



GB530  
.M6  
154  
misc4

UNAM



23044

INSTITUTO DE GEOLOGÍA - CU



BIBLIOTECA



19  
V-29-1-20

COMISIÓN GEOLÓGICA DE MÉXICO.  
DIRECTOR, A. DEL CASTILLO.

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO

# LAS AGUAS DEL DESIERTO

POR

JOSÉ G. AGUILERA Y EZEQUIEL ORDOÑEZ,

Geólogos de la Comisión.



MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Calle de San Andrés núm. 15. (Avenida Oriente, 51.)

1895

1 (300)  
8ca  
. 2



8-29-1-37

80.50

COMISIÓN GEOLÓGICA DE MÉXICO.

DIRECTOR, A. DEL CASTILLO.

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO

# LAS AGUAS DEL DESIERTO

POR

JOSÉ G. AGUILERA Y EZEQUIEL ORDOÑEZ,

Geólogos de la Comisión.



MÉXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Calle de San Andrés núm. 15. (Avenida Oriente, 51.)

1895



DONACION

I

JUN 2013. *Verna*

GB530.M6

I54

misc4

491(300)

A98a

ejL

I-23044



---

Para contestar la nota de esa Secretaría de su digno cargo, núm. 7,350 de fecha 28 de Enero del corriente año, era necesario á causa de mi ausencia, me impusiera de los antecedentes del asunto de que trata, á saber: que se estudien ahora que están para terminarse los trabajos del desagüe del Valle de México, los medios de dar el mayor valor á los terrenos de que va á poder disponerse y llegar al mayor aprovechamiento de las aguas; ordenando, además, que dispusiera se redactara y presentara á esa Secretaría, el informe de los trabajos que hubiera practicado la Comisión Geológica; prestando así su cooperación al estudio de las aguas superficiales y subterráneas del referido valle.

Desde luego me encontré con la comunicación del Sr. Aguilera, fecha 12 de Octubre del año próximo pasado, que acompaña al programa formado por él para llenar un acuerdo verbal del Señor Oficial Mayor de esa Secretaría, para que la Comisión referida hiciera el estudio de las aguas corrientes ó estancadas; y las subterráneas artesianas y no artesianas, en su relación con la Agricultura; indicando los medios más adecua-

dos al mejor aprovechamiento de dichas aguas: aconsejar las obras que deban emprenderse y designar los lugares en que deban hacerse las obras convenientes; así como determinar la mejor aplicación que pueda darse á las tierras que al terminarse las obras del desagüe y una vez que éste esté regularizado, han de quedar en seco.

Se sigue exponiendo en el texto de la comunicación citada del 12 de Octubre, que en unión del Sr. Ordóñez se ocuparan de estudiar los terrenos Terciario y Cuaternario en detalle; y se extiende en las subdivisiones que comprenden la Geología estratigráfica, la Paleontología, la Hidrología y la Agricultura. Hecho lo cual en la cuenca de México, se harán estudios análogos en las demás cuencas, para que puedan ser paralelizadas.

Pasa después á indicar qué acopio de trabajos hechos se podrían pedir á diversas autoridades del Distrito y Estados limítrofes y al Observatorio Meteorológico Central.

Sin detenerme en hacer un extracto del programa detallado del Sr. Aguilera, que acompaña á la ya citada comunicación, me contraeré á referir que se trata propiamente de la formación de dos cartas, una hidrológica y la otra geológica y de la meteorología del valle.

Además, veo en el expediente relativo que la Secretaría de Fomento acusa recibo de la comunicación y programa referidos con fecha 24 de Octubre, aprobándolo y recomendando, que los trabajos se comiencen cuanto antes, en unión del Sr. Ordóñez; advirtiéndole que ya se dirige la referida Secretaría á las autoridades res-

pectivas, pidiendo los datos á que se refiere el Sr. Aguilera y las autorizaciones para practicar los estudios sobre las aguas de la gran cuenca: y consta en las contestaciones transcritas al mismo señor, que las autoridades á que se ocurrió, manifiestan carecer de los datos que se solicitan y que sólo el Observatorio Meteorológico Central facilitó el Tom. II. del Boletín Mensual de 1889, con datos sobre lluvias.

Ahora, en cumplimiento de la aprobación del programa, dichos señores dieron principio á sus trabajos hacia fines de Octubre, y como resultado parcial de ellos, han presentado á esta Dirección un cuaderno con este encabezamiento "Estudios hidrológicos de la cuenca del valle de México.—Los manantiales del Desierto," cuyo resumen importa tener en consideración, y es el siguiente:

En la sección I, describen los referidos señores la Orografía de la región; en la II, se ocupan de la Petrografía, y en la III, de la Hidrología propiamente. Dan el gasto de ocho manantiales del Desierto, medido en los días del 11 al 20 de Noviembre del año de 1894, haciendo un total de 3,799 lt. 326; en la IV sección, siguen tratando de la Hidrografía pura, en lo que se relaciona con las lluvias, haciendo extensiva la cantidad de 0,604 de lluvia media anual que da el Observatorio Meteorológico Central para el centro de la gran cuenca, á la referida región del Desierto, siendo en ella en la que más abundan las lluvias, y consideran en seguida la influencia que en ellas ejerza la vegetación, que creen favorable á su precipitación, y siguen tratando sobre las condiciones que contribuirían á su aumen-



to, como son las aguas circulantes dadas las condiciones de las fuertes pendientes del terreno: de la absorción por las capas esponjosas de los mismos terrenos, y de la que se evapora al aire libre. Y admitiendo según Cordier, que las pérdidas por evaporación, circulación exterior y subterránea se estimara en dos terceras partes del agua de lluvia, quedaría para el abastecimiento de los manantiales del Desierto una tercera parte de la caída de lluvia anual.<sup>1</sup>

