

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA

ESTUDIO HIDROLOGICO

DEL

VALLE DE IXMIQUILPAN

ESTADO DE HIDALGO

POR EL INGENIERO

TRINIDAD PAREDES



MEXICO

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

—
1909

ESTUDIO HIDROLOGICO DEL VALLE DE IXMIQUILPAN

ESTADO DE HIDALGO

POR EL ING. TRINIDAD PAREDES

(Láminas XXXVII-XLIV)

Introducción

Ixmiquilpan es una población del Estado de Hidalgo, situada en las márgenes del río Tula; en años anteriores los habitantes se proveían de agua del río ó de fuentes situadas en las orillas del río, simples resurgencias del agua infiltrada en las tierras regadas con agua tomada de ese mismo río; pero desde hace algún tiempo, las aguas del desagüe del Valle de México son arrojadas al río Tula, cerca de Mixquiahuala, después de ser utilizadas para generar potencia eléctrica en Juan Dó y en Elba. Estas aguas del desagüe que llevan también las del drenaje de la ciudad de México, quitaron su carácter potable á las del río; de allí la necesidad de suministrar agua á la población por otros medios.

La Junta local para solemnizar el Centenario de la Independencia tomó á su cargo esta gran mejora é hizo las gestiones conducentes ante el Ministerio de Fomento para que se hiciera un estudio; por lo que el señor Director del Instituto Geológico Nacional, me hizo el honor

de comisionarme para hacer el estudio hidrológico de la región.

Deploro que este estudio no sea tan completo y acabado como lo deseo; pero esto es debido, en primer lugar á mi insuficiencia, y en segundo, á que siendo estos estudios relativamente nuevos en el país, se tropieza con varias dificultades, como son la carencia de datos de lluvias, evaporación, cantidad de aguas que entran y salen del Valle por los ríos y arroyos, y todos los datos de las Estaciones Meteorológicas é Hidrográficas de que desgraciadamente todavía carecemos.

La Sociedad Belga de Geología, de Paleontología y de Hidrología de Bruselas, que con tanto empeño y acierto cultiva la hidrología, elaboró un programa¹ para organizar metódicamente los estudios hidrológicos en esa nación y estableció que se necesita determinar:

1.º Cómo y en qué cantidades caen las lluvias sobre nuestras regiones.

2.º Qué proporciones se escurren en la superficie y cuáles penetran en la tierra.

3.º Qué es lo que viene á ser de las aguas que han pasado en el subsuelo: cómo circulan allí y se reúnen para formar los niveles acuíferos (nappes aquifères) más ó menos poderosos, más ó menos extensos, libres ó aprisionados (forcées).

4.º Qué elaboraciones, qué alteraciones y qué contaminaciones pueden experimentar las aguas en su trayecto subterráneo.

5.º Cómo, en qué cantidades y con qué cualidades más ó menos variables, según los períodos climatéricos

¹ Bull. Soc. Belg. Géol. Paléont. Hydrol. Tomo II, 1888, pág. 379.

ú otros, se desprenden de los terrenos y vuelven á la superficie. Cuáles son los gastos y los caracteres de los cursos de agua, ríos, arroyos y riachuelos así producidos.

6.º Qué cuencas, tanto superficiales como subterráneas, alimentan los diversos cursos de agua.

7.ºCuál es la historia de las modificaciones y de las alteraciones de las aguas corrientes en el pasado; cuáles son los usos que los caracterizan, qué partido se puede sacar de ellos, etc.

8.º Cuáles son el origen, el gasto, la naturaleza, las propiedades y las variaciones de nuestras aguas, de nuestras fuentes minerales y qué partido podrían sacar, por consiguiente, la Medicina ó la Industria.

Se ve por esto qué grande importancia tienen los datos que suministran las estaciones mencionadas para la ciencia hidrológica, que entre sus aplicaciones da tan grandes servicios á la Agricultura y al abastecimiento de aguas sanas y suficientes á las poblaciones y á las aglomeraciones humanas en general; dos cosas que significan la vida, el bienestar y el progreso de los pueblos, ó sea el engrandecimiento y prosperidad de las naciones.

En otras partes, además de que se encuentran muchos datos, ayuda el carácter de la raza. En los estudios hidrológicos que he leído, hechos en los Estados Unidos, no falta el registro de un pozo hecho para buscar agua ó petróleo; naturalmente esas perforaciones son un dato práctico de gran valor, que da mucha luz sobre el sistema hidrológico y geológico del lugar.

La misma Sociedad Belga acordó dirigirse á los Ministerios del Interior y de la Guerra, á los Gobiernos locales, á los Ferrocarriles y á todas las dependencias del Gobierno, así como á las Sociedades y Compañías Indus-

triales, á los profesionales y á todos los particulares en general, encareciéndoles la importancia de los estudios hidrológicos y el gran beneficio que harían á la Nación suministrando á la Sociedad todos los datos que estuvieran á su alcance, y sería de desear que en México nos suministraran los datos de las perforaciones, tengan ó no éxito, siquiera de aquellas en que de alguna manera toma ingerencia el Gobierno, sería de mucho provecho para el adelanto de la hidrología y ayudaría á formarnos un criterio exacto de sus leyes en lo que concierne al caso especial de nuestro suelo.

Para formar el croquis que acompaña este estudio, se tomaron algunos datos de unos itinerarios de Jacala á las estaciones de ferrocarril que facilitó el señor Jefe Político; las alturas son tomadas con aneroide.

Hago presente mi agradecimiento al señor Gobernador, á las Autoridades y al Presidente de la Junta local para solemnizar el Centenario de la Independencia, por el apoyo moral que me proporcionaron.

Geografía

El Valle de Ixmiquilpan se extiende como 20 kilómetros de Norte á Sur y otros tantos de E. á W., alargándose hacia el N.E. La ciudad de Ixmiquilpan es la única población de importancia que existe en el Valle, tiene como 6,000 habitantes, está sobre la margen derecha del río Tula á 1,712 metros sobre el nivel del mar; sus coordenadas geográficas son: $0^{\circ}05'20''.3$ longitud W. del Meridiano de México, y $20^{\circ}29'03''.7$ latitud Norte.

Fisiografía

El Valle está limitado por el Norte por una serie de montañas alineadas de Poniente á Oriente, que forman una cordillera elevada cuyas elevaciones principales son: el Cerro Juárez, La Muñeca, El Huakrí y El Santuario. Estos cerros se continúan hacia el Norte en verdaderas serranías cortadas por barrancos profundos, tomando el terreno un carácter sumamente escabroso, que es propio de nuestra Sierra Madre oriental, de la que ya forman parte.

Hacia el Sur ó sea frente á la depresión del Valle, estas montañas tienen sus picos más elevados: El Juárez se levanta á 3,026 metros sobre el nivel del mar y los otros un poco menos, de suerte que de las cimas de estas montañas á la llanura hay un desnivel de 1,000 metros por lo menos.

