

servicios á los países por donde pasa, y de quien respetamos tanto el carácter como admiramos el saber.”

CAPÍTULO XVII.

MEDIOS PARA CONOCER LA PROFUNDIDAD DE UN MANANTIAL.

La excavación que se quiere hacer para que salga fuera un manantial, puede practicarse, como se ha dicho, en el *thalweg* de un vallecito, en la línea costanera, en una ladera, en su cornisa ó en una meseta.

1º Cuando se quiere hacer la excavación en el *thalweg* de un vallecito, es preciso examinar si el manantial es visible en uno ó más puntos, ya sea naturalmente, ó bien en algún hueco hecho por manos de hombre, y en especial si sale más abajo y no muy lejos del sitio en donde se quiere excavar. Cada paraje en que sale el manantial, es un punto señalado de donde debe partirse para conocer, por medio de una nivelación, el grado de mayor elevación en que se halla el lugar que se quiere excavar, comparado con aquel en donde el manantial sale de tierra.

La diferencia de nivel que se halla entre estos dos puntos, es la profundidad del manantial y un poco menos, porque el manantial debajo de tierra tiene alguna pendiente, por poca que sea, y ésta indica que no habrá necesidad de excavar hasta el nivel que tiene el punto en donde sale de tierra. Sin embargo, si el manantial sale á fuerza de un movimiento ascensional, y se puede sondar la profundidad de la columna ascendente, en este caso se debe nivelar, no desde la superficie del agua del manantial, sino desde el fondo de su conducto vertical.

Si el punto en que se quiere excavar no se halla sino á algunos centenares de metros de un río ó de un arroyo en que pasa agua continuamente, y el manantial no sale de tierra en la llanura, debe uno asegurarse por sí mismo, ó bien tomando informes de otros, si al tiempo de estar bajas las aguas sale ó no fuera de tierra en el ribazo ó en el fondo del canal de la corriente de agua por un conducto que venga de abajo hacia arriba. En cualquiera de estos dos casos no debe hacerse más que nivelar, como se ha dicho, ó bien desde el punto en que sale de tierra en el ribazo, ó bien desde el fondo del conducto vertical, y puede uno estar seguro de que no tendrá necesidad de ir á encontrar el

agua hasta el nivel del fondo del conducto, ni siquiera hasta el nivel del fondo del río ó del arroyo, porque el agua del manantial se elevará y se mantendrá en la nueva excavación, ó á lo menos al nivel de la corriente del agua visible.

2º Cuando el manantial, que es conducido por un valle, no se deja ver en ningún punto, ó bien está demasiado distante el sitio en que se deja ver, ó á un nivel demasiado bajo, si se compara con el punto en que se quiere excavar, en tales casos se puede conocer su profundidad por medio de la siguiente operación: Como el fondo de casi todos los valles está lleno de tierras de transporte, á excepción de los sitios estrechos; y habiéndome demostrado los infinitos experimentos que he hecho que la línea de intersección de las dos laderas es generalmente la mayor profundidad en que puede hallarse el manantial debajo de todos estos embarazos de tierras transportadas, se determina, por los medios que se han indicado, el punto del *thalweg* que se quiere excavar, y se planta allí un piquete; después se mide la distancia que hay entre este piquete y el pie de una de las laderas, y en seguida se nivela esta ladera para conocer su altura y la distancia horizontal que hay entre su cornisa y

una línea vertical que debiera elevarse desde el pie de la ladera. Esta altura y esta distancia se componen de las alturas y de las distancias parciales que se han hallado en la estaciones de la nivelación. Una vez terminada esta operación, se establece la proporción siguiente:

La distancia que hay entre la cornisa y la línea vertical que parte del pie de la ladera, es á la altura de la ladera como la distancia horizontal que hay entre el pie de la ladera y el punto en que se quiere excavar es á la profundidad del manantial. Así, $AB : BC :: BC : DX$. Multiplicando la altura BC por la distancia CD , y dividiendo el producto por la distancia AB , se hallará en el cociente la profundidad que hay desde D hasta X , que es el punto en que corre el manantial.

