

26 corr / H0

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

INVESTIGACIÓN

DE

AGUAS SUBTERRÁNEAS

ANTECEDENTES PRÁCTICOS

PARA EL AGRICULTOR Y EL INDUSTRIAL

POR

Á. Carbonell T.-F.

INGENIERO DE MINAS

Resumen de un estudio presentado al Instituto Geológico de España



CÓRDOBA.—1914

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO LA PURITANA

Plaza de Cánovas, número 13

FACULTAD DE VETERINARIA DE CORDOBA

BIBLIOTECA

Número de volumen

Estante número

4496

Biblioteca de la Escuela de Veteri-
naria.

A Don Luis Adaro y Magro,
sabio geólogo, ilustrísimo ingeniero, el autor
agradecido.

Biblioteca



INVESTIGACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

ANTECEDENTES PRÁCTICOS

PARA EL AGRICULTOR Y EL INDUSTRIAL

I.—Proloquemos

Amigo agricultor, compañero industrial, si al terminar la lectura de este opúsculo estuvieras persuadido de que la lógica es la única base positiva en las investigaciones de aguas subterráneas, si como consecuencia en cada caso práctico cuya solución se exija llegas á saber hasta donde tu con tus conocimientos puedes dictaminar y donde te es preciso el consejo del técnico, y si finalmente quedas persuadido de la absoluta ineficacia del zahori que te asedia, loco cuando no charlatan; si sacaras estas tres consecuencias de este estudio, el autor consideraría recompensado con creces su trabajo.

Se trata de labrar un terreno y se apropia el cultivo á la calidad del suelo, partiendo de los antecedentes que proporciona la experiencia ó como consecuencia de un análisis; quiere el herrero trabajar una pieza y conocido el fin que ha de llenar procede de análoga forma; y si

esto se repite en cada profesión, en cada arte, en cada industria, por ese medio racional debe llegarse á consecuencias prácticas en otros casos en que el problema que se pretende resolver tenga más enmascarada la solución que se persigue.

Por ser complicadas, con frecuencia, las cuestiones que se suscitan sobre los caudales interiores, á causa de los variados factores que en ellas intervienen, por la índole oculta del elemento que se trata de alumbrar, es frecuente considerar erróneamente que en ellas hay una conexión con lo imaginario, y de ahí que estos problemas se presten con especialidad á las divagaciones de muchas fantasías, y lo que aun es peor, á la intervención de entes que bien por dejarse llevar con tal corriente ó por aprovecharse de los efectos que tales ideas originan en el vulgo, quieren colocar sus predicciones dentro de lo sobrenatural, cuando realmente no pasan de la atávico ó de lo cínico.

Se sabe que el agua aportada por las lluvias, nieves, granizadas, escarchas y rocíos, al descargar sobre la tierra se infiltra en parte en ella, vemos que el agua mana en fuentes de régimen más ó menos variable, en rezumamientos en general adventicios, en perforaciones practicadas por el hombre; conocemos por consiguiente como las aguas penetran en el subsuelo y como surgen de él; si pudiésemos, en virtud de las observaciones deducidas del estudio de esos dos hechos y algunos otros, determinar su cauce subterráneo ó el recipiente en que yacen y fijar la posición relativa de los mismos con relación á la superficie del terreno, el problema de su investigación dejaría de serlo.

Para pronosticar sobre ese camino yo no veo más

que un método, que ciertamente tropezará en muchos casos con graves dificultades, pero que es el único razonable; se trata de la mayor facilidad ó entorpecimiento que al paso del agua presentan los materiales que forman las capas, estratos y mantos internos, circunstancias que están en íntima concordancia con el estado de desagregación, fisuración, fractura y dislocación de los mismos.

Esta es la opinión sustentada por los geólogos, ingenieros y cuantos hombres suficientemente científicos han investigado estas cuestiones desde un punto de vista altruista; y es tan lógica la hipótesis, tan valiosas las opiniones y tan contundentes las corroboraciones prácticas, que unánimemente se acepta.

Se ha pretendido investigar las aguas subterráneas basándose en otras consideraciones que el estudio estructural de los terrenos, las que resultan absurdas en la mayoría de los casos y aun en aquellos en que no lo son obligan á aconsejar, en aras del mayor número de probabilidades, á prescindir en absoluto de las indicaciones que por tales medios pudieran conseguirse y aun á mirar con prevención á los zahoríes que hiciesen proposiciones de esa índole.

2.—Origen de las aguas subterráneas

El agua que descargan los hidrometeoros sobre la tierra se divide en tres sumandos, una parte que es evaporada de nuevo y cuya determinación no ofrece por consiguiente interés directo desde el punto de vista de nuestras investigaciones; otra que origina las corrientes superficiales al discurrir sobre el terreno, y la tercera que se infiltra en él y forma el caudal subterráneo.

Observemos el efecto de una escarcha en un valle; al apuntar el día la tierra aparece humedecida, por los tallos de las yerbas y arbustos descienden pequeñas gotas de agua, que en algún sitio corren hasta un arroyuelo inmediato, pero á medida que el sol se eleva y calienta con sus rayos la superficie, se extiende sobre el terreno un vaho ó niebla, consecuencia de la evaporación del vapor acuoso.

Proceden pues las aguas subterráneas de las filtraciones originadas á través de los terrenos; otros orígenes pueden contribuir á ese caudal, como las aguas marinas y las emanaciones de carácter volcánico, y más todavía las mismas corrientes superficiales al penetrar por las márgenes de su cauce, pero el 99 por 100 del caudal subterráneo se considera originado por la primera causa. (Füller.)

3.—Filtración de las aguas á través de los terrenos

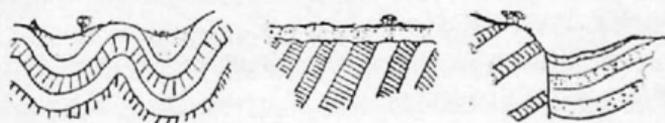
Los sedimentos que arrastran las corrientes superficiales los depositan en las desembocaduras y remansos, en las márgenes, ó contribuyen á formar islotes en su centro. Las olas del mar al batir las costas arrancan y demuelen aquellos puntos donde la violencia de su ataque no queda atenuada por la poca profundidad del fondo ó por otra circunstancia, pero los materiales que arrastran y llevan en suspensión los depositan en las profundidades oceánicas ó van á aumentar las playas, estuarios y otros accidentes del cordón litoral. Las rocas más resistentes se desmoronan por la acción persistente del agua y del viento y sus detritus conducidos por esos elementos

y en virtud de su peso van á rellenar las depresiones del suelo. Si á través de esos depósitos pasan aguas muy cargadas de cal y encuentran condiciones apropiadas para precipitarla, consolidan los restos desagregados y los transforman en una dura roca. Únanse á esas manifestaciones las de los cataclismos volcánicos y los temblores de tierra y otras cuya pequeñez relativa se compensa por su constancia.

Esa serie de trasformaciones de la corteza terrestre que hoy vemos, viene realizándose á través de los numerosos siglos de la vida de la Tierra, y según fundadamente puede afirmarse con bastantes períodos intercalados en que se recrudeció la actividad volcánica y los movimientos de la ya citada corteza, en términos tales que los mayores que hoy vemos son débil reflejo de aquellos cuyas huellas se han estudiado.

Consecuencia de tales hechos es la disposición que afecta el suelo y el subsuelo, formados por una serie de capas de potencia, naturaleza y aun inclinación variable como se ve en los ejemplos indicados en la figura 1.

FIG. 1



Las ligeras ideas que acabamos de exponer son fundamentales en el estudio que se lleva á efecto.