La vertiente Sur de estas montañas contrasta á vista con la del Norte por su esterilidad: hacia el Norte la vegetación es abundante, hay pinos, piñones y otras coníferas; hacia el Sur es sumamente estéril, á lo más crece la vegetación desértica.

Al Este del Valle está una serie de montañas calizas estériles, que principia por el Norte con el cerro del Taxmayé, sigue en los contrafuertes del Oschangüí (lugar donde se duermen las nubes) y termina por el Sur con el cerro del Huadrí. Esta serie de cerros son los contrafuertes occidentales de dos macizos calizos extensos del E. y del S.E.

Las estribaciones occidentales del macizo del S.E. forman parte del límite Sur del Valle, hasta los cerros de la cuesta de México, donde los cubren las rocas erupti-

vas. El resto del límite Sur del Valle lo forma un macizo eruptivo que se extiende de Norte á Sur en una forma longitudinal entre Mixquiahuala y Chilcuautla por el E. y Chapantongo y Alfajayucan por el W.

Entre Panales y Alfajayucan se desprende del macizo eruptivo, un ramal que limita el Valle por el W. y forma las eminencias de la Oreja y San Juanico, desde este punto dejan de ser elevadas las rocas eruptivas, van disminuyendo de altura hasta morir entre los lechos lacustres que se reclinan al pie de la sierra elevada del Norte.

El Valle es una extensa llanura de sedimentos lacustres donde se destaca uno que otro como islote de rocas compactas; el Tetzá, el Banganthó y el Orizabita de rocas eruptivas y el Tepé y El Mundo de rocas calizas.

En esta llanura crecen raquíticos los cactus, los mesquites y las plantas propias de los desiertos, todas las montañas que lo circundan se ven áridas y estériles completando el paisaje de un desierto. De estas montañas bajan barrancos que en la llanura se ven como ondulaciones que van á dar al río Tula el único surco estrecho donde la vegetación crece exuberante.

Los valles principales que rodean al de Ixmiquilpan son: El de Actopan que se extiende en dirección del S.E. á una altura media de 2,000 metros sobre el nivel del mar. El de Mixquiahuala y Cocineras al Sur como á 1,950 metros, el de Alfajayucan al Poniente á un poco más de 1,900 metros y el de Tasquillo al N.W. como á 1,650 metros.

Al N.E. existen varios valles como el del Llano y la Florida que en gran parte tienen su drenaje hacia el N.E. ó sea hacia el río Amajac. El Valle de Actopan

vierte sus aguas por el río de Actopan á la hacienda de Ocotzá, siguen por el rancho de La Presa donde hay varios tajos entre la caliza y entran al de Ixmiquilpan por Debodé que se encuentra como á 1,880 metros sobre el nivel del mar.

Las aguas de Cocineras y Maguey Blanco entran por el Tepé.

Hacia el W., es decir, de por Alfajayucan, sólo una pequeña porción de sus aguas escurre hacia el Valle de Ixmiquilpan; la mayor parte van por el río de Alfajayucan al río Tula uniéndose abajo de Tasquillo.

El río de Actopan no merece este nombre porque sólo en las lluvias muy abundantes lleva agua, y esto en la forma de avenidas; nace en la sierra de Pachuca, cruza el extenso Valle de Actopan y entra á Ixmiquilpan por La Presa y Debodé, cruza al Valle de Oriente á Poniente y se une al río Tula entre Ixmiquilpan y San Juanico, alcanzando su cuenca hidrográfica una extensión como de 2,000 kilómetros cuadrados.

El río Tula nace en las faldas del N.E. de la Sierra de Monte Alto que se encuentra al N.W. de la ciudad de México, sigue un curso general de Sur á Norte y se llama río de Cuautitlán, río del Salto y río Tula según los lugares por donde pasa para tomar después el nombre de río Moctezuma que forma una de las ramas principales del río Pánuco que desemboca en el Golfo de México por Tampico.

Este río, para entrar al Valle de Ixmiquilpan corta el extremo N.E. del macizo andesítico del Sur del Valle por donde ha labrado un tajo estrecho de paredes acantiladas hasta el lugar denominado La Presa, atraviesa al Valle de Sur á Norte hasta San Juanico donde toma

una dirección de E. á W. vuelve á cortar por el Abra las rocas eruptivas de la Oreja y San Juanico que forman el límite W. del valle y entra al Valle de Tasquillo por donde escurren todas las aguas que han venido á dar al Valle de Ixmiquilpan.

De suerte que á este Valle han venido á dar por el E. por Debodé las aguas como de 2,000 kilómetros cuadrados;¹ del Sur por el río Tula las aguas como de 5,000 kilómetros cuadrados. Del W. muy poco y del Norte sólo las aguas de las pequeñas barrancas que nacen en el flanco Sur de las montañas.

El río Tula al pasar por Ixmiquilpan siempre lleva agua, disminuyendo mucho en los meses de Abril y Mayo. Como ya se ha dicho, al pasar por Mixquiahuala se le reúne el agua del desagüe del Valle de México lo que le proporciona un buen caudal² y propiedades nuevas por las sales que contiene.

Por la comarca existe la creencia de que el agua del desagüe perjudica á las plantas, especialmente á los árboles frutales y sobre todo cuando el agua lleva una espuma en su superficie indicándoles que entonces el agua es del todo inconveniente para la irrigación; por falta de análisis de esas aguas no podremos decir hasta qué punto es justa esa creencia; pero es bueno consignar para que lo aprovechen los agricultores de aquí ó de otra región donde sea el caso que: El riego con aguas cargadas de sales en disolución, difiere del que se hace con

1 Estos datos son difíciles de dar con cierta aproximación por carecer de planos exactos, y sobre todo de planos hidrográficos.

2 En el mes de Abril el río en Ixmiquilpan llevaba 6,000 litros por segundo, asegurando los vecinos que en esos meses, sin el contingente del agua del desagüe, pasaría á lo más una tercera parte de esa cantidad.

aguas potables. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en su circular número 10 de 1899 dice: Que en la irrigación se puede hacer uso de aguas muy cargadas de sales en disolución cuyo límite puede ir hasta 1,000 partes en 100,000 de agua, obrando como lo hacen en Argelia, los requisitos son: Dividir el terreno en muy pequeñas parcelas; hacer los riegos repetidos hasta dos por semana y por el método de bancales; se debe usar una cantidad abundante de agua en cada irrigación y cada parcela debe tener sus drenes hasta de 90 centímetros de profundidad. De esa manera se mantiene un movimiento continuo del agua hacia abajo, los terrenos siempre están lavados, no hay oportunidad de que el agua del suelo esté más concentrada que el agua que se le aplica y así se obtiene éxito en los cultivos hasta de plantas consideradas como sensibles á las sales.

Geología

Las rocas de la comarca son sedimentarias y eruptivas.

Las sedimentarias son: calizas compactas; pizarras calizas; margas arcillosas; margas pomosas, arcillas y tobas.