Estiman que la evaporación es siempre inferior á una tercera parte de la cantidad de lluvia anual. Agregan que siendo 0.0066 el valor medio anual de la evaporación á la intemperie que el Observatorio Meteorológico Central da en las condiciones más favorables para el centro de la gran cuenca, esta cantidad viene á ser como la décima parte de 0.604, que es la cantidad total de lluvia anual para la parte plana de la gran cuenca; valor que consideran muy elevado; aceptando para llegar á un valor real de la observación, que sea el 5 por 100. Así, siendo 10 la pérdida por evaporación, habrá que substraer el 15 por 100 á la agua de lluvia, y quedará un 85 por 100 para el agua de circulación superficial y subterránea: y asignando una tercera parte de este valor, que suponen realmente ser mucho menor, á la circulación superficial, queda para la circulación subterránea el 56.6 por 100. Con estos datos calculan, que siendo 14.564,656 centiáreas la superficie de la cuenca de alimentación del Desierto, multiplicándola por

<sup>1</sup> Entiendo que la media de 0,6155 en la caída en los años de 1889 á 1890, es la que ofrece más probabilidades de acercarse á la media anual de que es trata en la región pluvial del Desierto.

0,6644, altura media anual de lluvia en la ciudad de México, más el 10 por 100 de absorción, obtienen unos 9.676,587 metros cúbicos como cantidad total de lluvia anual. De estos deducen el 56.6 por las aguas de infiltración y en último resultado quedan 5.477,101 metros cúbicos.

Pasan en seguida á calcular el gasto anual de los manantiales, considerando que en el mes de Noviembre, época en que midieron los gastos de los manantiales, es el que se acerca al máximum de los meses lluviosos; y siendo 4.61372 el gasto por minuto, obtienen para el año 2.424,971 metros cúbicos, que casi vienen á ser la mitad del agua subterránea, pues hay una diferencia de 3.052,130 metros cúbicos que se pierden. Y concluyen manifestando que á consecuencia de presentar la cuenca altos bordes, gran parte de esta agua puede ser aprovechada por medio de socavones para recogerla; los que se deberán abrir ya sea en los manantiales mismos para aumentar su gasto; ya sea á niveles inferiores para recoger gran parte del agua de infiltración: y para mayor efecto de estas obras subterráneas, aconsejan que en los niveles elevados se abran paralelamente á las crestas de la parte alta de las laderas; y en los niveles bajos longitudinalmente á las pendientes. Pero hacen observar que las conclusiones á que han llegado, deben considerarse como provisionales, pues faltan observaciones para distintas épocas del año acerca de la marcha ó régimen de los manantiales, y aun falta también para determinar todavía, siquiera aproximadamente, el volumen de las aguas, tanto de circulación superficial como de infiltración, y

los factores de evaporación y cantidad de lluvia de la cuenca del Desierto.

Como se ve, este es un ensayo de los métodos científicos que deben generalizarse para el estudio hidrológico en toda la gran cuenca. Los trabajos practicados han durado de fines de Octubre del próximo pasado año á fines de Febrero del presente, es decir, cuatro meses; y es de notar, que estos trabajos sobre Orografía, Petrografía é Hidrología incompleta se limitan á una extensión estrecha de la gran cuenca, como es la cuenca parcial de la región del Desierto; de suerte que siguiendo éste ensayo de estudio de la Hidrología, para extenderlo en toda la gran cuenca, sería preciso un personal muy numeroso, algunos años de operaciones en el campo y observaciones sedentarias en diversos lugares por varios años también, para llegar á resultados positivos sobre la Hidrología de la gran cuenca y constituirla.

Ahora, siendo, pues, el estudio completo de la Hidrología del Valle el que debe conducir y servir de base para llenar el programa en los términos en que ha sido aprobado, los Sres. Aguilera y Ordóñez se han visto en la imposibilidad de realizarlo.

Acompaño á vd. el cuaderno con el título de «Estudios hidrológicos de la cuenca del Valle de México.— Los manantiales del Desierto,» en unión del oficio de remisión de los mismos miembros de la Comisión Geológica.

Expuesto todo lo anterior para ilustrar la cuestión, debo ahora contraerme á llamar la atención de vd. sobre los puntos de que trata la referida comunicación



de esa Secretaría, citada al principio de esta comunicación, fecha 28 de Enero del corriente año.

Queda ya dilucidado que el programa del Sr. Aguilera aprobado por esa Secretaría implica, reduciéndolo á su última expresión, lo siguiente: «Formación de una carta geológica y otra hidrológica y el estudio de la meteorología de la gran cuenca llamada Valle de México, en lo que se relaciona á las cantidades de lluvias anuales.»

Los puntos de que trata la comunicación de esa Secretaría á que me vengo refiriendo, á saber: «se estudien los medios de dar el mayor valor á los terrenos de que va á poder disponerse y llegar al mejora provechamiento de las aguas,» y que la Comisión Geológica coopere al estudio de las aguas superficiales y subterráneas ahora que están para terminarse los trabajos del desagüe, implican realmente el levantamiento de una carta hidrológica.

Los miembros de la Comisión Geológica Aguilera y Ordóñez han hecho un esfuerzo para dar principio á ella, pero por los resultados se ve que es obra para cuya conclusión se necesita de un personal especial, número, que no tiene la Comisión: y que si á esa Secretaría le parece podrá proponer esta Dirección.