Pasemos á considerar la penetración del agua en los terrenos que puede tener lugar á través de los poros más pequeños de las sustancias, de aquellos que no son perceptibles á simple vista, á través de los huecos, hendidu-

ras y fisuras de diferentes órdenes que cortan las rocas y las formaciones geológicas.

Porosidad de una sustancia es la relación del volumen ocupado por sus poros al total aparente de la misma.

Absorción.—Es el fenómeno en virtud del cual toda sustancia en contacto con el agua impregna de líquido parte de su masa.

A causa de existir en todos los cuerpos espacios sumamente pequeños que gozan de la propiedad de retener el agua, en virtud de su *capilaridad*, se hace indispensable distinguir los anteriores conceptos del de la

Permeabilidad.—Que es la facilidad que presentan algunas sustancias para dar paso al agua á su través.

En toda roca, en todo depósito, hay que distinguir una red de grandes fisuras, grietas y canales de dimensiones determinables y dependiendo de ella otra serie de pequeñas porosidades. El movimiento del agua por tan complicado sistema puede compararse á la circulación de la sangre por el organismo humano. (Mallada.)

Agua de cantera de una roca es la que retiene á causa de su porosidad y fisuración.

Filtración.—Es el hecho del paso del agua por las sustancias permeables.

Consideradas las capas alternantes que forman el subsuelo, se dividen en *capas impermeables* y *capas permeables*, designándose también á las últimas con los nombres de *capas acuíferas* ó *freáticas*, si no son demasiado profundas, ó también con el nombre de *horizontes*.

Todas las capas permeables pueden dar origen á capas acuíferas; las impermeables aunque estén embebidas de agua si se atraviesan por un pozo no la sueltan, á causa de la capilaridad de sus conductos.

La permeabilidad de una roca será tanto mayor mientras mayores sean las dimensiones de sus oquedades y su número. Los depósitos más permeables son frecuentemente los peor consolidados. Las sustancias mientras sean de naturaleza más frágil tanto más tienden á facilitar este paso del agua, así se ve que la sílice ó cuarzo cuando abunda facilita el mismo á través del terreno.

Las aguas que caen sobre el terreno se filtran en él si encuentran condiciones apropiadas, es decir, si este es permeable ó está muy fisurado, pero téngase presente que las capas geológicas pueden variar su estructura sin alterar su composición y dejar de ser permeables y volver á serlo, aunque se prolonguen subterráneamente.

Así como los depósitos silicios, arenas, gravas, guijos, cantos rodados, favorecen la permeabilidad de los terrenos, así los arcillosos actúan en sentido contrario.

Si las sustancias que forman el subsuelo son rocas compactas, habrá que distinguir los huecos, las porosidades que quedan entre los elementos que las forman, pasos del líquido á veces más fáciles de lo que podía deducirse de sus exiguas dimensiones, y aun cuando se trate de masas compactas é impermeables, si las cortan filones ó fisuras, por ellas puede existir un canal para el agua.

Generalmente al caer una lluvia sobre un terreno la velocidad de caída será mayor que la de filtración en el mismo y se formará una corriente superficial. Exceptúense ciertos depósitos sueltos y algunas calizas con torcas ó embudos.

La absorción del agua por las rocas puede ser directa cuando ocupan la superficie del terreno é indirecta cuando toman la humedad de otras capas superiores.

La tierra también absorbe la humedad de la atmósfera en condiciones convenientes; esa propiedad es una función de la temperatura del ambiente y de la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Recíprocamente, si el aire seco se pone en contacto con la tierra humedecida, parte del agua contenida en esta pasa á aquel; este fenómeno constituye la evaporación, y subsisten las plantas gracias á que en virtud de la capilaridad de las sustancias que forman el suelo laborable, éste se provisiona de la humedad del subsuelo cuando se evapora la suya propia, como el agua asciende por un terrón de azúcar cuya punta se introduce en el líquido.

4.—Fenómenos acuosos: Su importancia

La importancia de las lluvias y otros fenómenos acuosos varia poco de año en año en una misma región, así es que conociendo las observaciones de seis años consecutivos puede tenerse una buena idea del promedio. (Iñiguez.)

En cuanto á la importancia de la evaporación de las aguas caídas se ha reasumido así: La evaporación es tanto más temible cuanto más escasa y más necesaria es el agua. (Bentabol.)

La pérdida que la evaporación supone puede ser atenuada por el cultivo. Del 40 al 60 por 100 del agua caída en las distintas cuencas de España desaparece en virtud de este fenómeno, lo que demuestra su valor y la necesidad de su consideración en todas las cuestiones de aguas. El cultivo no disminuye la cifra citada, pero mediante él la planta se nutre á expensas del líquido antes de perderse este en la atmósfera, rinde así esa cantidad tan im-

portante un beneficio y produce una riqueza mediante esta variación en el ciclo recorrido.

5.—Conducción subterránea del agua

Pasemos á estudiar la segunda fase que hemos considerado en el movimiento de las aguas subterráneas.

Precedentemente indicamos algunos caracteres que facilitaban la permeabilidad y por consiguiente el paso del agua por el subsuelo.

Todas las rocas, todos los depósitos, están atravesados por innumerables *poros, estrias, lechos y planos de junta* á través de los cuales es sumamente difícil el curso del agua. A medida que aumentan las dimensiones de las oquedades aumenta también la permeabilidad de los materiales que atraviesan, tal sucede con las *fisuras* cuya disposición puede ser regular ó irregular en el depósito ó roca, circunstancias cuya importancia no hay que encarecer. Más fácil es aun el paso del agua entre el *contacto de dos formaciones diferentes*, como un banco de caliza y otro de pizarra, especialmente si las presiones ó los movimientos del suelo han combado ó sacado á los sedimentos de su horizontalidad primitiva. En cuanto á las *cavernas y canales subterráneos* son conductos desahogados del agua, pero en general su disposición en las rocas es irregular, sin obedecer á ley de ningún género. Se presentan casi exclusivamente en las rocas calizas que no sean muy compactas.

Las mejores condiciones para ese paso en las rocas compactas se presentan cuando las fracturas que las atraviesan han tenido efecto sobre toda su masa: pueden haber dividido á la misma en dos partes que han sufrido

un desplazamiento como en el caso de las *fallas* ó no como en los *filones*. Una falla (figura 2) no se señala á veces sobre el terreno ó asoma en un escarpe (figura 3). Un filón aflora por su *crestón* que contrasta con la naturaleza de los materiales que forman los suelos inmediatos ó se nota su presencia por un surco cuando los materiales que lo integran son menos resistentes ó compactos que el terreno en que encaja.

FIG. 2

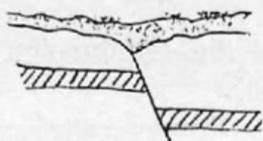
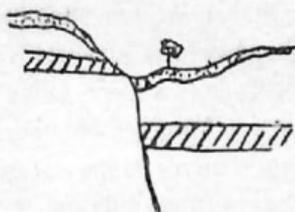


FIG. 3



Vemos que desde el punto de vista de las facilidades que presentan los terrenos para el movimiento subterráneo del agua y para almacenarla, se pueden distinguir los terrenos permeables, donde el líquido puede discurrir á través de toda su masa, de los que por grados insensibles se pasa á los terrenos impermeables cuyas buenas condiciones para tal propiedad dependen de su fisuración y plegamiento.

6.—Estado en que se encuentran las aguas subterráneas.—Nivel hidrostático

Las aguas que se filtran á través de los terrenos cruzan los estratos y rocas en virtud de la gravedad, discurrendo por las diferentes oquedades descritas anteriormente. Las aguas subterráneas que se encuentran á cierta profundidad, á causa de las grandes presiones del núcleo terráqueo y de la saturación acuosa del subsuelo, se encuentran en una situación de reposo ó movimiento suma-

mente lento originado por el calor central. Pero dentro del medio saturado hay corrientes que circulan, á consecuencia de la disposición de las oquedades del subsuelo, del calor interno y del relieve del suelo. La superficie que limita esa zona de saturación es el *nivel hidrostático*, siendo su forma análoga á la de la superficie que vemos, aunque atenuada en sus líneas más vivas.