CRETÁCICO MEDIO.—Las calizas compactas se presentan en bancos hasta de dos metros de espesor, contienen muchos fósiles entre los que se notan nerineas, ostreas, rudistas y otros muchos, pertenecen al Cretácico Medio.¹ Estas calizas forman el límite E. y Sureste del Valle, y se extienden desde el cerro del Taxmayé, frente al Cardonal, al cerro del Huadrí en Ocotzá y de allí á

¹ Aguilera. Bosquejo Geológico de México. Bol. Inst. Geol. núms. 4, 5 y 6.

Maguey Blanco donde están en gran parte cubiertas por lechos lacustres; sus direcciones y echados varían indicando que han sufrido muchos trastornos; además, contienen muchas cavernas subterráneas.

Su espesor en la parte que limita al Valle, no es posible fijarlo, porque no aflora la roca sobre que descansa esta formación.

Yendo de Norte á Sur, sus direcciones y echados son: 30° N.E. y 45° al S.E. En el Rancho de la Presa: 50° N.E. y 22° al S.E. 45° N.E. y 35° al S.E. 60° N.E. y 35° al S.E. En cerro al Norte del Huadrí 30° N.W. y 73° al N.E.; E. á W. y 40° al Sur. En cerro de Ocatzá 45° N.E. y 12° al S.E. 75° N.W. y 50° al N.E. En Maguey Blanco 36° N.E. y 50° al N.W.

CRETÁCICO SUPERIOR.—Las pizarras calizas se presentan en lajas compactas de varios espesores desde 60 centímetros hasta 5 centímetros; los lechos gruesos son bancos que en su parte inferior son pizarras separables en hojas ó lajas, y en su lecho superior son calizas compactas de fractura conchoide; en estas pizarras calizas encontré unos *Inoceramus* que el Sr. Dr. Böse dice son *Inoceramus labiatus*, y por lo tanto lo más probable es que pertenezcan al Turoniano.

Estas pizarras afloran en una extensión reducida, la mayor parte está cubierta por los sedimentos lacustres y se encuentran formando los dos cerritos del Tepé donde tienen muchos núcleos de pedernal y los dos tercios inferiores del cerro de La Cuesta de México; en su parte superior alternan con las margas arcillosas y van siendo más escasas hasta quedar solas las margas que forman la parte superior del cerro de La Cuesta.

Estas pizarras tienen en el Tepé 30° N.E. y echado

28° N.W. En el pie del cerro de La Cuesta 60° N.W. y 24° S.W. y 35° N.E. y 28° al N.W.

Estas mismas pizarras afloran al Sur del Cerro del Santuario ó más bien al Sur de la mina de San Clemente en el camino que va de esta mina á Ixmiquilpan en una loma que tendrá como 2 kilómetros de N. á S. y 1 de E. á W., estando cubiertas por todos sus rumbos con las rocas eruptivas; también aquí alternan las pizarras calizas con las margas arcillosas y tienen inoceramus que creo que son los mismos que los de La Cuesta de México, tienen 50° N.W. y 30° al S.W.

Las margas arcillosas ocupan por el Norte del Valle, la base de los cerros Juárez, La Muñeca y el Huadrí, donde las cubre una corriente andesítica muy alterada y desgarrada por la erosión y á la que deben sus formas caprichosas estas montañas; el cerro Juárez á la distancia semeja el perfil severo y grave del ilustre Presidente Juárez en posición acostada. A estas margas la intemperie las efflorece, las altera y las desmenuza; tienen colores abigarrados rojizos, verdosos y grises; no les encontré fósiles, sólo algunos núcleos ferruginosos; se apoyan sobre el Turoniano y pertenecen al Cretácico Superior¹ probablemente al Senoniano. Están muy plegadas y onduladas; en el cerro de La Muñeca, de abajo hacia arriba, tienen las siguientes direcciones: 67° N.W. y 35° al S.W.; 70° N.W. y 20° al S.W. y 35° N.E. y 12° al N.W. y afloran desde 2,300 metros sobre el nivel del mar hasta los 2,620 donde empieza la roca eruptiva que las cubre; no se puede asignar que la diferencia de nivel de esas dos alturas sea el espesor de la formación,

¹ Aguilera. Bosquejo Geológico de México. Bol. Inst. Geol. núms. 4, 5 y 6.

porque están muy plegadas y onduladas y en la parte inferior las cubren los lechos plioceno-pleistocenos.

Por el límite Sur del Valle estas mismas margas forman el cerro al W. del de La Cuesta de México, sus direcciones generales son: 25° N.W. y 30° echado al S.W. y Norte á Sur y echado 60° al W.; están también muy plegadas, hay plegamientos en abanico y donde las capas están desde verticales hasta horizontales.

Las pizarras calizas compactas y las margas ó sean los sedimentos del Cretácico Superior se extienden hacia el Norte y N.E. del Valle donde siguen con su carácter sumamente plegado y ondulado, especialmente hacia el N.E.

PLIOCENO-PLEISTOCENO.—Toda la extensión del Valle está ocupada por margas arcillosas rojizas, arcillas pomosas, kaolines y tobas de diferentes granos y colores; estos lechos varían de espesor, desde 5 metros las margas arcillosas rojizas hasta 5 centímetros algunas margas verdosas, algunos kaolines y algunas costras de semi-ópalo; contienen fósiles de mamíferos extinguidos iguales ó semejantes á los del Valle de México y pertenecen al Plioceno-Pleistoceno.¹ Yacen horizontales ó li-

1 Aceptemos la designación de Plioceno-Pleistoceno equivalente á la de Plioceno-cuaternario del Sr. Aguilera en el Bosquejo Geológico de México, para referirnos á toda la formación, aunque la edad precisa no está aclarada por carecer de estudios especiales. Los autores difieren en sus opiniones (con respecto al Valle de México que es el que está un poco más estudiado); los señores Ingenieros J. N. Cuatáparo y Santiago Ramírez en "Geología de Zumpango, *Min. Mex.* 1882, núm. 26 y sig. lo refieren al "Post-terciario" lo mismo el señor Ingeniero Antonio del Castillo en *Min. Mex.* 1879, núm. 41, pág. 484. El Dr. Böse en Geología de los alrededores de Orizaba, Bol. Ins. Geol. núm. 13, pág. 36, dice que es "probablemente Mioceno-Plioceno," el Sr. Ing. J. G. Aguilera, en De México á Tehuacán, Guide des Excursions du X Congrès Géologique International, 1906, al Plioceno y H. F. Osborn, *Science*, vol. XXI, 1905, pág. 932, al *Pleistoceno*.

geramente inclinados al aproximarse á las riberas de los lagos en que se formaron, existiendo la diferencia consiguiente en su constitución debida á la manera de depositarse los aportes de las aguas; cerca de las orillas se verificaron los depósitos de los materiales gruesos; guijarros, gravas, arenas, y en el centro los depósitos de los materiales finos: arcillas y kaolines, sólo las tobas no se sujetaron á esta clasificación sino que en los períodos de actividad volcánica vinieron las cenizas en forma de lluvias copiosas que cubrieron los lechos pre-existentes.

