agua que baja por ese río; y por lo tanto, es una zona de gran infiltración de esa agua la comprendida dentro de la isohipsa 1,125 metros sobre el nivel del mar (véase el plano adjunto), zona casi toda irrigada con las aguas del río Nazas.

De las sierritas de la planicie del Tlahualilo bajan algunos arroyos, entre los cuales debo mencionar al llamado del *Pájaro*. Por este arroyo descienden las aguas de la parte N.E. de la Sierra de Mapimí, aguas que en parte se emplean ahora para la irrigación de terrenos de la hacienda de la Zanja, y que pronto se emplearán todas en la irrigación de terrenos de esta hacienda, y también de terrenos pertenecientes á la de Noé. El exceso de las aguas de este arroyo baja para *Bermejillo*, infiltrándose en ese trayecto.

Como las lluvias son escasas en esa región, y su clima es verdaderamente el de un desierto, la cantidad de agua que baja por los arroyos mencionados es relativamente pequeña; pero como esta agua se infiltra en parte en la planicie, debe considerársele como un contingente, aunque pequeño, para el abastecimiento de los receptáculos acuíferos subterráneos de la planicie del Tlahualilo.

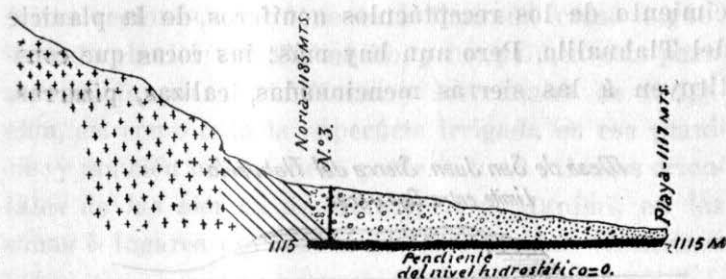
El agua subterránea de las sierritas de la región puede llegar hasta el fondo de la misma planicie; pero este contingente debe considerarse como muy pequeño, tanto porque son escasas las lluvias en esas sierras aisladas y de poca extensión, como porque no llega á

la planicie toda el agua infiltrada en ellas, como se verá en seguida.

El agua subterránea que circula en la Sierra de Mapimí poco puede contribuir á la alimentación del receptáculo acuífero de la planicie del Tlahualilo, por las siguientes razones. En la parte N. de esta sierra, las calizas y pizarras arcillosas que la constituyen forman, como he dicho, un anticlinal en la Bufa, anticlinal cuyo eje pasa por las cercanías de la mina Ojuela. Esta estructura de las capas impide que las aguas infiltradas en la vertiente occidental de la sierra en esa parte, puedan pasar para la planicie del Tlahualilo; pues en esa vertiente la inclinación ó *echado* de las capas es hacia el S.W.; y por lo mismo, hacia ese rumbo, opuesto enteramente á la planicie (véase Fig. 1), descenderán las aguas subterráneas, siguiendo los planos de estratificación de las mencionadas capas. En la parte central de la misma sierra, al S.E. de la anterior, se halla una intrusión de granodioritas, desde el cañón del Sacramento hasta el llamado El Sarnoso; y esta masa poderosa de roca ígnea intrusiva constituye una barrera impermeable, que impide el paso á las aguas subterráneas del W. hacia el E. de esa sierra, ó sea hacia la planicie del Tlahualilo. (Véase Fig. 7). Según esto, solamente las aguas infiltradas en una parte de la vertiente oriental de la Sierra de Mapimí, pueden llegar en su trayecto subterráneo hasta el fondo de la depresión del Tlahualilo.

A un resultado semejante al anterior conduce el estudio de la Sierrita de Bermejillo. En efecto, en esta sierra los estratos calizos forman el flanco W. de un anticlinal, y sólo en el extremo S. de esta sierrita, y

en poca extensión, se encuentra el flanco E. del mismo anticlinal. Por lo tanto, las aguas infiltradas en la mayor parte de la Sierrita de Bermejillo descenderán subterráneamente, siguiendo los planos de estratificación de la caliza, planos que están inclinados hacia el S.W., es decir, hacia el lado opuesto á la planicie del Tlahualilo. Además, al W. de la Sierrita de Bermejillo se encuentran los cerros andesíticos ya mencionados,



ESCALAS: $\begin{cases} H- 200.000 \\ V- 10.000 \end{cases}$

Fig. 7

los cuales impiden que las aguas infiltradas al N. y Oeste de estos cerros pasen, en su trayecto subterráneo, para la planicie del Tlahualilo. (Véase plano geológico, Láms. XLV-XLVI y Fig. 3).

El Cerro Colorado y las sierritas aisladas de Texas y San Lorenzo son de muy poca extensión, como se ve en el plano adjunto, razón por la cual puede decirse que es insignificante la cantidad de agua infiltrada en estos cerros.

En las sierras de la Campana, del Tlahualilo y de Sardinias, las capas calizas se encuentran casi horizontales, estructura que es muy poco favorable para la in-

filtración de las aguas. (Véanse Fig. 8 y Lám. XLVII.)

Las razones anteriores relativas á la escasez de lluvias en la comarca, á la intrusión de rocas ígneas, á la estructura de las capas sedimentarias que constituyen á las sierritas aisladas de la región, y á la poca extensión de estas sierras, son motivos todos que fundan la siguiente opinión: el agua infiltrada en esas sierras es un contingente insignificante para el abastecimiento de los receptáculos acuíferos de la planicie del Tlahualilo. Pero aun hay más: las rocas que constituyen á las sierras mencionadas, calizas, pizarras,

*Mesa de San Juan. Sierra del Tlahualilo
Límite entre Dgo y Coah.*

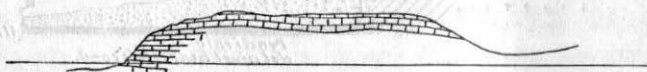


Fig. 8

granodioritas y andesitas, no son permeables por naturaleza, sino que su permeabilidad es debida á las fracturas que las atraviesan. Esta permeabilidad en grande, localizada en las zonas fracturadas de las rocas, ocasiona que las aguas pluviales no puedan infiltrarse en toda la superficie ocupada por esas rocas, sino únicamente en las zonas fracturadas ó por los planos de estratificación de las rocas sedimentarias; pero en este último caso, solamente en los lugares en que estos planos dejen entre sí vacíos supercapilares, que permitan la entrada fácil del agua y su circulación subterránea. Esto último reduce mucho naturalmente la zona superficial de infiltración en esas rocas, y es también motivo poderoso para decir que: las aguas sub-

terráneas de las sierras aisladas de la región en estudio, contribuyen en muy pequeña escala á la alimentación de los receptáculos acuíferos de la planicie del Tlahualilo.