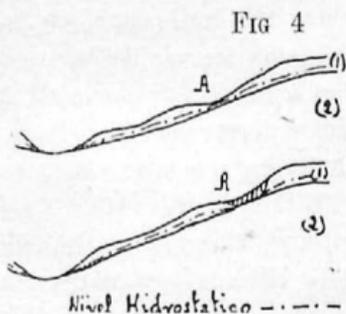
El nivel hidrostático dista del piso del terreno una cifra variable y dependiente de múltiples circunstancias; está relacionado en primer término con la radiación solar y por consiguiente con la situación geográfica y topográfica, así como con la composición geológica y los accidentes meteorológicos.

Se comprende que después de una copiosa lluvia ese nivel ascienda para volver aproximadamente á su primitivo lugar una vez que los arrastres, la evaporación y los derrames, representados por los manantiales, descarguen al terreno de esa sobrecarga accidental. A consecuencia de este hecho y otros análogos, el nivel hidrostático fluctúa, se desplaza con arreglo al desarrollo de las estaciones y según la importancia de los aportes de agua atmosférica.

La enorme cantidad de agua almacenada que ese nivel supone, representa el trabajo de las filtraciones á través de las edades geológicas. Anualmente recibe tal depósito los aportes de los hidrometeoros, que por lo tanto son los que alimentan las corrientes subterráneas.

Al pretender aprovechar económicamente estas aguas debe tenerse presente que el interés descansa en conservar indefinidamente el beneficio nuevo y no perjudicar los existentes, y por consiguiente debe hacerse uso del agua que anualmente penetra en el terreno sin tocar ese depósito limitado por el nivel hidrostático.

Así por ejemplo, supongamos un caso bastante frecuente. (Figura 4). Sobre un manto impermeable (2) discurren las aguas por otro permeable (1); si por medio de un desmonte en A, punto en donde la topografía nos hace ver que el manto impermeable está inmediato á la superficie, y por tanto el nivel hidrostático cerca,



llegamos á este claro que es la corriente subterránea que sin prestar utilidad se perdía ó marchaba á unirse á la superficial, queda colectada y podrá emplearse en el regadío sin que el nivel hidrostático experimente más que sus pérdidas normales, pero estas se han hecho útiles.

Cuando el nivel hidrostático dista mucho de la superficie, no puede alimentar á las plantas. Si en los casos corrientes se sacara del subsuelo mayor cantidad de agua de la que penetra en él se llegaría al anterior supuesto.

En términos generales debe tenerse presente:

1.º A medida que las altitudes sobre el nivel del mar son mayores y las pendientes más bruscas, el nivel hidrostático está más profundo.

2.º En las regiones suavemente onduladas su distancia á la superficie es muy constante, y si dichas regiones son bajas dicha distancia es pequeña.

3.º En los terrenos muy alterados hay poca concordancia entre la superficie del terreno y la del citado nivel.

4.º Si la vegetación se mantiene lozana en los meses calurosos, la superficie está muy próxima al nivel hidrostático.

5.º Salvo contadas excepciones, el nivel suele estar en concordancia con los manantiales próximos.

6.º Mientras más compactos sean los terrenos, más próximo estará el nivel de la superficie, esto mismo sucederá á medida que contengan mayor cantidad de sustancias ricas en arcilla. Si son muy fisurados el nivel hidrostático quedará bastante bajo, y tanto en ese caso como en el de ser muy porosos, el nivel dependerá de los derrames que tengan los mantos permeables.

7.º Si los aportes de los hidrometeoros son abundantes, el nivel hidrostático será elevado y en el caso opuesto será profundo.

En general basta penetrar unos centímetros en la tierra para encontrar el suelo saturado de humedad, profundizando pocos metros, cuando más, se alcanza el nivel hidrostático, pero algunas veces se presentan excepciones que han requerido explicaciones particulares.

7.—Constancia de la cantidad de agua filtrada en el terreno

Según estudios realizados por los geólogos americanos, el caudal conducido por los ríos no es proporcional á la altura pluviométrica de su cuenca, en el sentido de que aun cuando ambas cifras oscilan siempre en el mismo sentido no hay correspondencia exacta en las variaciones.

Cuando las cantidades de agua caída descienden, el caudal de las corrientes superficiales disminuye muy rápidamente y puede llegar á hacerse casi nulo.

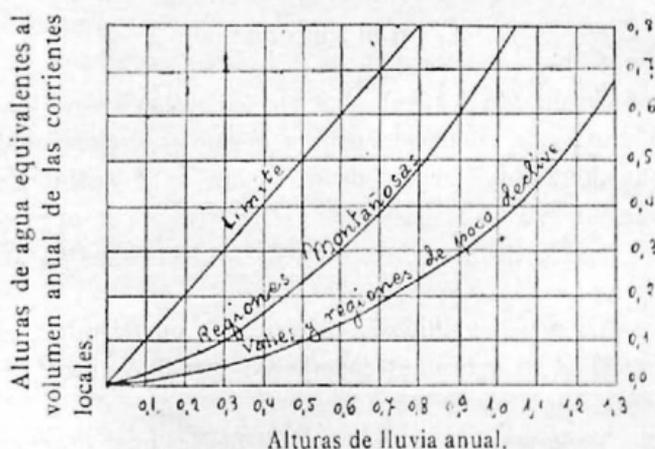
Dedúcese de aquí que las diferencias que se notan de un año á otro en la cantidad de aguas caídas influye

principalmente sobre las corrientes superficiales. La evaporación debe ser bastante constante y más aun la cantidad de agua que se filtra en el terreno.

Por tanto, la cantidad de agua que penetra anualmente en la tierra puede considerarse como constante en la mayoría de las comarcas, y sobre todo el volumen que abastece los canales y mantos más profundos, ya que en este deben tenerse en cuenta, los aportes procedentes de la filtración directa, que deben considerarse como bastante regulares, según hemos convenido, y, principalmente los procedentes de la filtración indirecta tanto más constantes mientras el manto ó capa sea más profundo.

La relación que existe entre las alturas de agua caída y los caudales superficiales ha llegado á establecerse por medio de las curvas indicadas en la figura 5; una aplicada á las regiones de pendientes suaves y otra á las de fuertes declives. (Comisión Geológica de los Estados Unidos.)

FIG. 5.



Según D. Ramón Adan de Yarza. (*Boletín del Instituto Geológico de España.*)

Las abscisas representan las cantidades de agua caída contadas en metros sobre el nivel del suelo; las ordenadas indican, también en metros, la parte que de la cifra anterior se emplea en las corrientes superficiales.

8.—Canales naturales de las aguas subterráneas

La alternancia de depósitos de permeabilidad diferente, como las arenas y arcillas, produce una sucesión de capas acuíferas que abastecen la mayoría de los pozos situados en las vegas. En este caso, en que la diferencia entre las permeabilidades relativas de los estratos es considerable, el agua discurre por el manto más poroso; si ambos mantos son permeables el contacto de los mismos no juega gran papel en el sentido de canal conductor de las aguas subterráneas; si las dos capas son impermeables por el lecho de contacto pasa con frecuencia una verdadera zona ó nivel acuífero.

Las rocas intrusivas, hipogénicas y volcánicas, que en muchos casos determinan los rasgos peculiares del paisaje, pueden facilitar el paso del agua fisurándose y fisurando las capas que atraviesan, pero si estas no tuvieran suficiente consistencia pueden actuar las primeras en sentido contrario.