Voy á procurar detallar el orden sucesivo de estos lechos.

El Arroyo Hondo, en su desembocadura en el río Tula, está cubierto con arena que no deja ver la formación; un poco arriba, va sobre una arcilla con núcleos pomosos y arenosos que alternan con arcillas rojizas; sobre estos lechos vienen tres bancos de kaolines blancos muy limpios, uno de $1\frac{1}{2}$ metros de espesor, otro de un metro y otro más delgado, alternan con la marga arcillosa rojiza y una marga amarillenta verdosa; vienen después una serie de arcillas rojizas con arcillas pomosas y calizas concrecionadas; vienen después calizas concrecionadas, kaolines delgados y semi-ópalos de 5 á 20 centímetros de espesor y areniscas con núcleos de arenisca compacta cementada con carbonato de cal. Entre estos lechos, en el camino que va de Ixmiquilpan á Alfajayucan, un poco al E. de la Mesa de la Cantera, extrajeron, de una pequeña excavación, unos huesos que me parece son: un molar de Mastodonte, una quijada de Equus, un fémur de Elefante y otro hueso grande; los posee el Sr. D. Luis Flores, de Ixmiquilpan. Yo encon-

tré los lechos con fragmentos de huesos, pero la intemperie los destruye de tal manera que es imposible ver más de la estructura ósea; se necesitaría hacer una excavación, y sólo con manifestar ese deseo, bastó para que se creyera que esos terrenos estériles tenían un gran valor, puesto que contienen "restos de gigantes."

Sobre esto vienen: una arcilla sembrada de cenizas volcánicas negras y amarillas hasta de 20 centímetros; después un cantil como de 15 metros formado de tobas con arcilla y arena, cubierta por una toba brechiforme en la que se ven vidrios de pómez; esta cubierta tiene diferentes granos y colores, constituye un material de construcción de regular calidad, compacto y de poco peso, y hay varias canteras, y de allí el nombre de la Mesa. Esta cubierta de toba, de la mesa de la cantera se extiende al W. y Sur hasta los confines del Valle.

Hacia el N.E. y al Sur de Ixmiquilpan, la formación es igual, está constituida por las margas arcillosas con tobas y arenas, existen también los lechos de kaolín, las cenizas volcánicas, las tobas y la caliza concrecionada.

En la barranca del Salitre, entre los lechos de arcilla, abajo de las tobas, hay unos núcleos de arenas cuarzosas que forman unas bolas esféricas muy compactas, estas bolas están libres ó reunidas formando racimos; el cemento aglutinante es carbonato de cal de brillo sedoso.

La formación lacustre de San Juanico hacia la Sierra elevada del Norte, está formada por los materiales gruesos de los llenamientos y son: arcillas con tobas, arenas y guijarros de rocas eruptivas.

Las rocas eruptivas son: efusivas é intrusivas.

Las efusivas son:¹

Andesita de hiperstena y augita. Cerro del Texquethó al Sur de Ixmiquilpan.

Andesita de hiperstena y augita, Puerto de Tama-
leras.

Andesita de hiperstena (silicificada) Puerto de la Oreja.

Andesita de hiperstena, pyroxena (augita é hiperstena) y amfibola, margen izquierda del río Tula, al Sur de San Juanico.

Andesita de hiperstena (alterada) cima del cerro de La Muñeca.

Rhyolita (alterada) cerro del Santuario.

Basalto alterado de plagioclasa é Iddingsita (?) al pie y al Norte del cerro de la Cuesta de México.

Basalto gabroide, Mesa de Cocineras en el costado E. del camino para México.

Las intrusivas son:

Granito de hornblenda y biotita en diques, en La Pe-
chuga.

Pórfido syenítico de amfibola y biotita (ligadas), di-
que en la base del cerro de La Muñeca.

Syenita de pyroxena, falda Norte de La Muñeca, ca-
mino de la Bonanza.

Esquema de la historia geológica

Las rocas más antiguas que encontramos en el Valle, son las calizas compactas del Cretácico Medio, así es que podemos creer que hasta esa época, toda la región estuvo sumergida entre los mares. Al finalizar ese pe-

1 La clasificación de las rocas la hizo el Sr. Dr. P. Waitz.

riodo vinieron grandes trastornos que el Sr. Aguilera llama "Los movimientos orogénicos que iniciaron el levantamiento de casi todas nuestras líneas de relieve."¹ Se levantó la parte oriental del Valle y siguió sumergido el Valle mismo y sus linderos actuales, donde continuaron depositándose los sedimentos de una gran parte del Cretácico Superior: del Turoniano y probablemente del Senoniano, con sus levantamientos é inmersiones reveladas por sus depósitos alternantes de margas y calizas hasta quedar con sus aguas de poco fondo donde se formó el grueso de margas arcillosas.

Al final del Cretácico y principios del Terciario vinieron poderosos movimientos orogénicos que plegaron á los sedimentos del Cretácico Superior, y además los grandes cataclismos que dieron nacimiento á las Andesitas y Rhyolitas como rocas efusivas y á las Syenitas y Pórfidos Syeníticos como rocas intrusivas.

En los últimos períodos del Terciario empezó el rellenamiento de los abismos dejados por causas sumamente poderosas, propias de aquellas épocas: La intensa erosión² y los fracturamientos y saltos producidos por las erupciones y los movimientos orogénicos, las unas abatiendo y las otras reformando de una manera notable los rasgos fisonómicos de esta parte de la corteza terrestre hasta quedar constituida la extensa formación lacustre, que como el lago de Tenochtitlán³ cubrían una gran porción de nuestro territorio.

Existían tierras formadas por las cordilleras calizas

¹ Bosquejo Geológico de México. Bol. Inst. Geol. núms. 4, 5 y 6, pág. 212.

² Dr. Böse. Bol. Inst. Géol., núm. 13, pág. 37.

³ Aguilera. Guide des Excursions du X^e. Congrès Géologique International. IV. De México á Tehuacán.— México. 1906.

y eruptivas y numerosas islas sobre las que se ven los restos de la sedimentación que la erosión ha arrastrado después.

La formación lacustre subsistió hasta el Pleistoceno en que por el N.E. del Valle, quizá por algún movimiento orogénico general ó local, ó quizá por rebalse de las aguas, empezó el corte de las rocas que cerraban hacia esa dirección la región lacustre, y en ese sentido empezó el drenaje que hasta hoy existe, y desde entonces empezó el corte de los sedimentos lacustres que por Tasquillo alcanza una profundidad de 400 metros, por Ixmiquilpan unos 300 y por Actopan muy poco.

Los basaltos pertenecen á este período Pleistoceno, cuando algunos sedimentos habían sido arrastrados y ya se había diseñado en lo general el régimen hidrográfico.