En vista de las razones expuestas en esta parte de mi informe, creo fundado decir que: la superficie de alimentación de los receptáculos acuíferos subterráneos de la comarca en estudio, no se prolonga por lejanas regiones, sino que está limitada como sigue: Toda la planicie del Tlahualilo, principalmente la parte atravesada por el río Nazas y los canales de irrigación, así como toda la superficie irrigada en esa planicie; y también una pequeña parte de las vertientes orientales de las sierras de Bermejillo y Mapimí, en las zonas ó lugares agrietados de las referidas vertientes.

Forma de los receptáculos acuíferos subterráneos

Estudiaré por separado el receptáculo acuífero subterráneo contenido en el relleno de la depresión del Tlahualilo, y los que se hallan en las rocas que constituyen el fondo de esta depresión y las sierras aisladas que se levantan en la planicie.

* * *

La infiltración de las aguas en el relleno poroso de la depresión del Tlahualilo es favorecida por la gravedad; pero á esta fuerza se opone la resistencia por frotamiento que experimenta el agua, al circular por los pequeños espacios que dejan entre sí los granos de arena, fricción que hace disminuir la velocidad de la

corriente.¹ Además, las partículas de arena ó aluvión por uniformes que sean en tamaño, no son de forma simétrica, un eje es casi siempre más grande que otro; y cuando se depositan, tienden los granos á colocarse con el eje mayor horizontal, y en cierta manera cuatrapeados. En estas condiciones la circulación de las aguas es relativamente menos difícil en el sentido horizontal, siguiendo las superficies de sedimentación, que en el vertical atravesando la estratificación.² Por otra parte, como las partículas que constituyen el relleno de la planicie en estudio no son en todos lugares de un tamaño uniforme, los espacios que quedan entre esos granos son de dimensiones variables, tanto más pequeños y capilares cuanto que los granos son más finos. Esta variedad en las dimensiones de los espacios vacíos comprendidos entre los granos de arena, hace que varíe la velocidad de circulación de las aguas en distintas partes del depósito de arena; y aunque ésta en todos casos sea permeable, las diferencias en el grado de porosidad originan diferencias también en su grado de permeabilidad.³

Las diferencias en la permeabilidad de la arena, de un mismo depósito, hacen que la circulación activa del agua se localice formando venas inclinadas, de sección muy irregular, y que por su unión forman un sistema venoso dentro del relleno de arena. En los intermedios de estas venas la circulación del agua es muy

1 Frank C. Calkins. Geology and Water Resources of a portion of East Central Washington, U. S. Geol. Surv. Water Supply and Irrigation Paper. Número 118 (1905) pág. 63.

2 M. L. Fuller. Two unusual Types of artesian flow. U. S. Geol. Surv. Water Supply and Irrigation Paper. Número 145 (1905) pág. 43.

3 M. L. Fuller. L. c. pág. 41.

lenta, porque tiene que pasar por poros muy pequeños, generalmente capilares.

De acuerdo con las ideas anteriores, al infiltrarse en la planicie del Tlahualilo las aguas del río Nazas, y las que provienen de las precipitaciones atmosféricas en una parte de la superficie de alimentación ya indicada: tenderán á seguir un camino descendente y en gran parte horizontal; circularán con mayor actividad en las cercanías de los lugares donde la alimentación de aguas superficiales sea mayor; y descenderán de preferencia por una serie de conductos irregulares, de sección variable, y que forman una especie de sistema venoso contenido en el relleno detrítico de esa depresión. Estas venas acuíferas no penetrarán, sino que rodearán, á las lentes de arcilla que se hallan distribuídas con irregularidad y á distintas profundidades en ese relleno. Las arcillas, como es bien sabido, son poco permeables; y esta poca permeabilidad hará que las venas acuíferas, al llegar á las lentes de arcilla, sigan su trayecto descendente por el contacto, ó por las cercanías de su contacto con las referidas lentes. Así continuará el descenso de las aguas hasta llegar al fondo de la depresión, y entonces seguirán descendiendo por las grietas ó fracturas de las rocas, como se verá más adelante.

La explicación anterior, relativa al movimiento subterráneo de las aguas en el relleno de la depresión del Tlahualilo, está comprobada por los siguientes hechos.

En los alrededores de San Pedro de las Colonias, en lugares adonde no llegan las aguas del río Nazas en su trayecto superficial, lugares que no se inundan ni se riegan, las norias experimentan cambios muy notables

En efecto, poco tiempo después de comenzar á bajar agua por el río mencionado sube el nivel del agua en esas norias; y cuando no son éstas muy profundas, el agua que se extrae de ellas es dulce, en todo el tiempo que baja agua por el río. Después, cuando éste se seca, comienza á disminuir poco á poco la cantidad de agua dulce contenida en esas norias, y más tarde sólo tienen agua salada. A medida que es mayor la cantidad de agua que se extrae de esas norias, menos tiempo existe en ellas el agua dulce. Las norias profundas en esta parte de la región tienen agua salada en toda época del año. Se comprende por lo anterior que el agua que baja por el río Nazas se infiltra, siguiendo trayectos ligeramente inclinados, es decir, más bien horizontales que verticales; y así se explica por qué el agua dulce que se infiltra en el río llega pronto á las norias abiertas á cierta distancia de él, y en lugares en donde no se infiltran directamente aguas superficiales. Cuando las norias son profundas, el agua dulce que llega por la parte superior se mezcla con la salada que existe á la profundidad, y por lo mismo en todo tiempo es salada el agua de estas norias profundas. Además, si el agua dulce infiltrada se extendiera subterráneamente, formando una capa acuífera uniforme, todas las norias antes mencionadas podrían dar en cierta época del año cantidades más ó menos iguales de agua dulce; pero esto no sucede, pues mientras unas producen gran cantidad de agua dulce, otras proporcionan muy poca. Esto prueba que algunas norias han cortado venas acuíferas por las cuales circula el agua con facilidad, y en otras se reúne solamente el agua que se infiltra por los poros capilares de la arena de grano fino. Por

otra parte, en las muchas norias abiertas en la región (véase Lám. XLV) se observa que: cuando el material del relleno atravesado es de grano fino, la infiltración es pequeña y dan poca agua; en cambio, al alcanzar material de grano grueso aparecen veneros por los cuales sale agua en gran cantidad. Esto prueba que la circulación activa del agua subterránea está localizada en venas, contenidas dentro del relleno arenoso de la planicie en estudio.