Mas tratando esta Dirección de poner todo su contingente á fin de cooperar á las miras benéficas de esa Secretaría, se permite consultarle se le dé tiempo para coordinar los datos que posee sobre aguas superficiales y subterráneas, sus clases y naturaleza: sobre la constitución geológica del fondo y laderas del cerco de montañas que forman la Gran Cuenca; y pueda emitir



sus opiniones acerca de los resultados probables de la desecación de los lagos, después de estudiar el proyecto de desagüe interior que tenga la aprobación del Gobierno para llevarse á cabo. Para que este trabajo se concluya, en el menor tiempo posible, propone también se integre la Comisión con un topógrafo hidromensor, si fuere de su aprobación mi consulta.

Libertad y Constitución, México, Marzo 18 de 1895.  
—*Antonio del Castillo*.—C. Ministro de Fomento, Colonización, Industria y Comercio.

---

Adjunto tenemos la honra de remitir á vd., para que por su digno conducto llegue á conocimiento del Superior, el informe relativo al estudio hidrológico de la fracción de la cuenca de México que alimenta los manantiales del Desierto. Al remitir este informe lo hacemos para dar cumplimiento á la disposición del Ministerio de Fomento, mas no porque consideremos definitivamente concluído el estudio de esa región, puesto que formando parte, como se ha dicho, de la cuenca de México, los fenómenos que intervienen en la producción de la lluvia como factores principales y auxiliares, tienen lugar en toda la cuenca, y es indispensable el conocimiento de la marcha de éstos en el resto de la cuenca, para por comparación con su marcha en la región del Desierto poder conocer las modificaciones de los fenómenos indicados.

Creemos, Señor Director, que sería más provechoso para la Comisión y para la Secretaría de Fomento también, el suprimir estos informes sobre fracciones, que

de manera alguna tienen independencia en el régimen de sus aguas, para evitar el tener que dar á cada uno de estos informes el carácter de provisionales, así como alejar el peligro de que, animados de la más buena fé, podamos incurrir en generalizaciones prematuras, ó pasar desapercibidas las influencias de algunos factores que en una pequeña región nos hayan parecido de poca trascendencia. Por otra parte, el estudio geológico de toda la cuenca se refiere á formaciones de gran uniformidad, que nos obligan á repetir constantemente en cada informe fraccionario los datos relativos á las formaciones del suelo, lo cual haría sumamente monótonos todos estos informes y difícil de apreciar en el estudio y discusión de todos ellos los datos hidrológicos que vendrían por esto á quedar dispersos y difusos.

Desearíamos, Señor Director, se sirviera vd. proponer á la Secretaría de Fomento se sustituyeran estos informes parciales por reseñas mensuales de los trabajos hechos en la prosecución del programa aprobado, lo cual nos evitaría la discusión prematura de datos incompletos, nos ahorraría tiempo que podríamos consagrar al trabajo de campo, y se tendría al Ministerio de Fomento al tanto del estado en que se encuentran los estudios hidrológicos.

Reiteramos á vd. las protestas de nuestra consideración y respeto.

México, Febrero 28 de 1895.—*José G. Aguilera.*—*Ezequiel Ordóñez.*—C. Director de la Comisión Geológica.—Presente.

---



## ESTUDIOS HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DE MEXICO

### *Los manantiales del Desierto.*

#### I.

Conocidas como son las condiciones climatológicas de la parte central de la cuenca de México, la vasta extensión de sus vertientes y la irregularidad de estas en sus contornos, es fácil concebir una variación notable en el régimen de sus aguas, tanto en las de precipitación atmosférica, como en las de las corrientes superficiales y subterráneas que provienen de aquellas; y haciéndose esta variación sensible en las regiones planas de dicha cuenca debe esperarse con mayor razón que en los lugares de relieve acentuado, donde las condiciones de temperatura son diversas, la modificación oscile en más amplios límites.

La región escogida para dar principio á los trabajos hidrológicos encomendados á la Comisión Geológica, ha sido cuidadosamente elegida con la doble mira de servir de base á investigaciones análogas posteriores, por una parte; y dar á conocer el régimen de aquellas



aguas que, por su abundancia, grado de potabilidad y condiciones geológicas en su manera de presentarse á la superficie, adquieren una importancia mayor. Ninguna región más adecuada que la que ocupa el S. O. de la cuenca de México, por encontrarse en ella los manantiales de agua potable que surten de este líquido á la capital de la República, y los cuales han sido muchas veces objeto de estudios destinados á fines diversos.

El borde occidental de la cuenca mexicana se halla formado por una prolongada serranía que se dirige del N. O. hacia el S. E. elevándose sucesivamente hacia este último rumbo, sin que por esto deje de tener al N. O. eminencias de consideración. Esta dirección media que es la dominante en su mayor longitud, se ve bruscamente cambiada casi al partir del cerro de "Las Cruces" para dirigirse ó cargarse más al E. hasta alcanzar la serranía, su punto culminante, que lo forma la cima de la montaña del Ajusco.

La consecuencia de esta marcada inflexión en el movimiento general de la sierra, es la formación de un ángulo entrante dentro del cual se encuentran cuencas de recepción de agua, relativamente grandes, siendo las principales la de Huixquilocan, la del Desierto y la Magdalena.

En el ángulo saliente y casi correspondiente á estas fuertes depresiones, el cambio de dirección dió lugar á la formación de una meseta relativamente ancha y elevada que lleva el nombre de "Llanos de Salazar," limitada al S. por un contrafuerte de los que radian del cerro de San Miguel, punto principal de la inflexión.