Los varios períodos de la vida del río Tula ó del drenaje de la región, se pueden ver siguiendo el lecho del río en épocas anteriores al desembocar en el Valle. Al Sur de Ixmiquilpan, cuando el cauce del río era más alto, su pendiente era menor y sus aguas eran más abundantes,¹ extendió sobre la planicie en que desembocaba los cantos rodados de todas dimensiones que provenían de la desintegración de las andesitas del Sur, al ir las cortando cerca de su contacto con las pizarras arcillosas; el caliche en parte aglutinó estos guijarros, pero el río siguió y sigue ahondando su lecho sobre las tobas y las margas, y la parte cubierta por los cantos aglutinados se substrajo á la erosión de las lluvias y del viento que es muy activa en la comarca en los tiempos actuales,

1 A. de Lapparent. *Traité de Géologie*. 5^e édition, tomo III, pág. 1717.

y así hoy se diseñan mesetas con cubierta andesítica y base de lechos plioceno-pleistocénicos.

Geología aplicada

En esta sucesión de rocas de tan diferentes edades y procedencias existen muchas substancias explotables. Hay mármoles; abundantes materiales para cementos; abundantes kaolines para porcelanas, objetos refractarios y demás aplicaciones; semi-ópalo y arenas para vidrios; pómez para limpiar objetos; granitos, basaltos, muchas tobas y otras rocas que proporcionan una variedad grandísima de materiales de construcción. En el Santuario hay minas de oro. En Pechuga y Panales, minas de plata. En el Cardonal y quizá por Ocotzá, minas de plomo.

Lo único que se explota, y eso en pequeña escala, pero con buenos resultados, es el plomo en El Cardonal; este mineral fué descubierto á fines del siglo XVI; ha producido y producirá muy buenas fortunas.

En minerales del Cardonal y Zimapán descubrió en 1801 el Sr. Andrés del Río el metal Vanadio que él llamó Erythronium.

Hidrología

Todas las rocas del Cretácico carecen de manantiales en el Valle.

Las calizas compactas del Cretácico Medio son de permeabilidad en grande, tienen muchas cavernas y fracturas y la circulación del agua en estas rocas se hace por las diaclasas, por los huecos dejados entre los lechos levantados por los movimientos orogénicos y por las numerosas cavernas ó grutas de las que se conoce el trayecto de unas pocas, pero de las más sólo algunos

orificios por donde se notan corrientes de aire, como en la cuesta de Yolo donde existe una de estas bocas, otra por el Oschangüí y otras por diferentes lugares.

Las fuentes en estas rocas son vaclusianas; una de estas falsas fuentes ó resurgencias de las aguas de las calizas está en Tonalongo, al E. del Cardonal, ó sea al N.E. de la serie de cerros del Taxmayé al Huadrí que son los que limitan al Valle por el E. y cuya resurgencia pertenece al sistema hidrográfico del río Amajac.

Los afloramientos de las pizarras calizas del Turo-niano ocupan una parte reducida en el Valle y poseen una permeabilidad en grande; el agua de lluvia que se convierte en subterránea sigue por los planos de estratificación y las diaclasas hasta encontrar los lechos Plioceno-Pleistocenos que se apoyan directamente en estas rocas; anoté diaclasas con 70° S.W. casi verticales en capas cuya dirección es 60° N.W. y 24° al S.W. en el cerro de la Cuesta de México.

Las pizarras ó margas arcillosas, del Senoniano probablemente, pueden considerarse como impermeables á cierta profundidad; pero en la parte expuesta á los agentes atmosféricos, á una profundidad más ó menos grande que depende de varias circunstancias, esta formación es muy permeable; ya se dijo que estas margas están plegadas y trastornadas, y que á la intemperie se alteran y se desintegran fácilmente y no se puede obtener una quebradura fresca debido á la multitud de piesoclasas y diaclasas que las penetran. En esta formación debemos considerar tres partes: la parte expuesta á los agentes atmosféricos, la que estuvo expuesta á los agentes atmosféricos y luego al agua de los lagos pliocénicos, y otra que estuvo relativamente poco tiempo

expuesta y luego fué cubierta por la sedimentación lacustre.

Las dos primeras son muy permeables y una parte del agua de lluvia penetra fácilmente hasta la tercera que es poco permeable, pero donde cede su agua á los lechos inferiores lacustres formados de materiales gruesos, gravas, arenas y guijarros por donde sigue su circulación subterránea hasta el río, apareciendo en la forma de manantiales.

En la parte expuesta existe además la circunstancia de la fuerte pendiente del terreno que es del 15 al 30% y que hace que el escurrimiento del agua sea rápido, evitando así que haya manantiales permanentes en esta formación en la parte que corresponde al Valle.

Las rocas eruptivas son las que proporcionan algunos pequeños manantiales; estas rocas poseen, en lo general, una permeabilidad en grande y sólo las partes superficiales muy reducidas donde se encuentra la roca alterada y cubierta por la vegetación, son de permeabilidad porosa.

Entre los manantiales, en las rocas eruptivas, el principal es el del Santuario, es permanente con una agua cristalina, agradable, con 19° de temperatura, á 2,362 metros sobre el nivel del mar, y aunque la cantidad de agua en los meses de Abril y Mayo quizá no llegue á 5 litros por segundo, suministra agua para los habitantes del Santuario y el Cardonal; sale en el cauce del arroyo del Santuario, su cuenca hidrográfica está toda en el flanco N.E. del cerro del Santuario cuya cima se eleva como 500 metros sobre del manantial.¹

¹ La mayor cantidad de sus aguas va á dar al Cardonal por una tubería de fierro cuya longitud son 9 kilómetros y su desnivel 314 metros. Si juzgamos de la

El manantial de Orizabita tiene su cuenca sobre la Andesita de uno de los islotes eruptivos que surgen de entre los lechos lacustres, este manantial sale como 25 metros sobre los lechos y como 300 sobre Ixmiquilpan.

Por Panales están tres pequeños manantiales llamados del Xithejé (La agüita), provienen de paraclasas de la roca con 22° , salen entre un dique de roca cuarzosa que parece un filón en la caliza metamórfica en la que se encuentra la mina "Providencia" sobre la montaña.

Hay otros manantiales en las rocas eruptivas que se agotan en las sequías.

Con el agua del río Tula se riega una faja de terreno en sus riberas que puede tener de 100 á 1,000 metros de ancho y es lo que constituye la vida de la región. En las márgenes de ese río aparecen varios manantiales que son verdaderas resurgencias del agua infiltrada en las tierras de labor, pasa la tierra vegetal y entra á los lechos pliocenos de margas con tobas y arenas donde forma la capa de agua de los pozos de las casas, y escurre una parte al río; entre esas resurgencias están Pathé, La Viña, La Puentequilla y otros muchos; todos entre $19^{\circ}.5$ y 20° de temperatura.