En vista de lo anterior, puedo decir que: el receptáculo acuífero subterráneo de la planicie del Tlahualilo, en el que está contenida y circula el agua subterránea, tiene la forma de un sistema venoso, formado por conductos irregulares y de sección variable; y este sistema venoso se encuentra en el interior de un grandísimo cúmulo de arena húmeda, de grano fino.

La región de alimentación del receptáculo anterior es la comprendida entre la superficie del terreno y el nivel hidrostático de la planicie. En esta región descienden las aguas en tiempo de riego, y en la época de sequía ascienden por capilaridad, y se pierden en parte por evaporación. Del nivel hidrostático para abajo se encuentra la región activa del receptáculo, la cual abastece de agua á las norias ó perforaciones abiertas en esa planicie.

El nivel hidrostático en la planicie anterior sube en tiempo de riego, y es entonces una superficie irregular por los motivos que indiqué antes, es decir, por las diferencias que existen en la cantidad de agua infiltrada en las diversas partes de la planicie. En tiempo de secas es general el descenso de este nivel hidrostático.

El estudio detenido de multitud de norias abiertas en esa región, teniendo en cuenta la altura del terreno en el lugar en que están abiertas y la profundidad á que se encuentra el agua en cada noria, me permitió trazar las isohipsas que indican la forma que tiene el nivel hidrostático en la planicie del Tlahualilo. La parte más alta de esta superficie está á 1,125 metros sobre el nivel del mar, altura de la isohipsa más alta que se ve en el plano adjunto (Lám. XLV). Después siguen las curvas de nivel, 1,120, 1,115, 1,110, 1,105, 1,095 y 1087 metros sobre el mar. Estas isohipsas permiten conocer, con mucha aproximación, la profundidad á la cual se alcanzará el agua al abrir una noria en determinado lugar; pues bastará restar de la altura de este último sobre el nivel del mar, la altura de la isohipsa correspondiente al mismo lugar. Las isohipsas anteriores son paralelas á la parte del río Nazas comprendida entre Lerdo y Porvenir, es decir, á la parte del río de la que se desprenden los principales canales de irrigación, y por la cual pasa agua todos los años; y después esas curvas voltean hacia el S.E., cortando al río Nazas en su trayecto de Porvenir á la laguna de Mayrán, trayecto por donde generalmente sólo pasa agua en los años de lluvias abundantes, en la cuenca hidrográfica de ese río, exceso de agua que se deposita en la laguna mencionada.

En el plano adjunto (Lám. XLV) limité de una manera aproximada la extensión de tres zonas de profundidades á las que se encontrará el agua, cuando se abran norias en esa región: en la primera, que es la más extensa, la profundidad está comprendida entre 2 y 10 me-

tros; en la segunda, entre 10 y 30; y en la tercera, es de más de 30 metros.

* * *

La circulación subterránea de las aguas en las calizas se verifica, como dije antes, por los huecos capilares ó supercapilares que existen entre los planos de estratificación de estas rocas sedimentarias. Esos huecos se ensanchan por disolución parcial de las calizas en las aguas pluviales que las atraviesan, y el ensanchamiento llega á ser á veces tan grande, que se forman grutas, irregularmente distribuídas y difíciles de localizar.¹ Por otra parte, las fracturas, diaclasas ó paraclasas, que existen en las calizas y también en las rocas eruptivas, permiten que las aguas circulen en el interior de esas rocas que son por naturaleza impermeables. Estas fracturas no son del mismo ancho en todo su trayecto, tanto á rumbo como á la profundidad, y esto ocasiona cambios en la velocidad de circulación de los líquidos que por ellas circulen; velocidad que es mayor en las partes supercapilares que en las capilares, y es casi nula en las subcapilares, por ser éstas las que oponen mayor resistencia al movimiento de los líquidos.² Según esto, el agua en su circulación subterránea por las rocas antes mencionadas, sigue caminos irregulares, tendiendo siempre á ir por las partes supercapilares de las fracturas ó de los huecos existentes entre los planos de estratificación de las

1 M. L. Fuller. *Underground Waters of Eastern United States*. L. c. Número 114 (1905) pág. 27.

2 Alfred Daniell. *Text-Book of Physic*. 3ª edición (1894) págs. 277-316.

rocas sedimentarias. Por lo tanto, el agua no desciende por toda la extensión de estos planos, sino que circula en ellos por conductos irregulares en forma de venas, las cuales van aumentando de sección cuando la roca es soluble en las aguas pluviales, como sucede con la caliza.

Por las razones anteriores puedo decir que las aguas infiltradas en las sierritas de la comarca del Tlahualilo, por las calizas y rocas eruptivas que se encuentran en la superficie de alimentación ya indicada, tenderán á seguir las partes más amplias de las fracturas de esas rocas y de los planos de estratificación de las calizas, formando una serie de venas acuíferas, en las cuales la circulación del agua será relativamente más activa.

Las fracturas casi verticales de los sistemas N.-S. y E.-W., que como dije antes, existen en la región de que me ocupo, cortan á los planos de estratificación de las calizas; y al cortar estas fracturas á algunas de las venas acuíferas que se encuentran en esos planos, se reunirá el agua de varias venas para circular después por las fracturas mencionadas. Estas últimas, por hacer el drenaje parcial de las calizas cortadas, son las que contienen á las venas acuíferas por las cuales es relativamente más activa la circulación de las aguas subterráneas. Además, las fracturas que existen en esta región, y con especialidad las del sistema E.-W., llegan en la Sierra de Mapimí hasta el contacto entre las calizas y la roca ígnea intrusiva del Sarnoso. Esto permite que salga el agua, que subterráneamente circula en contacto con la barrera impermeable formada por la granodiorita intrusiva, y esa agua circulará después

por las venas acuíferas contenidas en las fracturas mencionadas.