El flanco N. del cerro de San Miguel, y las crestas

que de él dependen, originan las cuencas de los manantiales del Desierto. Esta cuenca tiene la forma de una grande herradura ó más bien de una parábola abierta al N. E. cuyo vértice es la cima principal de San Miguel. En la rama N. O., ó sea la cresta de este rumbo sobresalen como eminencias los cerros de "La Cruz Blanca," por el cual se asciende al cerro del Pretorio y al del Caballete ligado directamente al San Miguel.

Al E. y N. E. de esta montaña se desprende otra cresta cuyas cimas principales son el cerro de "La Cruz de Colica" ligado al cerro de Teziutepec. Los flancos y aristas secundarios de cada una de estas montañas subdividen naturalmente la cuenca en diversos talwegs que alimentan á cada uno de los manantiales, pero que todos se reunen en la parte baja para formar el arroyo de San Borja, al que se ha quitado una buena parte de sus aguas para ser conducidas á la ciudad de México por el acueducto del "Desierto".

## II.

El interesante grupo de rocas andesíticas en sus diversas variedades y los productos tobosos, brechiformes y detriticos que les están asociados en casi todos los lugares en donde han hecho su aparición, constituyen el macizo de la sierra de "Las Cruces" y su prolongación del Ajusco.

En muchos lugares la hornblenda y la hiperstena se presentan constantemente en varias proporciones asociadas á la oligoclasa y algunas veces al sanidino.

No afectan estas rocas estructura particular en el terreno, se hallan dispuestas en bancos más ó menos irregulares con superficies de separación planas unas veces y ligeramente curvas y en muy excepcionales casos parece existir cierta tendencia á una estructura columnar.

En el examen macroscópico se reconoce desde luego el carácter vítreo de los cristales feldespáticos; sus superficies están finamente escamosas, ya sea por agrupación de bandas hemitrópicas extremadamente ténues, ya por líneas de crucero.

Las andesitas de hornblenda é hiperstena tienen á la simple vista un aspecto claramente porfiroide, por la presencia en su masa más ó menos homogénea de cristales de algunos milímetros de longitud, ya sea únicamente de feldespato, ó más escasamente de éste y de un mineral ferromagnesiano que resalta inmediatamente por su color obscuro cuyas caras prismáticas alcanzan 4 y 5 milímetros de longitud.

Las andesitas de hornblenda forman la parte superior del cerro de San Miguel; en la falda se extienden las andesitas de hornblenda é hiperstena, esta última en proporción variable pero siempre presente.

Pocas veces los cristales negros ferromagnesianos presentan contornos absolutamente bien definidos; y cuando estos elementos toman un color rojizo pierden casi completamente su figura prismática.

El magma fundamental de estas rocas es una mezcla de materia amorfa y otra de desarrollo microlítico, cuyas proporciones varían constantemente, desde la estructura casi totalmente microlítica hasta la predominancia de la materia amorfa en estado más ó menos avanzado



de devitrificación. En algunos lugares se nota un cambio gradual del estado microlítico al amorfo.

La estructura microlítica acusa un carácter fluidal por el alineamiento en una misma dirección de sus elementos ferromagnesianos, ó de cristales de feldespato más ó menos corroidos. A medida que aumenta la proporción del magma amorfo, las microlitas son de menor dimensión y por consecuencia la estructura fluidal se hace menos manifiesta.

Las microlitas en su mayor parte están macleadas y deben referirse á la oligoclasa en sus zonas de alargamiento habitual. En el magma no cargado de microlitas se observan en uno que otro lugar regiones más ó menos extensas de una masa finamente granuda con acción sobre la luz polarizada y con cierta tendencia hacia el desarrollo microlítico.

La presencia de la oligoclasa y el labrador en su variedad más común, se comprueba claramente por los valores encontrados para sus ángulos de extinción en las zonas más frecuentes. Estas son las de alargamiento según  $p$ ,  $g_1$  la perpendicular  $h_1$  y algunas secciones simples de  $g_1$ . Los cristales están formados de múltiples bandas hemitrópicas agrupadas según la ley de la albíta.

Los productos volcánicos que rodean á las andesitas extendiéndose bajo la forma de bancos al pie de las montañas y en una parte de la cuenca deben haber sido formados en parte durante la erupción de aquellas andesitas á las que están directamente subordinadas, pues sólo se encuentran al pie de estas rocas. Los agentes de erosión obrando sobre estas rocas piroclás-

ticas han rebajado constantemente el nivel de ellas á la vez que han descubierto en mayor extensión á las rocas macizas, y los detritus de éstas y de las rocas piroclásticas han venido á depositarse en capas de grano y composición diferente: unas casi exclusivamente de polvo remolido, naturalmente muy ligeras, otras bajo la forma de brechas pomosas (tepetate) y por último otras sumamente arcillosas y cuya proporción en pómez es menos fuerte. Todas estas capas tienen una inclinación general bastante débil hacia el fondo de la cuenca, y en su composición, así como en su mezcla, sufren modificaciones en consonancia con la distancia á su lugar de origen, y de la acción más ó menos prolongada del agua como agente de ordenación de sus elementos. Debido á su poca resistencia por la presencia de la pómez, la mayor parte de estas capas afectan la forma lenticular que se suceden en el mismo nivel y que en unos casos se enlazan gradualmente por simples modificaciones de textura y en otras, por el contrario, hay transiciones sumamente bruscas.