Los pozos de las casas que surten de agua para la alimentación, son todos poco profundos, su profundidad varía de 4 á 6 metros del suelo á la capa de agua, todos tienen de 19° á 20° de temperatura.

importancia del pueblo del Cardonal por el número de sus habitantes, podemos asegurar que en la República muy pocos pueblos estarán dotados de una provisión de agua en que la higiene desempeña un papel importantísimo, y que debieran tener como ejemplo muchas ciudades del país; es cierto que la cantidad de agua es poca, pero no obstante ha restituido, con creces, su costo, disminuyendo las jornadas de todo un día que los moradores necesitaban hacer para tener el agua para satisfacer sus más imperiosas necesidades.

En el Nit existe un pozo con agua á 50 metros de profundidad y 24° de temperatura.

En el rancho de la Presa hay tres pozos: uno en el vaso de una presa que almacenó agua hará unos 2 ó 3 años, tiene agua á 5 metros, con $19^{\circ}.5$ de temperatura. El pozo de la Barranca, á la orilla del cauce del río de Actopan, tiene 40 metros y 24° . Un pozo que están haciendo frente á la casa del rancho, á los 37 metros se encontró un banco de arena de 2 metros de espesor que para pasarlo hubo necesidad de hacer un anillo de mampostería; alcanzaba ya 40 metros y del fondo salía una arcilla pomosa muy húmeda.

En la Barranca del Salitre hay un manantial permanente pequeño con 22° , que sale entre las margas pomosas.

En Tasquillo como á 1,640 metros sobre el nivel del mar, existen varios manantiales termales: el Zinthejé con 31° de temperatura, da como 40 ó 50 litros por segundo, sale entre las margas arenosas de la formación lacustre. El Baño en Tasquillo es una serie de manantiales que salen en el nacimiento de un arroyo muy cerca del río, unos manantiales tienen 20° de temperatura y son simples resurgencias de las aguas infiltradas en las labores de riego y los termales que tienen 29° , éstos son más numerosos, dan como 80 litros por segundo ó algo más, salen entre los mismos lechos de margas con pómez y arenas.

En las lluvias existen otros muchos manantiales en los lechos pliocenos, especialmente en los cortes que ha hecho la erosión, como en San Juanico y Panales, y que se agotan en las sequías prolongadas.

En el régimen hidrológico de Ixmiquilpan tienen una

gran importancia los lechos Plioceno-Pleistocenos por su extensión, por su espesor y por su composición.

Por su extensión ya se dijo que cubren no sólo la extensión del Valle, sino que se extienden á los que los rodean.

Su espesor es muy grande, pasa de 400 metros, puesto que los siguientes puntos están sobre los lechos lacustres y sus alturas son: El Cardonal, 2,048 metros; las lomas de San Juanico, muy cerca de Orizabita, 2,023; El Tablón de Ocotzá, 2,029; y Tasquillo está á 1,640 metros.¹

Por su composición ya se dijo que varían según la proximidad ó lejanía de las riberas de los lagos en que se formaron, siendo en lo general permeables, sobre todo en las cercanías de esas riberas donde están formados de guijarros, gravas y arenas; en la parte alejada de esas riberas se depositó el material fino arcilloso que forma los lechos impermeables; pero en algunas épocas, por fluctuaciones en el nivel de las aguas ó del terreno, ó por tormentas verificadas en tiempo de esas fluctuaciones, las arenas avanzaban hasta la parte central y se mezclaban á los materiales finos; otras veces, las tobas y las cenizas volcánicas son las que venían á mezclarse con esos materiales finos, y otras, esas cenizas eran tan abundantes, que por sí solas formaban lechos sobre las arcillas, y de esta manera tenemos en la formación lacustre alternancia de lechos permeables y lechos impermeables que en sus bordes se levantan siguiendo la configuración de la cuenca lacustre en que se formaron.

Las tobas, las pómez y las arcillas con arenas y tobas,

¹ 1,600 metros según el Sr. Kermeth Mills autor de los itinerarios de Jacala al Ferrocarril.

Mr. Daubrée¹ las clasifica como rocas permeables y nosotros tenemos una prueba de su permeabilidad. El propietario del rancho del Boxaxgni con el objeto de utilizar mejor su terreno que era atravesado por un arroyo estrecho que cortaba los lechos lacustres, construyó un dique como de 15 metros de alto, con lo que almacenó el agua con tierra y limos que arrastraba el arroyo en las lluvias; los tres primeros años el agua se consumió en pocos meses muy rápidamente, hasta que el limo formó sobre los lechos pliocénicos una capa impermeable, y hoy el agua permanece hasta las nuevas lluvias y sólo disminuye por evaporación y por el uso que hacen de ella.

La sucesión de lechos permeables y lechos impermeables tiene que sucederse á través de los lechos terciarios hasta llegar á la base de esta formación; que en Ixmiquilpan debe ser: la corriente andesítica ó las pizarras arcillosas del Cretácico Superior, una ú otra roca son impermeables. De suerte que tenemos lechos permeables: las tobas y las arcillas con pómez y arenas encerradas por lechos impermeables: kaolines y arcillas, que se levantan en sus bordes, y por lo tanto los permeables están expuestos á las lluvias ó reclinados sobre las rocas eruptivas ó las pizarras arcillosas, ó las pizarras calizas que les ceden el agua que en las lluvias se les ha infiltrado en la parte permeable de estas rocas, y con estas condiciones tenemos, desde luego, satisfechas las 5 primeras condiciones que Mr. Chamberlin² establece para la existencia de aguas artesianas que son:

1 Les eaux souterraines à l'époque actuelle, tomo I, pág. 15.

2 T. C. Chamberlin. The requisite and qualifying conditions of artesian wells. Fifth Annual Report U. S. Geol. Survey.

1.º Un estrato permeable para permitir la entrada y paso del agua.

2.º Un lecho impermeable inferior para evitar el escape del agua hacia abajo.

3.º Un lecho impermeable superior para evitar el escape del agua hacia arriba.

4.º Una inclinación de estos lechos, de tal manera, que el nivel del afloramiento de la capa en que el agua entra sea más alto que la boca del pozo.

5.º La zona superficial de infiltración debe estar de manera de recibir una cantidad de agua suficiente.

6.º Una cantidad de lluvia suficiente para suministrar este abastecimiento en la zona superficial de infiltración.

7.º¹ Ausencia de un escape fácil para el agua á un nivel inferior de la boca del pozo.

Seguiremos analizando las demás condiciones.

El abastecimiento del agua al medio permeable puede hacerse por las lluvias, como lo dice la anterior condición, ó puede hacerse por las lluvias á la vez que por las corrientes superficiales, como pasa en la región de Dakota, U. S.,² ó sólo por las corrientes, como en el Valle del río Salado, Arizona.³

Las corrientes superficiales en nuestro caso no dan un contingente apreciable á la superficie abastecedora de nuestro medio permeable: El agua de los 2,000 kilómetros cuadrados del rumbo de Actopan no escurre en la superficie hacia Ixmiquilpan, sino sólo en casos excep-

1 Reformada por Ch. S. Slichter. Water Supply and Irrigation Papers, número 67, pág. 82.

2 Nelson H. Darton. Preliminary report on artesian waters of a portion of the Dakotas, pág. 77. (17th Ann. Rep. U. S. Geol. Surv.)