La acción disolvente que las aguas pluviales ejercen sobre la caliza, es debida al bióxido de carbono (ácido carbónico) contenido en esas aguas; pero como la cantidad de este compuesto va disminuyendo á medida que las aguas alcanzan mayor profundidad, estas aguas van perdiendo también su poder disolvente. Por esto á la profundida van desapareciendo las grutas en las calizas, y las aguas no ensanchan ya los conductos por los cuales circulan. Además, del conjunto de observaciones hechas en los lugares dislocados resulta que: el agrietamiento del terreno afecta de preferencia á las partes más cercanas de la superficie del suelo, en donde la roca tiene mayor rigidez y puede fracturarse más fácilmente;¹ y por lo tanto, aunque varias diaclasas llegan á mucha profundidad, otras van desapareciendo,² y la permeabilidad en grande disminuye á medida que se pierden las referidas litoclasas.

La desaparición parcial de las fracturas que cortan á las calizas cuando aumenta la profundidad, y el que las aguas en su trayecto profundo no ensanchen ya los conductos por los cuales circulan en las calizas, son motivos que ocasionan la disminución de la permeabilidad de las rocas mencionadas. Esa parte profunda, de calizas relativamente impermeables, constituye el fondo de los receptáculos acuíferos antes mencionados,

¹ Emm. de Margerie y Albert Heim. Les dislocations de l'écorce terrestre. Zurich (1888), pág. 44.

² C. R. Van Hise. Some principles controlling the deposition of ores. Trans. Am. Inst. Min. Eng. Tomo XXX (1901), págs. 34 y 35.

fondo que impide la infiltración activa indefinida de las aguas subterráneas.

Las venas acuíferas contenidas en las calizas de las sierritas, y que salgan á la depresión del Tlahualilo, llevarán sus aguas al relleno de esta depresión; y esas aguas serán un contingente, aunque pequeño como dije antes, para la alimentación del receptáculo acuífero de la planicie mencionada.

Por el fondo macizo de la depresión del Tlahualilo las aguas podrán descender aún más, siguiendo las fracturas de las calizas; pero como á la profundidad estas fracturas van desapareciendo y las calizas se vuelven relativamente impermeables, la circulación descendente de las aguas es allí muy lenta. Por lo tanto, es muy lento el descenso general del nivel hidrostático en la planicie; y por lo mismo, los receptáculos acuíferos subterráneos antes mencionados permanecen siempre llenos de agua.

Como se ve, los receptáculos acuíferos contenidos en las calizas de las sierras aisladas del Tlahualilo tienen también la forma de un sistema venoso; pero estos conductos, irregulares y de sección variable, no son tan abundantes en las calizas como en el relleno de la planicie, sino que se hallan muy diseminados, y contenidos solamente en las fracturas y planos de estratificación de las calizas.

El nivel hidrostático en las sierritas de la región del Tlahualilo se encuentra también, en sus partes más altas, á 1,125 metros sobre el mar. Esta altura tiene en la mina Ojuela, que se halla en la parte N. de la Sierra de Mapimí, y en el manantial de San Ramón, situado en el extremo S. de la misma sierra.

Del nivel hidrostático para abajo se encuentra la región activa de estos receptáculos, región que alimenta aunque en pequeña escala al sistema venoso acuífero contenido en el relleno de la depresión del Tlahualilo.

Superficie piezométrica

Conocida ya la forma de los receptáculos acuíferos subterráneos de la región en estudio, los cambios de permeabilidad relativa de las rocas que los contienen, y la altura del nivel superior del agua en esos receptáculos, hay que estudiar ahora la relación que existe entre la superficie del terreno y la superficie piezométrica correspondiente á los mismos receptáculos.

Las condiciones indispensables para obtener aguas brotantes son: 1.^a, una capa porosa capaz de absorber grandes cantidades de agua y de permitir la fácil circulación subterránea de este líquido; 2.^a, afloramiento de la cabeza de esta capa porosa, para que pueda verificarse la infiltración de las aguas meteóricas superficiales; 3.^a, alimentación suficiente, para mantener siempre la presión artesisiana; 4.^a, existencia de capas relativamente impermeables, situadas arriba y abajo de la capa porosa, capaces de contener el agua bajo presión hidrostática; 5.^a, inclinación suficiente de la capa acuífera, y una inclinación correspondiente de la superficie del terreno, para que puedan localizarse los pozos considerablemente más bajos que la superficie de alimentación del receptáculo acuífero; y 6.^a, ausencia de afloramiento á nivel bajo de la capa acuífera, suficientemente extenso y cercano al pozo, el cual ocasionaría gran pérdida de presión por desagüe.¹

¹ F. C. Calkins. L. c. Número 118 (1905) págs. 63, 66 y 67.

De las condiciones anteriores, como se verá en seguida, se encuentran satisfechas en la comarca lagunera del Tlahualilo todas, menos la 5.^a, y ésta es la más interesante para que la superficie piezométrica se encuentre arriba de la superficie del terreno, y el agua pueda brotar constantemente.

De todo lo indicado en los párrafos anteriores de este informe se concluye: que los receptáculos acuíferos de la comarca del Tlahualilo tienen la forma de sistemas venosos; y que estos conductos irregulares, por los que se verifica la circulación activa de las aguas, están limitados por las partes relativamente impermeables de las mismas rocas que contienen á las venas acuíferas. Se concluye además: que la alimentación de estos receptáculos está ampliamente garantizada por las aguas que conduce el río Nazas, y que en buena parte se infiltran en la superficie de alimentación ya indicada y limitada; y que el desagüe de estos receptáculos se verifica con lentitud, lo cual permite que estén siempre llenos de agua. Según esto, se encuentran satisfechas las condiciones 1.^a, 2.^a, 3.^a, 4.^a y 6.^a, de las indicadas anteriormente.