### III.

X Siendo el subsuelo de esta región de la cuenca macizo y de origen ígneo, lo natural es encontrar los manantiales en las depresiones de los pequeños valles y de los talwegs, ó sea dicho de otra manera, en los puntos donde convergen las vertientes; y es así como sucede en las cuencas hidrográficas de los manantiales del Desierto y los de Los Leones. La importancia relativa de cada uno de dichos manantiales, toda vez que la cantidad de lluvia es igual para las dos cuencas, de-

pende del número y dimensiones de las grietas que corren á la roca eruptiva, de la extensión superficial de la cuenca respectiva de alimentación de cada uno de los manantiales y del grado de permeabilidad y espesor de la capa absorbente, así como de la impermeabilidad del lecho de los manantiales.

\* Ya hemos visto en otra parte de este informe que el terreno está compuesto de rocas eruptivas que forman el subsuelo, de rocas detríticas que provienen de la descomposición *IN SITU* de la roca eruptiva y de material detrítico de origen volcánico, que con el anterior cubren en grandes tramos á las rocas ígneas. Este material detrítico obra absorbiendo las aguas de lluvia, facilitando su acceso á las rocas eruptivas, que atravesadas por un gran número de grietas, originadas unas por la contracción por enfriamiento de la roca y formadas otras por la acción de las aguas y de la helada y de los cambios de temperatura, se han convertido en rocas permeables en grande.

Así que los manantiales aparecen cerca ó en el contacto del material detrítico y de la roca eruptiva compacta en aquellos tramos en que la roca eruptiva cesa de estar profundamente agrietada, y en donde por la impermeabilidad de su masa detiene la circulación subterránea del agua y la obliga á salir en las laderas y vertientes de los talwegs.

A esta circunstancia de que los manantiales corresponden todos á los talwegs de la montaña, y que en ellos se encuentran repartidos de diferente manera: unos en la vertiente y cerca del fondo del talweg, otros en el principio de éstos y algunos en la base de las la-



deras, formando como pequeño nivel hidrostático, dando lugar así á la formación de una pequeña ciénega.

Los manantiales surgen á la superficie bajo la forma de pequeños hilos de agua que más ó menos inmediatos salen entre las grietas de la roca, constituyendo cada hilo de agua en su régimen un venero distinto, cuyo gasto es aparentemente independiente del de los veneros vecinos. Otras veces en lugar de verse claramente la separación de los hilos de agua de los diferentes veneros contiguos inmediatos, el agua sale bajo la forma de escurrimientos, que tienen lugar en superficies de roca considerable, y los cuales reunidos en la parte más baja forman entonces hilos de agua bastante perceptibles. Esta clase de manantiales debe referirse á la anterior, solamente que la salida del agua no se verifica bajo la forma de chorritos de agua sino que, por la pequeñez de las grietas que le dan salida, el agua se presenta como una capa delgada que reviste á la superficie de la roca de la cual escurre. Algunos manantiales ya sea de los alimentados por veneros de importancia, ya de los que están formados por los veneros pequeñísimos de que acabamos de hablar forman en su salida en el lugar que corresponde á su fuente una cieneguilla de extensión proporcionada á las dimensiones de la depresión, y cuya formación depende de la existencia de material detrítico acarreado por las aguas de lluvia que se extienden cubriendo á la roca y viene á constituir una capa irregular de material permeable, que apoyado en la roca impermeable, retiene la humedad, tanto la atmosférica de condensación por el fenómeno del rocío, como la de lluvia y la que sale ba-

jo la forma de filtraciones de pequeña importancia del manantial.

La existencia de esta pequeña ciénega á continuación de la salida de los manantiales sirve para el régimen de verdadero regulador, puesto que recibiendo las aguas en su ancha superficie, la circulación de éstas en todas ellas y su saturación atenúan las modificaciones que en el régimen sufre el manantial; y la salida de las aguas en el borde de la ciénega, para escurrir en el fondo de los talwegs, se verifica con una uniformidad tanto más perfecta cuanto mayor es el volumen del agua acaparada en la ciénega. El papel que desempeñan es, pues, el mismo que realizan los pequeños receptáculos y lagos interpuestos en el curso de una corriente.

Habiendo ya dado idea de la naturaleza de los manantiales y su posición en el lugar, veamos ahora como se verifica el régimen de estos mismos manantiales. Establecido ya en otra parte que la alimentación depende de la absorción y circulación subterránea del agua en la zona superficial de esta región, á favor de las grietas en las rocas eruptivas y por la separación y permeabilidad de los materiales detríticos que la cubren, se comprenderá fácilmente la relación ó enlace directo que estos manantiales tienen en su gasto con el fenómeno del rocío y la helada, si se atiende á que la capa colectora de humedad, que es la formada por los materiales sueltos ó poco coherentes que revisten á la roca eruptiva, es de espesor irregular pero relativamente pequeño, y que probablemente no excede de unos 50 metros en la parte más gruesa, y á que por

la fuerte pendiente de las laderas de las montañas, el agua de circulación subterránea á favor de las grietas de la roca dura encuentra fácil salida á diferentes niveles, en puntos que distan poco de la superficie de alimentación. Resulta de esto que los numerosos hilos de agua formados por la reunión de hilitos más pequeños y de gotas de agua que brotan de la superficie permeable, teniendo que circular según las diferentes direcciones en las cuales la roca dura se encuentra agrietada cerca de la superficie, no tienen oportunidad de reunirse para constituir grandes veneros y de aquí que los manantiales en lo general sean de gasto bastante reducido.