3 W. T. Lee. Underground Waters of Salt River Valley, Arizona. Water Supply and Irrigation Paper, núm. 136, pág. 121.

cionales; la que no se evapora, y la que no gastan las plantas en su alimentación, se convierte en agua subterránea en ese mismo Valle, y al escurrir siguiendo la dirección de las corrientes superficiales, encuentra el macizo de rocas calizas del Cretácico Medio, cavernosas y fracturadas, entre las que circula fácilmente por grietas y cavernas hacia el N.E. ó sea el río Amajac.

El agua de los 5,000 kilómetros cuadrados del Sur pasa el macizo andesítico y al entrar al Valle, como á 30 metros sobre Ixmiquilpan, no encuentra levantados ni expuestos los lechos permeables inferiores, porque en ese lugar no había afluencia de material sedimentario cuando la formación de los lechos lacustres; pues el corte hecho por el río es posterior á esa formación; sino que el río encuentra las tobas horizontales y el agua que éstas absorben es restituida después al río, á un nivel donde éste viene á ser un dren de esos lechos, sin que el agua adquiera profundidad por impedirse los lechos impermeables inferiores. De suerte que las corrientes superficiales no dan su contingente para la existencia de aguas artesianas.

Ya se ha dicho que los datos de cantidades de agua que entran y salen del Valle no existen, y que los de lluvias son escasos, nosotros pudimos conseguir los datos de lluvias y temperaturas sólo de tres años, 1906 y 1907 en el Observatorio Meteorológico Central y 1908 en la Oficina del Telégrafo del Estado en Ixmiquilpan, que es donde está la única Estación Meteorológica de la comarca y cuyos datos son:

	Temperatura anual °	Lluvia anual mm
1906... ..	17.0	156
1907... ..	18.0	351
1908... ..	17.5	247
Promedios.....	17.5	251

Dando por exactos los datos anteriores, 251 milímetros nos representa la caída anual de agua en Ixmiquilpan, que por falta de datos debemos hacer extensiva á toda la comarca.

S. W. McCaille¹ establece que “la parte de lluvia absorbida por los suelos y que alcanza las aguas subterráneas, varía del 20 al 50% de la precipitación total,” dependiendo, naturalmente, de la porosidad del suelo, de su inclinación, de la cantidad de lluvia y de la superficie de evaporación.

La porosidad y la inclinación de los lechos permeables están en condiciones de suministrar un porcentaje elevado de aguas subterráneas.

La precipitación se verifica, según me informaron algunos vecinos, en forma de aguaceros, en que la mayor parte de la lluvia que cae en la superficie abastecedora se va como agua en corrientes que absorben los lechos superficiales del medio del Valle, que la restituyen á la evaporación. Como en el Valle del río Salado, Arizona, Mr. Lee dice² que: las 7 pulgadas de lluvia media anual de la comarca es tan poca, que probablemente toda se evapora antes de alcanzar profundidad, y 7 pulgadas equivalen á 178 milímetros.

1 A preliminary Report on the Underground Waters of Georgia. Geol. Survey of Georgia. Bull. núm. 15, pág. 21.

2 Loc. cit.

La evaporación debe ser muy activa; la vegetación tiene una gran influencia, porque no deja que los rayos solares penetren hasta el suelo é impide la libre circulación del viento, pero aquí se carece de vegetación, casi es un desierto.

Resumiendo, vemos que: los lechos permeables son de gran porosidad y están en condiciones de recibir mucha agua; pero ésta es una cantidad reducida, puesto que las corrientes superficiales no dan nada y la lluvia que cae en las faldas de las montañas, que es la superficie abastecedora, es insuficiente para impregnar de aguas brotantes á la poderosa formación lacustre.

La 7.^a condición, que no exista un escape fácil del agua á un nivel inferior á la boca del Pozo, tampoco nos es favorable; puesto que á 70 ó 100 metros abajo de Ixmiquilpan existen los manantiales termales del Valle de Tasquillo. Las aguas de estos manantiales, con 29° y 31° de temperatura, exceden de la del aire unos 10° en números redondos.

Una agua puede ser termal por dos circunstancias principalmente:

1.º Por haber circulado á una profundidad de la superficie terrestre que corresponde las más de las veces 1° por cada 30 metros,¹ y esa circulación puede haber sido por lechos permeables profundos; entre paraclases de las rocas, ó en el contacto de dos rocas diferentes y:

2.º Por haber circulado entre puntos calientes de rocas eruptivas modernas.

El agua de los manantiales del Zinthejé y del Baño no atraviesa ninguna roca eruptiva moderna, porque

1 A. Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle, t. II, pág. 160.

en todas las cercanías no la hay; no sale por el contacto de rocas diferentes sino que sale entre las margas arenosas de la formación lacustre; no recorre ninguna paraclasa, porque se necesitaba que esa paraclasa se manifestara de una manera notable, puesto que servía de canal de drenaje á las aguas subterráneas de los Valles de Ixmiquilpan y Tasquillo; porque teniendo en cuenta solamente esos dos manantiales en un año derraman 3.784,320 metros cúbicos de agua, ó sea una cantidad de agua equivalente á la que se convierte en subterránea en una superficie como de 40 á 50 kilómetros cuadrados, y el Valle de Tasquillo no los tiene, y de los manantiales al Oriente, que es la parte drenada por ellos, sólo alcanzará á ser una octava parte de esa superficie.

El agua sigue el siguiente trayecto: La parte de lluvia que se convierte en subterránea en las faldas de las montañas, á un nivel de 2,000 metros sobre el nivel del mar, para arriba, sigue la parte permeable de las rocas, la que ha estado expuesta á la intemperie y después fué cubierta por las aguas de los lagos pliocénicos, de allí alcanza los lechos lacustres inferiores muy permeables, por los que sigue su trayecto subterráneo hasta el río; y de este nivel á la superficie de la formación lacustre, ó sea la altura del trayecto del agua á la superficie de la tierra, existen más de 300 metros que son necesarios para que el agua adquiera la temperatura termal con que sale.¹

Entre los dos valles se interpone una rama de andesitas desprendida del macizo del Sur de Ixmiquilpan que

1 La interesante obra de A. Daubrée: *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*, tomo II, pág. 159, trae un perfil del Túnel de San Gothardo que revela la influencia de la altura de la superficie terrestre sobre la temperatura del agua.

se pierde entre los lechos lacustres; esta roca fué erosionada y fracturada en los grandes sucesos que se verificaron en los períodos primeros del Terciario, y cuando comenzó el rellenamiento de esos profundos abismos, un mismo lecho, al rodear á las rocas eruptivas, tuvo puntos de unión por donde hoy se verifica el drenaje del Valle de Ixmiquilpan; y aun cuando un mismo lecho acuífero no tenga puntos de unión, el agua subterránea, siguiendo las irregularidades del lecho impermeable,¹ alcanza las Andesitas, se levanta y escurre entre los mismos lechos por los “puertos” de la configuración subterránea de las rocas eruptivas erosionadas antes de ser cubiertas en parte por los sedimentos lacustres.