Cuando la pendiente de la ladera es uniforme, puede uno dispensarse el nivelarla sino hasta arriba: se puede, por ejemplo, no nivelarla hasta la tercera ó cuarta parte de su elevación, y el resultado de la operación será el mismo.

Cuando el valle se ensancha y se estrecha alternativamente, este medio de conocer la profundidad del manantial no se debe emplear en los puntos en que hay estrechez, sino que debe practicarse esta operación en los puntos ensan-

chados de la parte de arriba ó de la parte de abajo del valle, en el punto en que se hallan más distantes los pies de las dos laderas.

Es verdad que en ciertos valles el manantial no se halla en la línea de intersección, y que corre á una profundidad mayor; y esto sucede principalmente cuando las capas de las dos laderas están en gran manera inclinadas y se hunden hacia el *thalweg*. De ahí resulta que, hallándose desunidas las dos estratificaciones, dejan entre sí una quebraja vertical que no puede sostener el manantial en la unión de sus superficies; pero esta casualidad de hallar el manantial un poco más profundo de lo que se esperaba, es excepcional, y se halla compensada con mucha ventaja por las probabilidades incomparablemente más numerosas que hay de hallarle á menor profundidad; porque siempre que las hiladas de las dos laderas están horizontales y son impermeables, rara vez sucede que no se hallen hiladas continuas antes de llegar á la línea de intersección que forman las dos laderas. El terreno de transporte que forma el fondo del valle está compuesto las más de las veces de capas alternativamente permeables ó impermeables, que sostienen el manantial mucho más cerca de la superficie del terreno de lo que podía esperarse, atendida la inclinación de las laderas.

Cuando el manantial pasa por la orilla de la base de una escarpadura ó de una ladera extremadamente rápida, la nivelación debe hacerse en la ladera opuesta.

Estos dos medios de conocer la profundidad de un manantial, no sólo son aplicables al manantial que sigue el *thalweg* subterráneo, sino también á todos aquellos que circulan en la misma llanura y á los que hay en las líneas costaneras; porque tanto en las corrientes de agua ocultas como en las corrientes de aguas visibles, el nivel de cada una de las corrientes accesorias concuerda en la parte de su embocadura con el nivel de la corriente principal.

3º Como los dos medios que acaban de indicarse no son aplicables sino á los manantiales que se hallan en los llanos bajos, cuando se quiere conocer la profundidad de los que hay en las cuevas ó sobre las mesetas de las montañas, debe procederse de diferente manera. Aquí todo se reduce al conocimiento de las capas permeables ó impermeables, que no puede adquirirse sino con el estudio de libros de geognosia y á fuerza de muchísimas observaciones hechas sobre el terreno. Cuando uno se ha fijado bien sobre el punto en que debe hacerse la excavación, ya sea en la pendiente, ya en la cornisa de

una cuesta, entonces parte de este punto, y baja á lo más como unos diez pasos. Mientras va bajando examina con atención la inclinación y la constitución de cada una de las capas, ya de roca, ya de tierra. En esta especie de pendientes, las extremidades superiores de las capas son casi siempre visibles; y cuando no lo son en el *thalweg* mismo, lo son ordinariamente al lado de él, en alguna escarpadura ó pendiente más rápida, en alguna barranca, ó en algún hueco hecho por la mano del hombre. Si la inclinación de las capas está opuesta á la pendiente superficial de la cuesta, y en vez de conducir las aguas afuera de la montaña ó de la colina, las conduce á la parte interior de las mismas, no debe hacerse allí excavación alguna, porque, como se ha visto en el capítulo XVI, está desprovista de manantiales toda la ladera en que se observa esta estratificación. Si las capas están colocadas horizontalmente, ó inclinadas de la misma manera que la superficie de la cuesta, no debe uno detenerse al bajar en ninguna capa permeable, sino en la primera impermeable que se le presente á la vista, porque esta es la que lleva el manantial. Nivelando en seguida esta capa hasta el punto en que se quiere excavar, se hallará la verdadera profundidad del manantial. Debe, sin