La inclinación de la superficie del terreno en la comarca lagunera del Tlahualilo, y la presión hidrostática en las venas acuíferas subterráneas de la región, no son suficientes para que pueda brotar hasta la superficie del terreno el agua contenida en estos receptáculos, por las siguientes razones.

La parte más alta del nivel hidrostático, tanto en la planicie del Tlahualilo como en las sierritas que se levantan en esa planicie, está como dije antes, á 1,125 metros sobre el nivel del mar, y desciende ese

nivel hidrostático con poca pendiente, como se ve en los cortes (Figs. 9, 10 y 11, Lám. XLVIII) hechos en distintas partes de la región.

Los luganes más bajos de la comarca del Tlahualilo son: los alrededores de la estación de Santa Clara, á 1,115 metros sobre el mar; los alrededores de San Pedro de las Colonias, á 1,110 metros, y las cercanías de Zaragoza, á 1,095 metros. Por consiguiente, las diferencias de nivel entre estos lugares y la parte más alta del nivel hidrostático de la región (1,125 metros), son respectivamente, 10, 15 y 30 metros. Estos lugares están situados (véase el plano adjunto, Lám. XLV) á 20, 30 y 36 kilómetros de distancia de la zona en que el nivel hidrostático se encuentra á 1,125 metros de altura. Por lo tanto, la pendiente hacia esos lugares, que son los más bajos de la planicie, es 0.5, 0.5 y 0.8 por 1,000, ó sea $\frac{1}{2}$ á 1 milímetro por metro lineal.

Esta pequeña inclinación es completamente insuficiente para hacer que el agua brote hasta la superficie del terreno, pues la resistencia de la arena al movimiento subterráneo del agua es muy grande.¹ Para vencer esta resistencia, tanto mayor á medida que es más fino el grano de ese material, y para compensar también todas las pérdidas de fuerza viva en la circulación subterránea de las aguas, se necesita una carga mucho mayor de 1 milímetro por metro.

Es cierto que la presión hidrostática se transmite en la arena, aun cuando ésta opone mucha resistencia al movimiento del agua; pero la pérdida de carga por me-

¹ Charles S. Slichter. Field measurements of the rate of movement of underground waters. U. S. Geol. Surv. Water Supply and Irrigation Paper. Número 140 (1905), pág. 10.

tro lineal es muy considerable. En efecto, las venas acuíferas que según lo que he dicho antes, existen en el relleno de la depresión del Tlahualilo, pueden considerarse como tubos de sección muy irregular, bruscamente variable de un punto á otro, y en los cuales el perímetro de la sección es relativamente muy grande, comparado con la sección misma.¹ En estas condiciones la pérdida de carga es considerable, tanto porque la resistencia que oponen los tubos á la circulación del agua es proporcional al perímetro de la sección del tubo,² como porque hay que disminuir de la altura de carga, y por cada uno de los cambios bruscos de sección, una cantidad: que es proporcional en unos casos al cuadrado de la velocidad del agua en la parte de sección reducida; y que en otros casos es proporcional al cuadrado de la diferencia de velocidades medias del agua, antes y después del cambio brusco de sección del tubo.³ Como las venas acuíferas de que me ocupo, tanto las que se encuentran en el relleno de la depresión del Tlahualilo, como las que se hallan en las calizas de las sierritas de esa comarca, varían frecuente y bruscamente de sección, y como el perímetro de estas venas es muy grande, se comprende en vista de lo anterior, que una carga de 1 milímetro por metro es insuficiente para que el agua pueda brotar desde las partes bajas de las venas acuíferas mencionadas hasta la superficie del terreno.

En vista de lo anterior es fundado decir que: la línea

1 A. Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Paris (1887). Tomo I, págs. 155 y 156.

2 Haton de la Goupilliére. Exploitation des mines (1883), pág. 142.

3 Edouard Collignon. Hydraulique. Paris (1880), págs. 226 y 227.

de carga de esos receptáculos acuíferos subterráneos tiene una inclinación mucho mayor de 1 por 1,000; y como la superficie piezométrica es el lugar geométrico de todos esos puntos de carga, esta superficie tiene una pendiente mucho mayor también de 1 por 1,000. Ahora, como la pendiente entre los lugares más bajos de la planicie del Tlahualilo y la parte más alta del nivel hidrostático, tanto en esta planicie como en las sierritas de la región, es de $\frac{1}{2}$ á 1 por 1,000 solamente, y como la superficie piezométrica debe tener una pendiente mucho mayor, se concluye: que la inclinación de la superficie del terreno en la planicie del Tlahualilo no es suficiente para poder localizar pozos considerablemente más bajos que la superficie de alimentación del receptáculo acuífero subterráneo; y que la superficie piezométrica es subterránea en toda la comarca lagunera del Tlahualilo.

Cantidad y composición de las aguas subterráneas

La cantidad aproximada de agua que anualmente se infiltra en la comarca lagunera del Tlahualilo no la puedo calcular por ahora, porque no he recibido todavía los datos relativos que se le pidieron á la Comisión del Nazas. Solamente diré que esta cantidad, aunque variable anualmente con las lluvias caídas en la parte N.E. de la Sierra Madre en Durango, es de varios millones de metros cúbicos.

La composición de las aguas subterráneas varía en las distintas partes de la planicie del Tlahualilo. En efecto, las aguas en su circulación subterránea, descendente y en partes horizontal, va lixiviando á la arena

entre la cual circula, y como ésta contiene sales, el agua va siendo más salada á medida que su trayecto subterráneo es más largo. Las isohipsas del nivel hidrostático, trazadas en el plano adjunto (Lám. XLV), indican también la calidad del agua, la cual es más salada á medida que se encuentra en una isohipsa más baja. Este hecho lo observé en la región, y lo comprueban los resultados de los análisis químicos que indicaré en seguida. Sólo existe una excepción á la regla anterior, y es: cuando el lugar se encuentra cercano de un arroyo ó de un canal de irrigación; pues el agua infiltrada en las cercanías de éstos disminuye la concentración de las soluciones, y el agua en esos lugares contiene menor cantidad de sales que la situada al mismo nivel en el resto de la región.