Por lo que hace á las fallas y fisuras de diferentes órdenes, ya dijimos que suelen formar los mejores canales para el paso del líquido.

De aquí que solo la observación atenta de la tectónica de un lugar puede dar luces sobre el camino que siguen las aguas subterráneas y por consiguiente proporciona los datos más preciosos sobre el lugar donde co-

riendo menos riesgo puede realizarse su alumbramiento. De esas consideraciones también resulta, que en ciertos depósitos y capas, como los cantos rodados, las areniscas, etc., el agua no discurre por un cauce marcado, el desplazamiento tiene lugar á través de toda la masa; por el contrario, en las calizas cavernosas, en los filones y grandes fisuras, el cauce está perfectamente deslindado, el agua discurre por un conducto que atraviesa las rocas; las condiciones en uno y otro caso varían radicalmente.

9.—Circunstancias que hay que tener en cuenta en una cuenca cuando se investigan aguas subterráneas.

1.º Naturaleza de las rocas y capas en que el alumbramiento se realice.

2.º Tectónica de la cuenca, ó sea, estructura ó disposición de los materiales que la integran.

3.º Nivel hidrostático de la misma.

Fijemos ahora las condiciones para el paso del agua en los diferentes depósitos y rocas.

10.—Arenas y Gravas

Forman los mantos acuíferos más explotados, por ser frecuentes y someros; generalmente alternan con lechos arcillosos y margosos. Si buzan estas capas y no tienen escapes pueden llegar á constituir niveles artesianos, y cuando aquellos existieran niveles absorbentes.

Se comprende después de las ideas apuntadas que un manto acuífero será en general tanto más abundante mientras sea mayor su profundidad, puesto que la longi-

tud de sus afloramientos será tanto mayor y su caudal estará menos expuesto á las fluctuaciones del nivel hidrostático; en un manto de esta naturaleza, las aguas, en virtud de la gravedad, tenderán á rellenar el fondo de barco que suelen formar las zonas inferiores del mismo, y si no hay escapes ejercerán presión sobre las precedentemente almacenadas, base de la teoría de las aguas ascendentes.

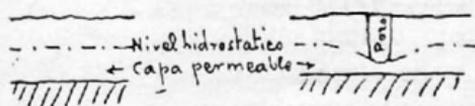
Si las arenas y gravas ocupan la superficie del terreno, solo estarán saturadas de agua desde una cierta profundidad, en virtud de la evaporación y del equilibrio del líquido en el medio permeable. Cuando este se perfora, rebasando el nivel hidrostático suele obtenerse una afluencia de aguas, bastante variable si la primera capa impermeable está inmediata, pues en ese caso la alimentación de los depósitos explorados se realiza en una zona cuya altura ó nivel piezométrico varía mucho con la cifra de agua caída y la evaporación. El procedimiento seguido para esos aprovechamientos son los pozos ordinarios y rara vez el sondeo.

Al llegar con un pozo ó por otro medio á una capa permeable, desde el momento en que comience la extracción de aguas desciende el nivel de las mismas y se origina una depresión en el nivel hidrostático, Figura 6, y por consiguiente disminuye el caudal que se puede extraer.

Los niveles acuíferos se encuentran con frecuencia superpuestos,

de aquí que si se profundiza un pozo pueda abastecerse de varios niveles.

FIG. 6



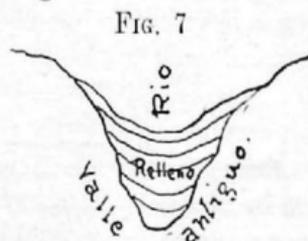
11.—Otros depósitos permeables no consolidados.

Con frecuencia las depresiones del relieve están rellenas actualmente por depósitos formados de elementos heterogeneos, cantos rodados, guijo, gravas, arenas, arcillas y lechos intercalados margosos ó sabulosos de forma lenticular, que ni guardan entre sí un orden de sucesión ni una continuidad que pueda interpretarse debidamente. A veces esos mantos superficiales se extienden á las lomas más bajas cuyos principales accidentes ocultan y que por el carácter suelto de sus elementos dan al paisaje contornos suavemente ondulados y monótonos.

Esas sustancias son de permeabilidades bien diferentes y á través de ellas discurre el agua, ya por canales más ó menos sinuosos como los formados por los gruesos cantos, ya en los mantos porosos de grava y arena ó simplemente permanece embebiendo las arcillas.

Con frecuencia colman estas formaciones el cauce primitivo de muchos valles y sobre ellas pueden discurrir las corrientes originadas por los aportes de sus laderas, Figura 7; más en otros la corriente es subterránea pero la solución del punto donde las aguas se encuentran es la de un problema sencillo de geotectónica.

En aquellos lugares en que las laderas primitivas no están bien indicadas hay que observar los sitios por donde las aguas corren y se estancan, pues en un antiguo valle rellenado por aportes más modernos suele corresponderse en la mayoría de los casos



el cauce visible con el oculto, lugar este preferido para la reunión de los caudales subterráneos.

Depósitos estos de carácter esencialmente detrítico fueron aportados por impetuosas corrientes que al desembocar en las llanuras y ensanchar su cauce abandonaron los sedimentos que conducían en suspensión con arreglo á su densidad decreciente; pero al fluctuar su violencia se adelantó ó retrocedió el límite de las sucesivas zonas de depósito; por tales circunstancias se explica ese tránsito continuo en un mismo nivel desde los gruesos cantos al limo y arenas tenues, y esas mismas alternancias en profundidad. Origínase en virtud de ello una oposición creciente al paso del agua, y una resistencia límite cuando el manto llega á ser impermeable; las consecuencias que esto lleva consigo son una elevación en el nivel piezométrico á medida que se desciende, á lo que se debe la formación de pequeñas cuencas artesianas.

Los mantos que se consideran suelen ser constantes en agua y de ellos se surten muchas comarcas, pero generalmente la cantidad que dan de ella es escasa. Los procedimientos seguidos para su aprovechamiento son los pozos, con preferencia al sondeo por las dificultades con que se tropieza en este si se cortan mantos de elementos gruesos.

12.—Arcillas y Margas

Terrenos que cuando se presentan con grandes espesores tienen poca ó ningún agua aprovechable, pero que generalmente alternan con bancos más ó menos sabulosos donde las cantidades de líquido susceptibles de aprovechamiento son mucho mayores. Su principal interés hi-

drológico es el de mantos impermeables en la formación de cuencas artesianas.

El agua que procede de las margas y las arcillas está además con frecuencia mineralizada, conteniendo preferentemente sales cálcicas y magnesianas. Si es indispensable obtener agua de estos depósitos debe investigarse si hay mantos sabulosos intercalados, en otro caso los caudales serán muy escasos y de mala calidad; si hay otros terrenos inmediatos debe procurarse investigar en estos.

13.—Depósitos de origen químico

Tóbas calizas

Cuando las aguas que discurren por la superficie son incrustantes, circunstancia que se aprecia por el sarro ó cutícula blanquecina de que cubren su cauce y los objetos en él abandonados, piedras, ramas, etc.; en el origen de estas corrientes es frecuente encontrar fuentes abundantes; esto mismo sucede cuando las rocas superficiales indican que esas precipitaciones han existido en otra época. Distínguese las rocas que originan esas corrientes por su aspecto poroso amarillento, blanquecino y por contener restos abundantes de impresiones vegetales en la materia incrustante.

Las investigaciones en tales depósitos suelen ser afortunadas.