Esta circulación subterránea poco extensa, poco profunda y la subdivisión de las corrientes, explica también la independencia aparente que hay de un venero á otro que le es vecino, no obstante que proviene de la misma cuenca de alimentación, y hace comprender fácilmente que toda variación brusca en el régimen de las lluvias se haga sentir en muy poco tiempo en el régimen de los manantiales. Por la naturaleza de estos mismos manantiales, se comprende que el almacenamiento de agua que los origina depende en su mayor parte de la cantidad de agua de lluvia anual, pues que apenas pasada la estación de las lluvias, el gasto de cada manantial decrece de una manera rápida, al grado de que en el mes de Noviembre disminuyen bruscamente, y esta disminución se hace tanto más notable, porque estando los manantiales en los talwegs, hay durante la estación de lluvias un aumento notabilísimo en su gasto, debido á las aguas de circulación superficial,



que retenidas por la vegetación é impregnando la tierra vegetal, corren con más lentitud que el agua de torrente y contribuyen á sostener un gasto mayor que el que corresponde por filtración al manantial. En el transcurso del año puede dividirse la marcha ó régimen de los manantiales en período de decrecimiento brusco, que sigue inmediatamente á la estación de las lluvias; período de disminución lenta que empieza en Noviembre ó principia en Diciembre, según que la estación ha sido poco ó muy lluviosa, y termina en el mes de Mayo; período de aumento lento que corresponde á los meses de Mayo y Junio, y período de crecimiento brusco durante la estación de las aguas. Hay que hacer notar que los manantiales no son afectados por las lluvias de invierno, que son raras en la cuenca, ni por la caída de las nieves que es un fenómeno mucho más raro.

El gasto de los principales manantiales del Desierto, medido en los días 15 al 20 de Noviembre de 1894 es como sigue:

Manantial de las Piletas.....	lit. 74.273 por minuto.
„ de Las Palomas.....	79.975 „ „
„ de La Llorona.....	470.328 „ „
„ de San Miguel.....	1935.390 „ „
„ de La Monarca.....	384.860 „ „
„ de San José.....	196.320 „ „
„ de Los Lobos.....	463.540 „ „
„ Capulines.....	194.640 „ „

#### IV.

No habiendo dispuesto de tiempo bastante para estudiar con detenimiento la marcha de todos los fenó-



menos meteorológicos que, como otros tantos factores del clima, intervienen para modificar según leyes fijas la naturaleza, modo de ser y régimen de los manantiales, nos limitaremos simplemente á indicar de una manera sucinta la relación y dependencia de todos estos factores entre sí y con la resultante final, para nosotros interesante, del régimen de los manantiales.

Se sabe por la discusión de las observaciones meteorológicas, hechas en el Observatorio Central en el transcurso de diez y seis años, que la cantidad de lluvia media anual en la cuenca de México, es de 0.604 m., no tomando en consideración la media de 0.6155 que corresponde á la década de 1880 á 1890. Por otra parte, es una ley general que en igualdad de condiciones, tanto de la permeabilidad ó impermeabilidad del suelo de una región, como de la constancia ó regularidad de los vientos pluviosos, que la caída de la lluvia anual está en razón directa de la altura del suelo; si á esto añadimos la influencia que el relieve del suelo por su posición ejerce para modificar la cantidad de lluvia anual, encontraremos que la región S.O. de la cuenca de México, por su posición diametralmente opuesta á la de los vientos húmedos que traen las lluvias en la estación pluviosa, es sumamente favorable para que chocando estos vientos en el macizo montañoso, al elevarse reflejados por él á mayor altura, originen el fenómeno de la lluvia con mayor frecuencia y más abundancia que en el resto de la cuenca. La disposición de los estribos ó contrafuertes de los cerros de San Miguel, Pretorio y Teziutepec que radian de ellos hacia la cuenca de México formando en la parte alta talwegs

profundos que se ensanchan bajo la forma de valles estrechos para llegar al fondo de la cuenca, constituyen otras tantas direcciones de menor resistencia, según las cuales se verifica el movimiento de la masa de aire bajo la forma de corriente ascendente, que cuando el aire está húmedo, como permiten el paso en igualdad de tiempo de masas de aire más considerables que llegan á regiones más frías, se verifica entonces el fenómeno de la lluvia, aun cuando las circunstancias no hayan sido favorables para la producción de este fenómeno en el resto de la cuenca.

Como del lado del valle de Toluca se repite de una manera análoga la ramificación ó estribación de la montaña, ésta, por su situación y además también por su configuración, forma un gran condensador de la humedad del aire elevado en corrientes de uno y otro valle hacia la cumbre de San Miguel. Situado este cerro entre la cima principal del Ajusco, y el cerro de la Campana, correspondiendo á la dirección de la depresión que entre estas dos montañas se forma, es un obstáculo que obliga á las corrientes del aire húmedo que suben de las tierras bajas á chocar en su masa, y al reflejarse abandonar bajo la forma de lluvia la humedad que contenían.

La cuenca de alimentación por su posición hace las veces de un recipiente al cual concurren encajonadas por los lomeríos de las faldas de las montañas de la sierra las corrientes del aire húmedo que al ensancharse en esta cuenca disminuyendo su velocidad, chocan contra los cerros y por estas causas combinadas se determina la precipitación.

Tenemos pues hasta ahora establecido que, tanto por razón de altura como por la posición topográfica y la configuración de la cuenca, el fenómeno de la lluvia debe ser en ella más frecuente y las lluvias más copiosas.