Por otra parte, todas las aguas de la planicie del Tlahualilo tienen materia orgánica, y muchas veces están contaminadas esas aguas; pues la autodepuración no es completa cuando las norias se encuentran muy cerca de los excusados de cajón, como sucede en algunas casas de Bermejillo y también de Torreón.

Los resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas de la región, son los siguientes:¹

¹ Las análisis fueron hechas en el laboratorio del Instituto Geológico Nacional, por los químicos del mismo Instituto.

NORIAS	Isohipsa correspondiente.	Reacción	Densidad	Residuo orgánico.	Residuo mineral.	Residuo total.
				Gramos por litro	Gramos por litro	Gramos por litro
En Torreón	1125	Neutra.	1.001	0.022	0.405	0.427
En Gómez Palacio	1125	"	1.001	0.026	0.940	0.966
Noria número 5... Bermejillo en Ferrocarril Inter-	1115	"	1.001	0.136	1.494	1.630
nacional	1095	"	1.001	0.103	1.424	1.530
Cerro Colorado ...	1087	"	1.079	3.619	90.949	94.568
Cartagena	1087	"	1.004	0.050	3.268	3.318
Noria número 3... Bermejillo en Ferrocarril Central	1115	"	1.001	0.008	0.295	0.303
	1095	"	1.001	0.042	0.806	0.848

Como se ve por los resultados anteriores: en la isohipsa 1,125 el residuo total por litro varía entre 0^{gr}.43 y 0^{gr}.97 por litro; entre las isohipsas 1,115 y 1,095, el residuo varía entre 1^{gr}.53 y 1^{gr}.63; y en la isohipsa 1,087 varía entre 3^{gr}.32 y 94^{gr}.57 por litro. El residuo va aumentando á medida que la isohipsa es más baja, y las excepciones á esta regla son las norias número 3 y la del Ferrocarril Central en Bermejillo. La primera se encuentra en la isohipsa 1,115, y en vez de dejar un residuo por evaporación de 1^{gr}.53 á 1^{gr}.63 por litro, deja solamente 0^{gr}.303. La segunda se encuentra en la isohipsa 1,095, y en vez de 1^{gr}.53 deja 0^{gr}.848 por litro. Lo anterior se explica fácilmente, porque salen por estas norias aguas infiltradas de arroyos muy cercanos: por la número 3, del arroyo La Tinaja; y por la del Central, del arroyo de Mapimí.

El análisis cuantitativo del residuo mineral de algunas de las aguas anteriores ha dado los siguientes resultados, en gramos por litro:

NORIAS	Noria número 3	BERMEJILLO		Cerro Colorado	Cartagena
		Noria del Ferrocarril Central	Noria del Ferrocarril Internacional		
Sulfato de sosa	0.046	0.153	0.396	68,528	0.684
Sulfato de magnesia ..	0 015	0.131	0.234	3.520	0.288
Sulfato de cal	0 031	0.095	0.230	0.386	0.160
Sulfato de potasa	0 000	0.064	0.103	0.000	0.719
Carbonato de cal	0 113	0.179	0.272	1.864	0.254
Cloruro de sodio.....	0.052	0.103	0.158	17.018	0.858
Siliza	0.018	0.033	0.013	0.058	0.076
Peróxido de fierro y alúmina	0.000	0 004	huellas.	0.036	0.003
Pérdidas y substancias no cuanteadas.	0 020	0.044	0.018	0.039	0.026
Total Residuo mineral.	0 294	0.806	1.424	90.949	3.268

Los resultados anteriores indican que las sales de sodio son las dominantes en esas aguas, y que todas contienen sulfato de sodio. Estas aguas, según informes adquiridos en la localidad, no son apropiadas para el riego, con excepción de las que se encuentran dentro de la isohipsa 1,125 metros del plano adjunto, pues el agua más cargada de sales, se dice, quema á la planta de algodón.

Extrayendo el agua de las norias por medio de bombas, se logra que disminuya un poco la cantidad de sal contenida en el agua, como se observa en la hacienda de Noé; pero se llega á un límite, después del cual la composición del agua ya no varía. Podría decirse que la diferencia que existe en la composición de las aguas en las norias que tienen en Bermejillo los Ferrocarriles Central é Internacional, depende de que se extrae de la noria del Central gran cantidad de agua diariamente, en tanto que de la del Internacional, cercana de la anterior, no se extrae agua en

la actualidad. Pero en contra de este hecho existe el siguiente: de la noria llamada Cinco de Mayo se extrae diariamente mucha agua, y de la llamada Número 3, cercana de la anterior, es insignificante la cantidad extraída; sin embargo, el agua de la noria Cinco de Mayo es mucho más salada que el agua de la Número 3, como se ve en los análisis anteriores. La diferencia de composición de las aguas de norias tan cercanas, me parece ser debida al motivo que indiqué antes, es decir, que por la noria Número 3 y por la del Central en Bermejillo, salen aguas infiltradas de los arroyos cercanos.

Aprovechamiento de las aguas subterráneas

La cantidad de agua que existe en el receptáculo acuífero de la planicie del Tlahualilo es considerable; sin embargo, como el agua, salvo algunas excepciones, es bastante salada abajo de la isohipsa 1,125, las obras de aprovechamiento deberán hacerse de preferencia en la superficie comprendida dentro de esta curva de nivel. En favor de lo anterior existe también la razón que indiqué mucho antes, y es que esta superficie es una zona de gran infiltración de las aguas, porque en ella desemboca y la atraviesa el río Nazas, y además está toda cruzada por canales de irrigación.

“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

¹ A propos des nouvelles instructions à suivre pour l'étude des projets d'alimentation d'eau potable des communes de France. Bull. Soc. Belge de Géol., Paléo., d'Hydrol. Tome XV (1901), págs. 85-86.

indicar también la manera de captarlas." Por este motivo me voy á permitir indicar las obras que tienen por objeto hacer la extracción más económica y en mayor cantidad, de las aguas de mejor calidad que existen en el receptáculo acuífero subterráneo de la planicie del Tlahualilo.

No puedo recomendar la apertura de pozos artesianos, porque el agua sólo puede brotar en los lugares del terreno que se encuentren abajo de la superficie piezométrica; ¹ y por las razones que indiqué antes, esta superficie es subterránea en toda la comarca lagunera del Tlahualilo.