14.—Conglomerados, Brechas, Pudingas

Compónense unos y otros de gravas, guijos, cantos rodados ó de fractura angulosa reunidos por un cemento. El poder de retención del agua y la velocidad de una co-

riente que los atraviere está pues en relación con la naturaleza de tal cemento. Si este es permeable y homogéneo las aguas discurrirán por el fondo del pliegue que formen tales bancos ó por la mayor depresión del terreno.

Pueden contener estas rocas grandes cantidades de agua que si el cemento es silíceo será excelente. Los cementos arcillosos y margosos originan capas impermeables.

15.—Areniscas y rocas análogas

Son materiales formados por granos de arena reunidos por un cemento; se pueden hacer extensivas á ellos las mismas consideraciones precedentes. Las areniscas cuarzosas dan un paso fácil al agua; para obtener de esos depósitos un caudal aceptable es suficiente rebasar en un banco de tal naturaleza el nivel hidrostático, y como se trata de una roca suficientemente consistente están indicados los alumbramientos por galerías.

Interviene directamente en la afluencia del agua el tamaño de los granos silíceos que las forman y el grado de cohesión que guardan entre si.

La calidad del agua procedente de estos depósitos es excelente, y habiendo sido muy perfecta su filtración viene desprovista de microorganismos nocivos.

El alumbramiento puede llevarse á efecto por los medios ordinarios ya indicados ó por sondeo.

Si el cemento de la arenisca es calcáreo las aguas vienen muy cargadas de carbonato de cal.

16.—Cuarcitas

Desde las areniscas á estas, formadas exclusivamen-

te por cuarzo que acaba por rellenar completamente los espacios que quedan libres entre las partículas de aquellas, hay una serie de tránsitos en los que cada vez va disminuyendo más y más la permeabilidad. Por eso en estas rocas hay que investigar las aguas en las fracturas que las atraviesan.

Las aguas que proceden de las fisuras de las cuarcitas se consideran como las más finas que manan en las rocas.

17.—Pizarras

Rocas muy compactas; poco convenientes para las investigaciones por aguas; juegan con relación á las areniscas el mismo papel que los mantos de arcilla con relación á las capas de arena. Sin embargo, pueden estar atravesadas por fisuras en donde se originan débiles manantiales de aguas mineralizadas y con frecuencia ferruginosas.

18.—Calizas

Los bancos calizos suelen contener cantidades de agua de relativa importancia, pero es en ellos muy aventurada la localización de las corrientes interiores, aunque en algunas muy sabulosas el movimiento que se observa en las aguas es análogo al indicado para las areniscas; también en algún caso en las calizas fisuradas se puede presumir donde será fácil encontrar el líquido, que debe discurrir á través de las fisuras paulatinamente ensanchadas por disolución. Algunos de estos canales así formados llegan á tener tales dimensiones que se puede navegar por ellos, como sucede en Indiana.

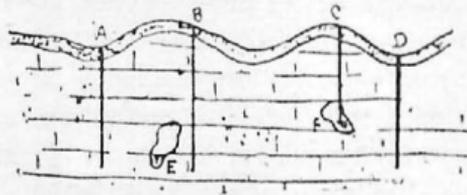
Las fisuras que en los bancos calizos se notan en la superficie, guardan relación con el canal que sigue la corriente subterránea y esto mismo sucede con los embudos ó torcas que las atraviesan, desde cuyas bocas se siente á veces el murmullo de la corriente interior.

La velocidad del agua en las calizas cavernosas es igual que la de las corrientes superficiales; á medida que se subdividen los canales que la conducen, es decir, á medida que la roca deje de ser cavernosa para ser fisurada, la velocidad será menor.

En dichas calizas cavernosas la continuidad de los cauces es de todo punto irregular, con frecuencia un sondeo encuentra las aguas á corta distancia de donde se habían realizado trabajos con resultado negativo.

Los ejemplos pueden verse en la figura 8. Con el sondeo D, realizado en una depresión no se ha obtenido ningún resultado. El sondeo A, realizado también en depre-

FIG. 8



sión tampoco tuvo éxito, el C, en cambio, á mayor nivel que el D, dió con aguas. Este es uno de los casos en que puede hacerse uso de los explosivos para provocar la avenida de las aguas, por llegar á fisurar aquellos las capas por donde discurre el líquido. Así, si lo hubiéramos empleado en el sondeo B, acaso hubiera podido el mismo ponerse en comunicación con el caudal que discurre por E.

Se recomienda, si las exploraciones no son muy profundas, el trabajo por pozos y galerías, puesto que así se

aumentan las probabilidades de cortar algún canal conductor de importancia.

Las aguas obtenidas de estos depósitos son con frecuencia bastas.

19.—Granitos.—Neis.—Rocas volcánicas

Los trabajos que se puedan realizar en estas rocas son inseguros, sin embargo algunas se presentan suficientemente fisuradas para confiar en el resultado final. Lo frecuente y más lógico en ellas es investigar en los contactos de formaciones distintas y en las grandes fisuras del terreno.

Las demás rocas presentan analogías ya con uno ya con otro de los tipos descritos, y por su textura, yacimientos, etc., deben apreciarse las condiciones favorables ó contrarias á la investigación de las aguas. La composición de tales rocas, sus minerales esenciales y accesorios son los que pueden dar idea de la naturaleza de las que se alumbran.

20.—Pozos Artesianos

Una de las aplicaciones más útiles de la Hidrología subterránea es la investigación de los niveles acuíferos en que el agua encerrada se encuentra á presión conveniente para que una vez alcanzados por una perforación surja el líquido sobre el suelo ó quede á poca distancia del mismo. Tales aguas se llaman artesianas y pozos artesianos los que las alumbran; la etimología de la palabra

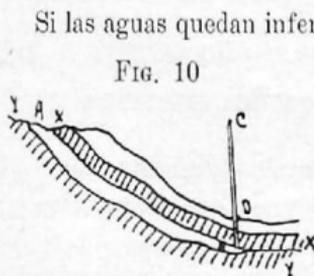
artésiano es de Artois (Francia) donde parece ser que se practicaron en Europa los primeros trabajos de esta clase.

El problema de las aguas artesianas requiere para su resolución el auxilio del técnico, pero su fundamento no puede ser más elemental.

En un tubo encorvado A B, figura 9, el agua toma el mismo nivel en las dos ramas *a* y *b*; si análogamente consideramos la capa permeable A, figura 10, entre las impermeables X é Y, y rellenada de agua en todos sus poros y fisuras por los aportes que recibe en el afloramiento, á causa de las lluvias y otros hidrometeoros que descargan sobre el país; es evidente según lo visto en el tubo A B, de la figura 9, que si abrimos un orificio en B y lo entubamos hasta C, el agua tomará en la rama A B de la figura 10, el mismo nivel que en la C B, este último se llama nivel piezométrico en el punto D del terreno.



Si las aguas quedan inferiores á él será ascendentes y si suben más altas surgidoras.



El caracter artésiano pueden adquirirlo también las aguas en las fisuras de las rocas, pero el caso es más raro y extremadamente complicado para ser susceptible de investigación práctica y provechosa.

Las capas que encierran aguas á presión experimentan variaciones en el nivel piezométrico, especialmente si son someras. Las principales alteraciones suelen ser las

acaecidas durante el período que sigue á la apertura; al principio hay un aumento considerable de caudal, seguramente originado al fluir las primeras aguas al orificio y limpiar los conductos que desde los diferentes puntos del manto permeable se establecen hasta aquel; en consonancia con tal hipótesis se nota que en general á la apertura de un pozo artesiano sigue una gran emisión de aguas embarradas, tanto más turbias mientras mayor es la proporción de sustancias arcillosas que entran en la composición del manto permeable; algunos abiertos en capas de areniscas ó arenas puras casi no experimentan en sus aguas esas primeras turbias. A ese período sigue un nuevo lapso en que el caudal disminuye paulatinamente durante un período que á veces se prolonga á más de un año, y que se explica por el retraso que sigue al golpe de ariete originado por el primer escape y porque el nivel general del manto varía hasta llegar á una posición de equilibrio, cuyas alteraciones no guarden relación con las de los aportes que lo alimentan.