embargo, deducirse la altura que puede adquirir la capa impermeable desde su superficie exterior hasta este punto. Esta altura puede saberse con mucha facilidad, nivelando la pequeña parte de la capa que se muestra en la superficie: si, por ejemplo, esta parte está inclinada un decímetro por metro, y el punto en que se quiere excavar se halla á 20 metros de distancia horizontal, la capa y el manantial se hallarán más elevados de unos 20 decímetros en el punto en que se quiere hacer la excavación.

De la misma manera debe procederse cuando se quiere conocer la profundidad de un manantial situado sobre una mesa de la montaña. Después de haber señalado el punto en que debe hacerse la excavación, sigue uno el *thalweg*, y se dirige al pie de la escarpadura ó de la pendiente rápida que forma la cornisa de la cuesta; después nivela la capa impermeable más elevada que puede encontrar, y se procede de la misma manera que se ha dicho tocante á los manantiales que quieren descubrirse en las cuestas.

4º Hay todavía un medio muy sencillo de conocer la profundidad de los manantiales; pero no se puede aplicar sino en las llanuras, y es el que se ha explicado en el capítulo precedente. Si en el llano en que se quiere hallar agua,

hay ya muchas excavaciones que hayan llegado hasta ella á una misma profundidad ó á poca diferencia, puede uno estar seguro de hallar el manantial á la misma profundidad que sus vecinos, con tal que sea la misma la calidad del terreno.

Estos cuatro medios de conocer la profundidad de los manantiales son los únicos que me han hecho descubrir los treinta y tres años que llevo de estudios ó de experiencia. Si ellos no pueden servir para determinar en todos los casos esta profundidad de una manera rigurosamente exacta, á lo menos resuelven, casi siempre, la cuestión importante, que es saber el *máximum* de profundidad que puede tener un manantial en el punto en que se quiere excavar, y por consiguiente el *máximum* de gastos que debe hacerse para llegar á él. El que quiera conducirlo delante de su casa, puede saber también, con una sencilla nivelación, si el tal manantial es bastante elevado para poder llegar al sitio que se desea.

CAPÍTULO XVIII.

MEDIOS PARA CONOCER EL VOLUMEN DE UN MANANTIAL.

Ciertos terrenos absorben mucha más agua pluvial que otros; y supuesto que los tiempos lluviosos hacen que los manantiales sean incomparablemente más abundantes que los tiempos de sequedad, su producto no puede menos de variar mucho de un terreno á otro y de una á otra estación. Cada vez que llueve aumentan más ó menos todos los manantiales, y en seguida disminuyen cada día hasta que vuelve á llover; por manera que tal vez no hay un solo manantial que dé dos días seguidos la misma cantidad de agua. Por lo tanto, nadie espere hallar aquí cálculos rigurosos según los cuales se pueda demostrar, que en una extensión dada de terreno hay un manantial oculto, que en tal espacio de tiempo arroje tal cantidad de agua, porque para esto sería preciso saber exactamente de antemano la época de cada lluvia y la cantidad de agua que verterá sobre la hoya que produce el manantial. Así, pues, esta cuestión no puede resolverse sino por valuaciones que se aproximan más ó menos á la exactitud.

Como en ciertos casos hay grande interés en conocer, á lo menos con aproximación, el *mínimum* de agua que puede producir el manantial que se quiere descubrir, con el fin de adquirir sobre este particular algunas nociones tan exactas como fuese posible, me he dedicado, durante mucho tiempo, á observar las cantidades de agua que producen las mesas situadas sobre montañas ó colinas aisladas, en las que me ha sido fácil cubicar el agua de cada manantial y medir la superficie de la hoya que lo producía; y hé aquí el resultado general de estas observaciones. En aquellas mesas que están cubiertas de una capa de terreno detrítico de dos metros á siete ú ocho metros de espesor, colocada sobre otra capa impermeable convenientemente inclinada, he observado que toda superficie de unas cinco hectáreas produce en tiempo de sequedad ordinaria un manantial de un centímetro¹ de diámetro á poca diferencia, el que da cerca de 4 litros de agua por minuto.