Cuando la superficie piezométrica corta á la superficie topográfica, la curva de intersección es la línea de división hidrológica, ² que separa dos zonas en la región: una, en la cual razonablemente puede predecirse el éxito favorable de los pozos artesianos, y es la parte de superficie topográfica que se encuentra abajo de la superficie piezométrica; y otra, en la cual las condiciones son adversas al éxito de los pozos artesianos, y es la superficie topográfica que se encuentra más alta que la piezométrica. En la planicie del Tlahualilo la superficie piezométrica no corta en ninguna parte á la superficie topográfica, sino que es subterránea en toda la comarca, aunque en algunos lugares se acerca á la superficie del terreno. En vista de lo anterior, puede decirse que: la comarca lagunera del Tlahualilo es una zona en la cual las condiciones son adversas al éxito de los pozos artesianos.

Al hacer una perforación en la planicie de que me

1 A. Daubrée. L. c., pág. 156.

2 Haton de la Goupillière. L. c., pág. 143.

ocupo: se cortarán algunas venas acuíferas de las que indiqué en otro lugar; se atravesarán los tramos intermedios entre las venas, tramos de poca permeabilidad; y se cortarán á veces las lentes de arcilla. Si se entuba la perforación: al atravesar las arcillas el pozo no tendrá agua; tendrá muy poca al pasar los intermedios entre las venas acuíferas; y al cortar estas últimas el agua ascenderá hasta la superficie piezométrica, pero como ésta es subterránea, el agua no brotará. En tiempo de riego, cuando sube un poco el nivel hidrostático en la región, aumenta la carga; y entonces el agua de las venas acuíferas podrá ascender en las perforaciones un poco más que en tiempo de secas. Inyectando aire comprimido en los pozos, se podrá hacer brotar el agua; pero este procedimiento no es económico, porque sólo se aprovecha el 35 por ciento de la fuerza desarrollada por el motor.

No siendo brotantes las aguas que se encuentran en el receptáculo acuífero de la planicie del Tlahualilo, deben considerarse como aguas que alimentan á pozos ordinarios;¹ y por lo tanto, las norias son las obras indicadas para poder aprovechar esas aguas subterráneas.

La profundidad de la cual el agua puede, ser bombeada económicamente depende del valor de las cosechas levantadas por su uso;² pero se acepta generalmente una profundidad máxima de 20 metros.³ La depresión local del nivel del agua por la acción de las bombas

1 A. Daubrée. L. c., pág. 19.

2 C. W. Mendenhall. The hydrology of San Bernardino Valley California. U. S. Geol. Surv. Water Supply and Irrigation Paper. Número 142, pág. 65.

3 W. T. Lee. Underground Waters of Salt River Valley Arizona. U. S. Geol. Surv. Water Supply and Irrigation Paper. Número 136, pág. 136.

es de 5 metros en la región del Tlahualilo, como se observa en las norias San Ignacio, Cinco de Mayo y la del Central en Bermejillo. Por lo tanto, sólo deberán abrirse norias en los lugares en que el agua se encuentre á un máximum de 15 metros de profundidad.

Por las razones que indiqué antes, la zona mejor para abrir estas norias es la comprendida dentro de la isohipsa 1,125 metros del plano adjunto. En esta superficie, como se ve en el mismo plano, la profundidad del agua está comprendida entre 10 y 15 metros en una parte, y en otra gran parte la profundidad es sólo de 5 metros. Es decir, que la zona comprendida dentro de la isohipsa 1,125 metros satisface todas las condiciones relativas á gran cantidad y muy regular calidad de las aguas subterráneas, y también la profundidad del agua en esa zona es aceptable para la económica extracción de esas aguas por medio de bombas. Además, dentro de esta zona se encuentra el lugar llamado San Ramón, en donde existen en las calizas, como he dicho, fracturas E.-W., las cuales permiten la salida de las aguas subterráneas del extremo S. de la Sierra de Mapimí.

Como conclusión de lo anterior puedo decir que: las obras que deberán hacerse para aprovechar en la irrigación las aguas subterráneas de la planicie del Tlahualilo, son norias en la zona comprendida dentro de la isohipsa 1,125 del plano adjunto, principalmente en las cercanías de San Ramón. Para asegurar mejor la alimentación de estas norias es conveniente hacer en el fondo de estas últimas algunas perforaciones, las cuales tendrán por objeto cortar varias venas acuíferas de las que se encuentran á mayor profundidad. El agua

se podrá extraer económicamente y en gran cantidad, con bombas centrífugas del número 5.¹

Colonia Zarco

Muy poco tendré que agregar al referirme con especialidad á la superficie de terreno en la cual se piensa establecer la Colonia Zarco.

El terreno antes mencionado se encuentra á 1,000 metros al N. de Bermejillo, y aproximadamente á 1 kilómetro también al E. del extremo S. de la sierrita de este nombre. Su altura es 1,123 metros sobre el nivel del mar, es decir, casi la misma que tiene la parte más alta del nivel hidrostático de la región, tanto en la planicie como en las sierritas que en ella se levantan.

De la Colonia Zarco el terreno desciende: por el Norte, para Peronal á 1,114 metros; por el E., para Horizonte á 1,110, y por el S., para Santa Clara á 1,115 metros.

El nivel hidrostático en las cercanías de esta Colonia se encuentra á 1,093 metros en la planicie, y á 1,097 en la Sierrita de Bermejillo, como se observa en la mina La Purísima (véase Fig. 12). Por lo tanto, el agua freática se encuentra allí aproximadamente á 30 metros de profundidad.

Esta Colonia se encuentra en la isohipsa 1,095 metros (véase el plano adjunto), en la cual el agua subterránea es salada; y de allí para la isohipsa 1,087 metros, el residuo mineral de evaporación del agua varía entre 1^{gr}.53 y 94^{gr}.57 por litro de agua, y la cantidad

¹ Charles S. Slichter. L. c., págs. 104-105.

de sulfato de sodio contenida en 1 litro varía entre 0^{gr}.40 y 68^{gr}.53, según los análisis anteriormente indicados.