21.—Condiciones que se requieren para la existencia de una cuenca artesiana

Un notable geólogo inglés (T. C. Chamberlin) ha dado así reunidas las condiciones que se requieren para la existencia de aguas artesianas.

- 1.º Estratificación previa que permita la entrada y paso del agua.
- 2.º Existencia de una capa impermeable inferior que prevenga de los escapes de agua hacia abajo.
- 3.º Igualmente; la existencia de una capa impermeable superior que evite la salida del agua hacia arriba;

pues encontrándose el líquido á presión tiende á buscar la salida superior si la inferior le falta.

4.º Inclinación de los lechos ó capas desde todos los puntos de sus afloramientos. El agua debe entrar á un nivel más elevado que aquel en que ha de manar.

5.º Una disposición tal en los afloramientos del manto permeable que para el gasto de los pozos haya un abastecimiento suficiente.

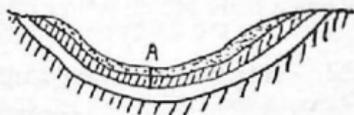
6.º Una cantidad de agua llovida que pueda suministrar ese abastecimiento.

7.º Ausencia de todo escape que debilite la carga sobre el lugar en que el manantial debe surgir.

Los casos en que se presentan aguas artesianas son más numerosos y variados de los que frecuentemente se representan en los tratados que se ocupan de esta materia. He aquí algunos:

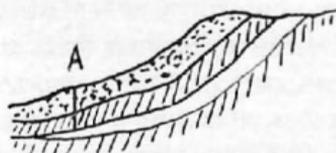
En la figura 11 es el caso general en que las capas se curvan suavemente.

FIG. 11



La figura 12 es el de una capa permeable que se acuña entre dos impermeables.

FIG. 12



En la figura 13 una emisión de rocas volcánicas ha venido á romper la continuidad de los mantos é incidentalmente ha formado una cuenca artesianiana.

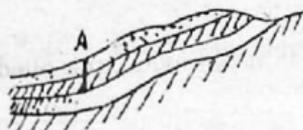
FIG. 13



En la figura 14 una falla hace artesianas las aguas que antes no lo eran.

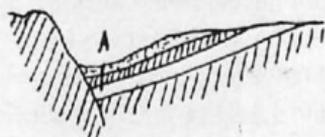
En la figura 15, los depósitos que forman la capa permeable fueron cada vez más finos y arcillosos, acabando la misma por ser impermeable.

FIG. 15



Los cortes indicados hacen referencia á cualquier sentido que se considere en la cuenca y en una misma pueden presentarse diferentes casos según la dirección de las secciones transversales.

FIG. 14



EXPLICACIÓN PARA LAS FIGURAS 11 Á 15

Terreno superficial.	
Capas impermeables.	
Id. permeables.	
Rocas hipogénicas.	
Orificio de sondeo.	

22.—Algunas observaciones sobre las aguas artesianas

Las aguas artesianas suelen ser constantes y sobre su abundancia solo puede darnos una idea el exámen de los casos prácticos de la región de estudio. En general son muy puras en gérmenes nocivos á la salud, pero á veces vienen muy cargadas de sustancias minerales.

En los terrenos modernos que forman los valles de nuestros ríos principales, se suceden frecuentemente los mantos artesianos en profundidades de 20 á 40 metros.

Los materiales muy consolidados y los terrenos fuertemente alterados dan malas condiciones para la existencia de cuencas artesianas.

Si la que nos ocupa está ya explorada, el resultado que puede conseguirse por medio de un sondeo se predice mediante una nivelación con el afloramiento del manto permeable y con el nivel piezométrico de un sondeo conocido ó por la nivelación de dos de estos con el punto que interesa. En efecto, en la figura 16 la línea A B definida por el afloramiento A y los niveles de los sondeos B C D, nos indica la altura á que subirán las aguas en los pozos que de A á B pudieran abrirse.

FIG. 16



Cuando la cuenca no estuviese explorada previamente, el cumplimiento aparente de las condiciones requeridas para la existencia de las aguas artesianas, la observación atenta de la región, de sus fuentes y manantiales, el carácter de estos, la comparación con casos análogos, pueden ser una base para las deducciones.

23.—Emergencia de las aguas subterráneas

Puede realizarse:

- 1.º Por avenamiento ó drenado natural.
- 2.º Por fuentes.
- 3.º Por labores ejecutadas por el hombre.

En el primer caso las aguas manan á causa de la elevación del nivel hidrostático y se comprende que para que tal caso se realice es preciso que el punto donde el agua surja se encuentre más bajo que el terreno inmediato colindante en alguna dirección. La figura 17 representa uno de estos casos.

Fig. 17



Si el nivel hidrostático desciende en el verano á N' H' no habrá encharcamientos ni corriente superficial en la depresión que forma el terreno en A C B, pero si se suceden lluvias de importancia y el nivel llega á elevarse del punto C, ocupando por ejemplo la posición N H, habrá una serie de manaderos que darán sus aguas en la superficie A C B al cauce indicado, hasta que desecadas las partes más altas del terreno por tal drenado descienda de nuevo el nivel al punto C.

Puede suceder que los aportes superiores mantengan constantemente elevado el citado nivel sobre los puntos más bajos del terreno, en tal caso la salida del líquido tendrá lugar en todas las épocas del año. Si la depresión donde el fenómeno se realiza tiene una salida natural, el avenamiento dará origen á una corriente, si esa salida falta, las aguas se empantanarán.

Así como la elevación del nivel hidrostático puede ser causa de que las aguas salgan de la tierra, así el descenso del mismo puede originar la desaparición de las corrientes superficiales.

Las aguas procedentes del avenamiento suelen ser por consiguiente de régimen y temperatura variable, á veces llevan sustancias orgánicas en suspensión; las de las fuentes están con frecuencia desprovistas de ellas, su temperatura y régimen es bastante constante, son con frecuencia finas y adaptables á los usos domésticos

Hay fuentes termales, mineralizadas en diferentes

sustancias y de variadas aplicaciones en medicina, intermitentes, etc.

Se presentan las fuentes en toda clase de depósitos, terrenos y rocas. En el caso de las sustancias permeables el caudal subterráneo se forma como el de las corrientes superficiales por los aportes sucesivos que suministran las partes más elevadas, y á medida que aumenta su importancia perfora y limpia los conductos que le cierran el paso para emerger á la superficie.

El agua de estos depósitos suele ser de mejor calidad y poco mineralizada, pero en ciertos casos puede tener en suspensión microorganismos.

Mientras se hagan los alumbramientos más lejos de los afloramientos de estos mantos y en lugares más bajos, mejores resultados se obtendrán en cuanto al caudal, que habrá recibido nuevos aportes, pero no siempre las circunstancias que hay que tener en cuenta permiten proceder en los trabajos en tal forma.

En los depósitos consolidados y en las fisuras de las rocas emergen fuentes en relación con el caracter de la roca y con las grandes líneas de fractura del país. Especialmente dependen directamente de estas las fuentes termales, ó sea aquellas cuyas aguas tienen una temperatura superior á la normal.

24.—Trabajos realizados para el alumbramiento de las aguas subterráneas

Conocido el modo de filtración de las aguas en el suelo, estudiado su yacimiento y las diferentes formas de su emergencia, de la consideración atenta de cada caso práctico podrá llegarse á su solución, con arreglo á las

circunstancias especiales que en el mismo concurren. El estudio de las obras realizadas con tal fin se sale de nuestro plan, pero consignaremos que se comprenden en aquellas los pozos, las galerías y socabones, las zanjas y el sondeo, dentro del cual caen los pozos instantáneos, americanos ó abisinios y otras muchas variedades.