Por todo lo anterior podemos concluir que:

1.º En el subsuelo de Ixmiquilpan existen aguas artesianas, pero que no serán brotantes, sino que habrá que elevarlas valiéndose de cualquier procedimiento.

2.º El agua podrá encontrarse á diferentes niveles, ó lo que es lo mismo, que existen varios lechos acuíferos cuya profundidad precisa es imposible prever.

3.º El lugar más conveniente para abrir los pozos es la proximidad de la confluencia de la Barranca del Salitre con el río Tula, pero pueden elegirse las cercanías del río ó sea la parte más baja del terreno en la ribera derecha del río.

4.º Las aguas que se encuentren, lo más probable es que serán potables.

5.º Estas aguas pueden variar algo en su naturaleza, composición y demás propiedades.

¹ Charles S. Slichter. The motions of Underground Waters. Water Supply and Irrigation Paper. Núm. 67, pág. 34.

6.º Una perforación, si antes no ha encontrado agua suficiente, puede darse por terminada después de haber perforado unos tres metros en roca eruptiva compacta ó 10 en las pizarras arcillosas.

7.º Si desgraciadamente una perforación encuentra muy poca agua, no quiere decir que en todo el subsuelo no existan las aguas artesianas, sino que éstas son en cantidad reducida; y

8.º La profundidad de las perforaciones probablemente no necesitará pasar de 250 á 300 metros, sin que esto sea un límite preciso que más bien determinará la práctica.

En el Valle de Ixmiquilpan no tenemos ninguna perforación ni ningún corte que nos revele de una manera material el régimen hidrológico, y sólo como consecuencias de los datos geológicos hemos establecido nuestras anteriores conclusiones; pero creo que podemos agregar un argumento más, si establecemos la comparación, aunque sea muy someramente, con el Valle de México, donde existen muchas perforaciones para aguas artesianas.

En el Valle de México existen los fósiles que he mencionado se extrajeron cerca de Ixmiquilpan y desde luego podemos asegurar que la sedimentación de los dos Valles es contemporánea. Los dos están formados en cuencas casi cerradas, el de México se une con el de Puebla y sus confines se alejan muchos kilómetros ¹ lo mismo que hemos dicho le pasa al de Ixmiquilpan. Los dos tienen sus lechos constituidos de substancias muy semejantes, según la enumeración que nos hacen los señores inge-

¹ Aguilera. Guide des Excursions du X^e Congrès Géologique International. IV. De México á Tehuacán.—México. 1906.

se pierde entre los lechos lacustres; esta roca fué erosionada y fracturada en los grandes sucesos que se verificaron en los períodos primeros del Terciario, y cuando comenzó el rellenamiento de esos profundos abismos, un mismo lecho, al rodear á las rocas eruptivas, tuvo puntos de unión por donde hoy se verifica el drenaje del Valle de Ixmiquilpan; y aun cuando un mismo lecho acuífero no tenga puntos de unión, el agua subterránea, siguiendo las irregularidades del lecho impermeable,¹ alcanza las Andesitas, se levanta y escurre entre los mismos lechos por los "puertos" de la configuración subterránea de las rocas eruptivas erosionadas antes de ser cubiertas en parte por los sedimentos lacustres.

Por todo lo anterior podemos concluir que:

1.º En el subsuelo de Ixmiquilpan existen aguas artesianas, pero que no serán brotantes, sino que habrá que elevarlas valiéndose de cualquier procedimiento.

2.º El agua podrá encontrarse á diferentes niveles, ó lo que es lo mismo, que existen varios lechos acuíferos cuya profundidad precisa es imposible prever.

3.º El lugar más conveniente para abrir los pozos es la proximidad de la confluencia de la Barranca del Salitre con el río Tula, pero pueden elegirse las cercanías del río ó sea la parte más baja del terreno en la ribera derecha del río.

4.º Las aguas que se encuentren, lo más probable es que serán potables.

5.º Estas aguas pueden variar algo en su naturaleza, composición y demás propiedades.

¹ Charles S. Slichter. The motions of Underground Waters. Water Supply and Irrigation Paper. Núm. 67, pág. 34.

6.º Una perforación, si antes no ha encontrado agua suficiente, puede darse por terminada después de haber perforado unos tres metros en roca eruptiva compacta ó 10 en las pizarras arcillosas.

7.º Si desgraciadamente una perforación encuentra muy poca agua, no quiere decir que en todo el subsuelo no existan las aguas artesianas, sino que éstas son en cantidad reducida; y

8.º La profundidad de las perforaciones probablemente no necesitará pasar de 250 á 300 metros, sin que esto sea un límite preciso que más bien determinará la práctica.

En el Valle de Ixmiquilpan no tenemos ninguna perforación ni ningún corte que nos revele de una manera material el régimen hidrológico, y sólo como consecuencias de los datos geológicos hemos establecido nuestras anteriores conclusiones; pero creo que podemos agregar un argumento más, si establecemos la comparación, aunque sea muy someramente, con el Valle de México, donde existen muchas perforaciones para aguas artesianas.

En el Valle de México existen los fósiles que he mencionado se extrajeron cerca de Ixmiquilpan y desde luego podemos asegurar que la sedimentación de los dos Valles es contemporánea. Los dos están formados en cuencas casi cerradas, el de México se une con el de Puebla y sus confines se alejan muchos kilómetros¹ lo mismo que hemos dicho le pasa al de Ixmiquilpan. Los dos tienen sus lechos constituidos de substancias muy semejantes, según la enumeración que nos hacen los señores inge-

¹ Aguilera. Guide des Excursions du Xº Congrès Géologique International. IV. De México á Tehuacán.— México. 1906.

nieros Cuatáparo y Ramírez.¹ Difieren en la cantidad de lluvia anual, puesto que en México caen sobre 560 á 590 milímetros, y en Ixmiquilpan sólo 251 milímetros, y en que por Tasquillo existen manantiales á un nivel inferior de la boca de los pozos que se hagan y en el de México no existe ningún drenaje subterráneo conocido.

De suerte que en Ixmiquilpan, como en México, debe haber la alternancia de lechos permeables é impermeables, por haberse formado de substancias semejantes y en condiciones también semejantes; debe haber lechos acuíferos á niveles diferentes; los lechos no serán uniformes; el agua debe tener presión, pero no será brotante y será relativamente poca.

México, Julio de 1909.

1 Obra ya citada.