La Colonia Zarco no cuenta con agua del río Nazas, que pudiera lixiviar el terreno convenientemente. Por lo tanto, el riego con las aguas saladas subterráneas haría que las tierras contuvieran cada vez mayor cantidad de sales de sodio, y sin lavar esas tierras irían siendo cada día menos buenas para el cultivo.

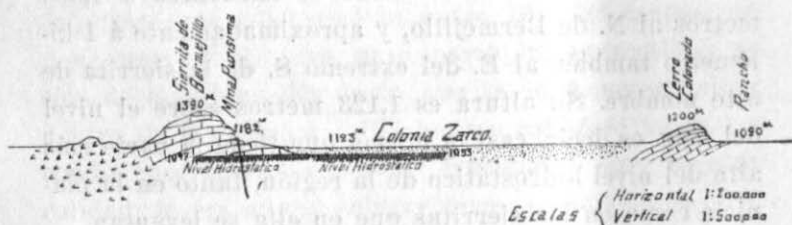


Fig. 12

Por los motivos anteriores no puede recomendarse la apertura de norias en esa Colonia, y menos si se tiene en cuenta que la profundidad del agua freática es allí doble del máximo aceptado para que sea económica la extracción del agua que se destina á la irrigación.

La apertura de pozos artesianos no puede recomendarse en ninguna parte de esa región, por los motivos ya indicados, y menos aún en terrenos de esta Colonia. En efecto, la altura de esta Colonia es 1,123 metros, y la altura de la parte más alta del nivel del agua en los receptáculos acuíferos de la planicie y de las sierritas es 1,125; pero esta parte más alta se encuentra á 30 kilómetros de distancia de la Colonia Zarco. La pendiente es, por lo tanto, de 0.07 por 1,000, ó sea

7 centésimos de milímetro por metro, pendiente insignificante, de acuerdo con lo que indiqué antes, para que el agua pudiera brotar. El nivel hidrostático en las sierritas cercanas de la Colonia se encuentra, como he dicho, 26 metros abajo de la Colonia mencionada.

Conclusiones

Como resumen de este informe, creo fundado formular las siguientes conclusiones:

I. En ninguna parte de la cuenca del Tlahualilo existen aguas subterráneas bajo presión hidrostática suficiente para que pudieran brotar hasta la superficie del terreno; y por lo tanto, no hay ninguna probabilidad de éxito en la perforación de pozos artesianos en esa región.

II. Existe gran cantidad de agua poco profunda (menos de 10 metros) y poco salada, en la zona comprendida entre San Ramón, Lerdo, Porvenir y San Gonzalo.

III. El agua freática de la zona anterior puede emplearse en la irrigación; para lo cual bastará abrir norias en esa zona, principalmente cerca de San Ramón, y extraer el agua con bombas.

IV. No es conveniente abrir norias en la Colonia Zarco, porque las aguas freáticas en ese lugar son profundas (30 metros) y saladas.

V. En lo relativo á aguas subterráneas me parece mal ubicada la Colonia Zarco.

México, Octubre de 1907.



...the ... of the ...

...the ... of the ...

Declaration

...the ... of the ...

...the ... of the ...



.V.IX .mkl

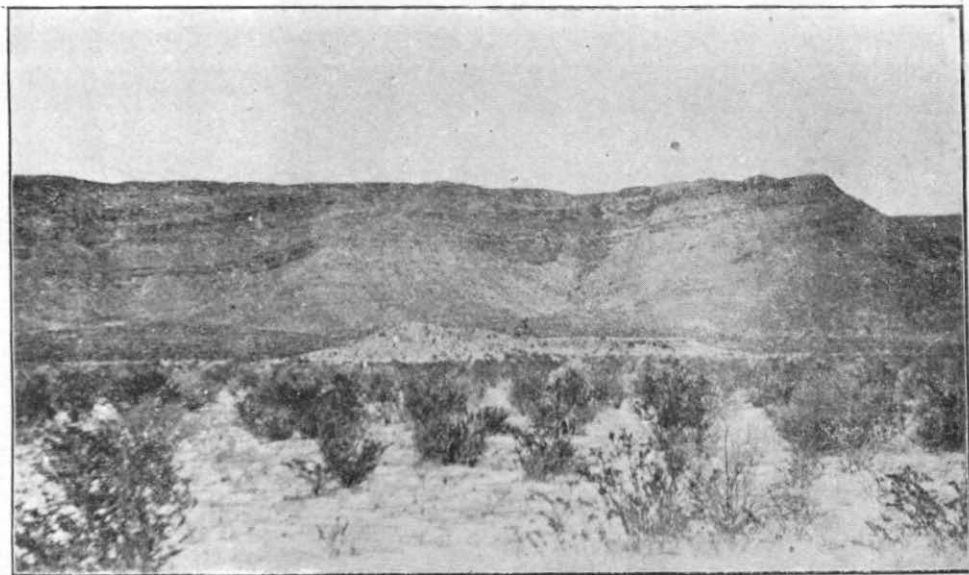
LA

LA

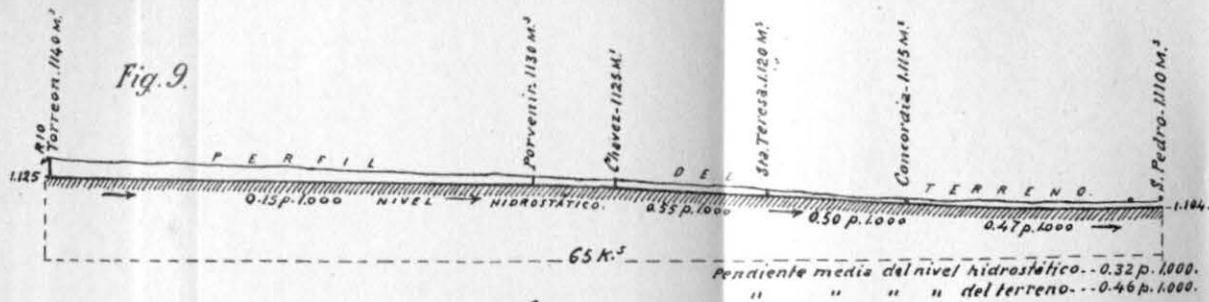


Corte geológico de la Sierrita de Bermejillo









Escalas { H. 1:200.000.
V. 1:2.000.