25.—Precauciones de caracter general en la investigación de las aguas subterráneas

Las primeras observaciones que deben realizarse con este fin son las de la tectónica ó estratigrafía de la cuenca en que se encuentre el lugar donde se desea practicar el alumbramiento, procediendo posteriormente al estudio de la potencia ó espesor y calidad de cada uno de los estratos que se han de atravesar, desde el punto de vista de su permeabilidad y de las sustancias disolventes que puedan contener.

Hasta cierto punto el agua abandonada por los hidrometeoros á la tierra es función de la altitud del lugar; como los afloramientos de las capas permeables pueden encontrarse á considerable distancia y desnivel del punto en que se investigan, debe tenerse presente que el régimen de los alumbramientos dependerá de los aportes en los asomos de las capas en que se practicaron y de los de la filtración indirecta que pudieran sumarse á ellos. La observación de los manantiales próximos es una fuente de datos preciosos en esta clase de trabajos; si en la localidad hay veneros que solo manan en la época de las lluvias, pueden estar en conexión con otros manantiales de régimen más constante. La presencia de rocas hipogénicas obliga á proceder con cautela.

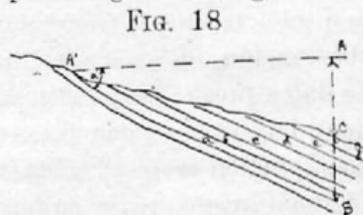
Si las aguas se estancan y persisten sobre los terrenos poco consolidados en determinadas épocas del año, es señal de que en tales lugares el nivel hidrostático está muy próximo á la superficie y por consiguiente las aguas pueden hallarse á corta profundidad.

Es clásica la siguiente ley debida al abate Paramelle: «En toda cuenca, valle, barranco, desfiladero, garganta ó pliegue del terreno hay una corriente de agua visible ú oculta.» Sin embargo hay bastantes casos en que esta ley cae en defecto, lo que hará preveer el estudio de la estratigrafía del lugar.

Cuando se trata de depresiones rellenas por depósitos recientes pueden realizarse las investigaciones con grandes probabilidades de éxito, especialmente si existiendo para la depresión una cuenca hidrográfica ó cuenca de recepción de las aguas pluviales de relativa importancia no hay corriente superficial.

26.--Profundidad á que se encuentran las aguas subterráneas

Lo mejor es partir de los resultados logrados en otras investigaciones sobre esos mismos niveles. En general, si conocemos el buzamiento ó inclinación de las capas ó mantos ó sus espesores se puede llegar á análogos resultados. Así se ve en la figura 18, $CB=AB-AC$, AB y AC por el ángulo a' , la distancia AA' y la nivelación entre A' y C se conocen; y también si se



dan los espesores a , b , c , d , e y f de los bancos ó capas

que hay que cortar hasta llegar á B, la profundidad total que hay que perforar será $a+b+c+d+e+f$ próximamente.

27.—Volumen de las aguas subterráneas alumbradas por un trabajo

También los datos prácticos de la región de estudio son la base más segura para conseguir una aproximación del resultado final.

Conociendo la cantidad de agua caída en la cuenca, la arrastrada por las corrientes superficiales y la evaporada, obtendremos por diferencia la cantidad de agua filtrada y dividiéndola por la superficie llegar al conocimiento de la cantidad de agua subterránea disponible por hectárea en la misma.

Según el abate Paramelle, en los llanos cubiertos por terrenos detríticos, en donde tengan estos de diez á ocho metros de espesor y que descansen sobre una capa impermeable, cada superficie de 5 Ha produce en tiempo de sequía ordinaria el caudal de cuatro litros de agua por minuto.

28.—Temperatura de las aguas subterráneas

A corta distancia de la superficie de la tierra hay una zona en que la temperatura de las aguas que llenan el recipiente limitado por el nivel hidrostático es constante. Las aguas en circulación por encima de esa zona están templadas en verano y frías en invierno, es decir, siguen las alternativas del clima de la localidad.

A medida que se profundiza en la corteza terrestre aumenta la temperatura de las aguas que se encuentran.

Las fuentes de régimen constante suelen tener temperatura invariable.

29.—Papel del agua en la tierra

No es solo el itinerario descrito el que siguen las aguas al penetrar en la superficie terrestre. Si encuentran condiciones apropiadas descienden á grandes profundidades, donde aun quedan espacios libres para que el líquido pueda discurrir, y á expensas del calor central se cargan de sustancias en disolución, originando al ascender las fuentes minerales y las termales. Llevan así al hombre testigos de la actividad química en regiones donde él no pudo penetrar hasta el día. (Daubree.)

Bajo la forma de vapor contribuye á los fenómenos volcánicos y á los movimientos de la corteza terrestre, terremotos, etc.

Juegan papel importante en la desagregación de las rocas, actuando mecánica y químicamente; así el agua de lluvia al helarse entre las cavidades de los depósitos cavernosos, en sus pequeños poros, las rompen, y al discurrir arrastran las partículas petreas, disolviendo los cuerpos que las forman en variadas proporciones. Cargadas del ácido carbónico del ambiente, atacan muchas rocas que en circunstancias ordinarias solo lavan.

30.—Clasificación de las aguas según su potabilidad

Determinase esta por medio de los llamados *ensayos hidrotimétricos* y es el fundamento de los mismos que el agua pura, destilada, forma espuma con unas gotas de

solución alcohólica de jabón; cuando contiene en disolución otras sales alcalinas, antes de llegar á ese caso, de formación de espuma, es preciso neutralizar previamente estas, para lo cual se necesita un exceso de solución jabonosa. Se comprende que recíprocamente, por el conocimiento de la porción de solución empleada podamos llegar al de las sustancias que en conjunto van disueltas en el agua.

GRADO HIDROTIMÉTRICO es el término de comparación admitido para medir esa propiedad.

Se han dividido las aguas con arreglo á él en tres categorías (Boutron y Boudet.)

1.º Aguas que acusan 0º á 30º hidrotimétricos. Aguas buenas para la cocción, bebida, etc.

2.º Aguas que tienen 30 á 60º hidrotimétricos. Aguas que se pueden considerar como impropias para los usos domésticos é industriales.

3.º Aguas que dan más de 60º hidrotimétricos. Aguas inaceptables para todos los usos.

Las aguas de lluvia tienen unos 3º,5 hidrotimétricos.

31.—Movimiento de las aguas subterráneas

Hemos dicho que las aguas subterráneas se encuentran en general en reposo ó tienen un movimiento muy lento.

En el caso de las arenas y gravas de un 25 á un 47 por ciento del depósito representan las oquedades del mismo. Cuando se practica una perforación en depósitos de esta clase, el gasto disminuye con el tamaño medio de los granos del mismo, lo que se debe al aumento de los rozamientos.

La velocidad del agua á través de las capas porosas está dada por la fórmula $v=ki$, en donde v , es la velocidad expresada en metros, i , la pendiente, ó sea el cociente de la altura de caída por la proyección horizontal de la longitud recorrida en igual tiempo sobre la capa acuífera, k , es un coeficiente con estos valores.

Para las gravas y arenas $k=\frac{1}{30}$,

Para las arenas de un milímetro de diámetro $k=\frac{1}{100}$,

Para las arenas de 0,5 milímetros de diámetro $k=\frac{1}{370}$,

Para las arenas de 0,25 milímetros de diámetro $k=\frac{1}{1.700}$,

Se demuestra que la velocidad de las aguas subterráneas es casi siempre extraordinariamente inferior á la de las aguas superficiales.