Partiendo de esta cantidad que es el producto ordinario de los terrenos más favorables á los manantiales, se hallan, según las diferentes

¹ Se llama *un centímetro de agua fontanal* la cantidad que da un orificio circular y lateral de un centímetro de diámetro, conservándose constantemente la superficie del agua á seis milímetros sobre el centro de este orificio.

localidades, otros terrenos que, con motivo de su porosidad, de su disposición ó de su capacidad, producen cantidades de agua que varían desde este centímetro por cada cinco hectáreas hasta cero, porque hay terrenos tan compactos y tan impenetrables del agua, que ni veinte ni cien hectaras de extensión producen el más pequeño manantial. Como los terrenos permeables é impermeables se mezclan y se cambian entre sí de mil maneras diferentes, es imposible establecer reglas, según las cuales pueda fijarse la cantidad de agua que produce cada combinación; sin embargo, el estudio de los diferentes terrenos, y las observaciones muy repetidas sobre la cantidad de agua fontanal que da cada combinación, pueden poner al hidróscopo en estado de apreciar con bastante exactitud la cantidad de agua que puede producir cada manantial. Después de haber pasado nueve años en estudios teóricos y en observaciones sobre los manantiales, me ocupé los veinticinco años siguientes en indicar, casi todos los días, manantiales de toda clase de volúmenes. En un escrito, que quedaba en poder del propietario, declaraba yo la cantidad de agua que debía producir cada uno de ellos, y en la mayor parte de las tentativas que se hicieron, se halló la cantidad

de agua que había anunciado, habiendo sucedido rarísima vez el que se haya hallado una cantidad notable, ni de más, ni de menos.

En los primeros años hacía la nivelación del terreno en cada operación para saber la profundidad del manantial, y medía la superficie de su concha para conocer su volumen. Viendo después que los manantiales no observan debajo de tierra leyes bastante fijas para que puedan someterse á cálculos rigurosos, y que, por otra parte, los datos geológicos, ciertos en el mayor número de casos, presentan casi todos algunas excepciones, me habitué á nivelar y medir á bulto los terrenos, y nunca he observado que mis previsiones hayan sido menos exactas que cuando me servía de instrumentos.

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
"ALFONSO TORRES"
Apdo. 1625 MONTERREY, MEXICO

CAPÍTULO XIX.

TERRENOS FAVORABLES PARA DESCUBRIR LOS MANANTIALES.

Para que un terreno sea favorable al descubrimiento de los manantiales, debe reunir dos condiciones principales, que son: tener en la super-

ficie una capa permeable de algunos metros de espesor, y que debajo de esta capa permeable tenga otra impermeable, inclinada de una manera conveniente. Si esta disposición del terreno se repite muchas veces, es decir, si muchas capas permeables están colocadas sobre otras capas impermeables, alternando entre sí, y todas están inclinadas de una manera conveniente, corre un manantial sobre cada una de las capas impermeables; de lo que resulta que, perforando un pozo artesiano, ó haciendo un pozo ordinario hasta cierta profundidad, se halla muchas veces un manantial en cada una de estas capas impermeables que se atraviesan.¹

En igualdad de circunstancias cae más lluvia sobre las montañas que sobre los valles que las rodean, porque, corriendo las nubes ordinariamente con un movimiento horizontal y pasando á grandes elevaciones, se deshacen muchas veces en lluvia sobre las cimas que encuentran, mientras que no derraman sino poco ó nada de sus aguas en los terrenos bajos, de lo que resulta que los países montañosos son los más favorables á la producción de los manantiales. Por otra parte, los árboles y las plantas de que están cubiertos ordinariamente esos países, y la

¹ Véase la nota que hay en la pág. 148.