Debemos tomar en consideración otro factor más sobre cuya influencia se ha discutido mucho, por considerarlo unos como de intervención general en la lluvia y por estimarlo otros como un simple modificador benéfico de dicho fenómeno. Queremos hablar de la influencia que la vegetación ejerce en la producción de la lluvia, y sin tratar de resolver si influye de una manera general ó local nos atendremos solamente á la opinión más generalmente aceptada, que considera la influencia de la vegetación como meramente local. Ahora bien, la región montañosa del S. O. de la cuenca es la más poblada en vegetación, y sea que la influencia de esta como regulador y difundidor de la evaporación se traduzca por un ligero aumento en las precipitaciones de la región ó que como aceptan otros muchos se extienda á pequeña distancia de la región boscosa, es inconcuso que tanto de uno como de otro modo encontraremos en la existencia de la vegetación de esta parte de la cuenca un auxiliar más que favorece un aumento de la media de lluvia anual. Tenemos que considerar ahora como factores contrarios á este fenómeno: la circulación de las aguas superficiales sobre montañas de pendientes fuertes, la absorción por el suelo del agua de lluvia y su circulación subterránea.

La circulación superficial proveniente indudablemente por la fuerte pendiente de estas montañas es contra-



riada en gran escala por la porosidad y permeabilidad del suelo mismo y por la presencia de la vegetación. Esta, como es sabido, influye subdividiendo el agua que cae en las laderas en numerosísimos hilitos de agua, cuya energía mecánica es destruída en gran parte por las plantas mismas sobre las cuales choca ó tiene que rodear. Retienen además las plantas represándola en su masa una parte de estas aguas circulantes y además de esta influencia mecánica absorben una gran parte del agua que ha sido obligada á permanecer algún tiempo al contacto de ellas, así que no obstante la fuerte pendiente de las vertientes las aguas circulantes no bajan al fondo de los talwegs al estado de hilos y corrientes de importancia.

Finalmente, la influencia directa que la vegetación tiene en el régimen de los manantiales, ya sea debida á que las plantas atraen como condensadores el vapor de agua atmosférico, ya sea por los obstáculos que presentan á la circulación rápida del agua ó bien porque disminuyen de una manera sensible la evaporación se traduce por el hecho plenamente comprobado de que en las comarcas en que los bosques han sido talados el gasto de los manantiales disminuye inmediatamente de una manera perceptible, así como su régimen se vuelve menos regular. Bousingault cita un ejemplo muy notable en la influencia que ejercen los bosques sobre el régimen de las aguas. La ciudad de Nueva Valencia situada á 2 kilómetros del lago de Tacarigua en Venezuela en 1765, se encontraba en 1800 á más de 5 kilómetros del mismo lago, á consecuencia de la tala ó desmonte; pero habiendo entrado el país en una serie

de guerras civiles durante largos años, las aguas del lago habían vuelto á acercarse gradualmente á la población, á medida que la vegetación arborescente había conquistado de nuevo las tierras de labor.

Al ocuparnos de la permeabilidad del suelo distinguiremos la permeabilidad propiamente dicha, ó sea la circulación del agua á favor de los numerosos intersticios de las rocas sueltas ó poco coherentes, y la circulación á través de cavidades capilares que constituye lo que podríamos llamar la absorción. Tanto en una como en otra el agua circula por su propio peso y por la presión ejercida sobre ella. Siendo la parte superior de la montaña formada de los detritus de las rocas eruptivas alteradas y descompuestas, las vertientes de los talwegs están revestidas de una capa de espesor irregular de materiales de dimensiones variables, poco coherentes, susceptibles de permitir la circulación rápida de las aguas. Por otra parte, debido al origen del cerro de San Miguel que fué primitivamente un volcán del cual quedan indicios en el material detrítico arrojado en sus últimas erupciones, en la parte alta se encuentra revestido por capas de arena y ceniza irregularmente distribuidas y de espesor variable que se portan en presencia del agua de lluvia como una verdadera esponja; tan favorables así son las condiciones de este material detrítico para la inmediata absorción del agua de lluvia. Estas dos clases de material, el de la alteración *IN SITU* de la roca, y las arenas y cenizas volcánicas unidas á la tierra vegetal cuyo poder de retención para las aguas de lluvia es de bastante consideración, nos hacen aceptar que si el agua que cae en la cuenca de alimen-

tación de los manantiales del Desierto, se reparte en las tres fracciones en que se debe subdividir el agua meteórica al llegar á la superficie del suelo, es decir, en agua de circulación superficial, agua que se evapora y agua que se absorbe; esta última parte representa la fracción mayor. Veremos que si se estimaran como las dos terceras partes, según las ideas de Cordier, las pérdidas por evaporación, circulación exterior y circulación subterránea extraña á la alimentación de los manantiales, nos quedaría como cantidad probable de agua exclusivamente destinada á abastecer los manantiales de que nos ocupamos, una tercera parte de la caída de lluvia anual. Esta cantidad pudiera parecer á primera vista bastante fuerte, pero si se atiende á que de los dos factores contrarios á la absorción de agua de lluvia, que son la evaporación superficial y la circulación, ésta con mucho superior á la primera, por razón de la configuración del suelo, es bastante insignificante en atención á la gran permeabilidad y vasta extensión de la cuenca y á las razones que anteriormente hemos expuesto. En cuanto á la evaporación, su valor es disminuido; por la baja de temperatura que se tiene á la altura de los manantiales; por la protección que presta la vegetación que impide la acción directa de los rayos solares; por el poco tiempo que el agua de lluvia permanece expuesta á la acción del viento, y por las modificaciones que la acción de los vientos ejercen en la vegetación, ya arborescente, ya herbácea que reviste aquella parte de la cuenca. Si bien es cierto que la disminución de presión en estas montañas influye para favorecer la evaporación, no creemos que ésta contrarreste á las accio-



nes en sentido contrario que acabamos de enumerar. En todo caso procuraremos demostrar que la pérdida por evaporación siempre es inferior á una tercera parte de la cantidad de lluvia caída anualmente.