32.—Aprovechamiento de las aguas subterráneas

Alumbradas que sean las aguas subterráneas pueden brotar sobre la superficie del suelo ó quedar á un nivel inferior; preséntase el primer caso en las fuentes y pozos artesianos; la mayoría de los pozos ordinarios y en general las perforaciones poco profundas adolecen del defecto inherente al segundo caso, puesto que no lo es pequeño el consumo de energía que representa en ellos el abastecimiento diario.

He aquí otra razón que obliga á prestar atención especial, en el estudio de un aprovechamiento de aguas subterráneas, á las fuentes y manantiales naturales del país; ellas son en general la manifestación furtiva de cantidades de líquido más considerables, que por medio de

algunas labores pueden colectarse. En efecto; si vemos surgir el agua pensamos en una fuerza que hasta allí la impulsa venciendo las resistencias que oponen á su paso los materiales que atraviesa, y no es difícil sospechar que atenuadas las mismas, ó sea, acondicionado el manadero, podemos llegar á ganar aumento en el caudal del manantial. Si el agua para llegar á la superficie tuvo que abrir su cauce á través de capas y estratos de diferente dureza, cruzados por variadas fisuras, se habrá repartido irregularmente por una intrincada red de conductos que el estudio de la tectónica puede hacer tender hacia un punto único, formándose así por la acumulación sucesiva de pequeños aportes un caudal de importancia.

Ciertos indicios se dijo que deben tenerse muy en cuenta al tratar de alumbrar aguas. Los rezumamientos pueden ser una manifestación de niveles acuíferos de fácil y económica explotación. La vegetación puede proporcionar antecedentes que sirvan de norma en las exploraciones, pues así como en las inmediaciones del arca de muchos manantiales crecen el berro, trebol, juncias, mastantos, etc., así donde estas plantas abundan, donde en los meses calurosos se ven verdear manchas, redondeadas casi siempre, entre extensiones agostadas, el nivel acuífero está próximo á la superficie. Pero hicimos notar que las deducciones del observador atento se basan en el camino que siguió el líquido desde el punto de filtración al de emergencia y por lo tanto en la estructura y naturaleza de las capas y rocas que forman el subsuelo, en la alimentación del mismo, esto es, en las circunstancias meteorológicas y geológicas que concurren en la región que se estudia.

Un nivel acuífero es en general tanto más abundan-

te mientras sea más profundo, porque frecuentemente mientras sea más profundo será más extenso, más lejanos estarán sus afloramientos y mayor sería la diferencia de nivel entre el lugar por donde las aguas penetran en el mismo y el punto donde se piensa perforar el orificio de salida; por lo tanto con la profundidad generalmente se ganará presión en las aguas.

Parece consecuencia lógica de lo anterior y la práctica del sondeo lo confirma, que el nivel que toman las aguas de un alumbramiento en el orificio de sonda es tanto más elevado mientras aquel sea más profundo.

Dedúcese que cuando un propietario trate de realizar un alumbramiento de aguas, debe medir todas esas circunstancias dentro de su caso especial y los fines que se traten de llenar con la obra. Debe tenerse en cuenta, que en general, la cantidad de líquido obtenido en los trabajos es proporcional á la magnitud de la obra y por consiguiente á los gastos de instalación y otro tanto sucede con la presión de las aguas. Haciendo extensivas estas conclusiones, en el caso de los mantos y capas permeables é impermeables alternantes, se deduce, que en las investigaciones el capital empleado puede tenderse á que esté en razón del caudal obtenido y en razón inversa del capital de sostenimiento y del consumo de fuerza empleado en la elevación de las aguas; lo primero si la importancia de las obras es en extensión, lo segundo si es en profundidad.

33.—Importancia de las aguas subterráneas

Las especiales condiciones en que se encuentra nuestro país son la causa de que los fenómenos acuosos se

desarrollen con grandes intermitencias en una extensa zona del mismo. Innumerables perjuicios son la consecuencia de régimen tan variable, y entre estos es sin género de dudas el mayor el que se sigue á la Agricultura, por tratarse de una industria entre cuyos factores indispensables figuran un cierto grado de humedad en el suelo y en el ambiente.

En la mayoría de los lugares de nuestra patria, en años secos ó escasos, que son los más, no se plantea el conflicto en materia de aguas por las deficiencias en la cantidad ó calidad de ese elemento, ó por ambas cosas á la vez, se origina por la carencia absoluta del líquido allí donde su falta es indispensable, y no ya en aldeas ó villorrios olvidados, en algunas capitales de provincia es irrisorio el caudal de que se dispone por habitante.

En muchos de esos puntos por su altitud es imposible atender á tan apremiantes necesidades haciendo uso de canales ó conducciones que lleven el caudal preciso de corrientes ó veneros conocidos, y en tales ocasiones está indicadísimo recurrir al alumbramiento de las aguas subterráneas. Además, las aguas últimamente citadas tienen un régimen mucho más regular que el de las corrientes superficiales, mayor pureza, especialmente desde el punto de vista de los microorganismos en suspensión y una temperatura más constante.

Hemos hecho las principales observaciones relativas á las aguas subterráneas; dedúcese de todo ello que aunque es este un estudio á veces complicado, no lo es tanto que no dispongamos de una base bien cimentada sobre la cual podamos fundamentar razonamientos lógicos para llegar á resultados prácticos. Únase á ello las condiciones meteorológicas que imperan en nuestro país, la gran im-

portancia de la evaporación y por tanto la gran variabilidad de los caudales superficiales, y se llega á la consecuencia de que este asunto debe ocupar en España atención especialísima puesto que las aguas subterráneas son la fuente más constante y relativamente caudalosa, la más extendida y generalmente la más económica para proporcionar un amplio abastecimiento á los centros de población y á la industria.

Agosto 1914.

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
1. Proloquemos.	5
2. Origen de las aguas subterráneas.	7
3. Filtración de las aguas á través de los terrenos.	8
4. Fenómenos acuosos: Su importancia.	12
5. Conducción subterránea del agua.	13
6. Estado en que se encuentran las aguas subterráneas: Nivel hidrostático..	14
7. Constancia de la cantidad de agua filtrada en el terreno.	17
8. Canales naturales de las aguas subterráneas.	19
9. Circunstancias que hay que tener en cuenta en una cuenca cuando se investigan aguas subterráneas.	20
10. Arenas y Gravas	20
11. Otros depósitos permeables no consolidados.	22
12. Arcillas y Margas..	23
13. Depósitos de origen químico: Tóbas calizas.	24
14. Conglomerados, Brechas, Pudingas	24
15. Areniscas y rocas análogas.	25
16. Cuarzitas.	25
17. Pizarras.	26
18. Calizas.	26
19. Granitos. Neis. Rocas volcánicas..	28
Otros depósitos y rocas..	28
20. Pozos Artesianos.	28
21. Condiciones que se requieren para la existencia de una cuenca artesiana.	30

22. Algunas observaciones sobre las aguas artesianas.	32
23. Emergencia de las aguas subterráneas.	33
24. Trabajos realizados para el alumbramiento de las aguas subterráneas.	35
25. Precauciones de caracter general en la investigación de aguas subterráneas.	36
26. Profundidad á que se encuentran las aguas subterráneas	37
27. Volumen de las aguas subterráneas alumbradas por un trabajo.	38
28. Temperatura de las aguas subterráneas.	38
29. Papel del agua en la tierra.	39
30. Clasificación de las aguas según su potabilidad.	39
31. Movimiento de las aguas subterráneas.	40
32. Aprovechamiento de las aguas subterráneas.	41
33. Importancia de las aguas subterráneas.	43