Los datos que suministra el Observatorio Meteorológico Central relativos á la evaporación á la intemperie en lugar despejado, lejos de toda influencia extraña que pudiera modificarla en sentido contrario, dan para valor medio anual en las condiciones más favorables Om. 0066. Como se vé esta cantidad es casi la décima parte de la cantidad total de lluvia anual en la parte plana de la cuenca, cantidad igual Om. 604. Si en la porción alta de la cuenca hubiéramos de suponer la misma cantidad de lluvia, por no poseerse el valor exacto siempre mayor del que antecede, á consecuencia de las razones ya expuestas, la evaporación representaría como máximun la décima parte de la cantidad de lluvia anual; valor que como se vé es muy elevado tomando en consideración la influencia de la vegetación y demás razones; pero aceptémoslo así, toda vez que nuestro objeto es dar una idea aproximada de la cantidad de agua absorbida que es la que alimenta los manantiales y también las capas acuíferas subterráneas, no obstante que se enlazan con esa región.

La absorción propiamente dicha que es la circulación á favor de la capilaridad, representa el agua de impregnación retenida por las aguas al estado de saturación, capaz de permitir tanto la circulación subterránea como la superficial. Esta es un factor constante que sólo tiene que ser modificado por la evaporación hasta llegar á la zona de equilibrio entre la renovación



de humedad por capilaridad y el desperdicio por evaporación.

El valor real de la absorción, como es fácil comprenderlo, varía mucho según la naturaleza de la roca, siendo en las rocas poco coherentes en donde adquiere su mayor valor, siempre inferior á un 5 por 100, y esto en condiciones que favorecen notablemente á la evaporación y no en las del caso que nos ocupa en que la evaporación es poco activa, pero aceptamos el 5 por 100 para la absorción.

Debemos abstraer como agua no aprovechable un 15 por 100 que corresponde como acabamos de ver á la evaporación y la absorción, quedando un 85 por 100 para el agua de circulación superficial y la subterránea. Asignando al agua de circulación superficial la tercera parte de este valor, supuesto desfavorable por las razones que ya se han dado y por las cuales se viene en conocimiento que el valor es mucho menor, nos queda para representar el agua de circulación subterránea el 56.6 por 100.

Calculando, pues, sobre la superficie de alimentación de los manantiales, la cantidad de agua de circulación subterránea, partiendo del supuesto de que la caída anual de la lluvia es igual á la de la parte plana de la cuenca, más un 10 por 100 que no es así, sino muy superior, encontraremos que siendo de 14.564,656 centiáras la superficie de la cuenca de alimentación de los manantiales del Desierto, si multiplicamos esta superficie por la altura media anual de lluvia en la Ciudad de México, más 10 por 100, esto es, 0.6644, tendríamos 9.676,857 metros cúbicos como cantidad total de lluvia

añual. Si de esta cantidad tomamos los 56.6 por 100 que hemos aceptado para las aguas de filtración, tendremos 5.477,101 metros cúbicos. Ahora bien, calculando el gasto anual de todos los manantiales de la cuenca que nos ocupa, tomando como base el gasto de estos mismos manantiales en el mes de Noviembre, época en la cual empieza ya á hacerse sentir la disminución del gasto de los manantiales y que podemos considerar como acercándose al máximum de los meses lluviosos más bien que al mínimum de los meses de primavera, obtendremos que siendo 4m. 61372 el gasto por minuto, corresponden al año 2.424,971 metros cúbicos, que casi vienen á ser la mitad del agua subterránea, pues que hay una diferencia de 3.052,130 metros cúbicos de agua que se pierde.

Una gran parte de esta agua puede ser aprovechada en vista de la configuración de la cuenca, que presenta laderas de más de 300 metros de altura, y por consiguiente la posibilidad de recoger gran parte del agua abriendo túneles ó socavones, ya en los manantiales mismos para aumentar su gasto, ya en niveles inferiores al de los manantiales para recoger una gran parte del agua de filtración. Naturalmente las dimensiones de estos socavones tienen que ser diversas según los niveles en que se les abra, pues que á nivel más elevado se cuenta á la vez que con menor superficie de alimentación con un espesor menor de roca permeable, y en estos casos lo más conveniente sería ampliar la acción del socavón ó abrirlos paralelamente á las crestas de la parte alta de las laderas, siendo así que en los socavones inferiores se debería ampliar en longitud y en algunos

puntos quizá convendría abrir cruceros para aumentar así la superficie de captación de las aguas de filtración.

Las conclusiones á que acabamos de llegar deben considerarse como provisionales; mientras tanto, tenemos la posibilidad de comparar en distintas épocas del año la marcha ó régimen de los manantiales, así como determinar, siquiera sea de un modo aproximado, el verdadero volumen de las aguas, tanto de circulación superficial como las de filtración, y el de los factores, evaporación y cantidad de lluvia en la cuenca de que nos venimos ocupando.

México, Febrero de 1895.—*José G. Aguilera.*—*Ezequiel Ordóñez.*



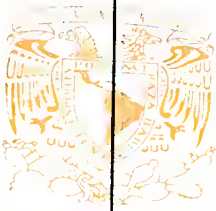




# UNAM

## FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes del vencimiento de préstamo señalado por el último sello

 <p data-bbox="485 720 737 807">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</p>		
--	--	--



