

LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
IMPORTANCIA EN EL PAIS



Ricardo Espantoso Ferrari
Ingeniero



LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU IMPORTANCIA EN EL PAIS

1.- SU HISTORIA Y SUS PRINCIPALES TEORIAS

Sobre el aprovechamiento de las aguas del subsuelo la Historia se remonta a muchos años atrás. Ya en el Capítulo XXVI del Libro de Génesis se menciona con bastante frecuencia el uso del agua subterránea. Pero, las primeras preocupaciones del hombre sobre ella, comienzan con ciertos conceptos vertidos por Aristóteles unos 300 años antes de Jesucristo y aceptados, posteriormente, con ligeras modificaciones por Séneca. Ya en los albores del siglo I de la Era Cristiana, se creía que las aguas del subsuelo provenían de la condensación de los vapores de agua en el interior de las cavernas, de donde transformados en agua salían como manantiales.

Esta teoría fué materia de mucha especulación de parte de escritores y filósofos de la antigüedad, como Homero, Platón, Lucrecio y otros más; y, ella aún fué profesada en la edad moderna por Descartes con ciertas variantes, como la que el agua de mar al filtrarse perdía su salinidad para después salir al exterior ya dulce; concepto erróneo, porque las aguas del mar nunca pierden sus sales disueltas al filtrarse por las grietas o intersticios de las rocas, y porque el nivel inferior de todo escurrimiento es la superficie del mar.

Sin embargo, Descartes, en 1664, contestando a las críticas hechas sostuvo que el proceso no era así, sino que el agua de mar al evaporarse por la acción del calor interno de la tierra ascendía hasta las grietas de la parte superior de las montañas, dando lugar a los manantiales. Esta teoría fué después abandonada.

Posteriormente Otto Voiger en 1877, vuelve sobre el mismo tema, pero esta vez con un nuevo aspecto. Sostenía que el agua subterránea se formaba por la condensación del vapor de agua atmosférico en las grietas de las rocas y en los espacios lagunares de las tierras permeables, debido a que a profundidades de 15 ó 20 metros la temperatura media es constante; en verano el aire más caliente del exterior al penetrar en las grietas de temperatura más baja condensaba su vapor de agua. Incuestionablemente el aire húmedo condensa su vapor acuoso en las superficies frías, y ésto es un hecho probado. Por ejemplo, en los lugares vecinos al mar y en verano, se observa en las calles sombreadas que el pavimento aparece mojado. Caso similar ocurre en los bosques.

Cuenta el estudioso escritor Fernández Navarro, que en Canarias creció un árbol en una de las gargantas de la Isla de Hierro en que se acumulaban las nieblas, las

que al condensarse daban hasta 2,000 litros de agua por día, la que servía para el abastecimiento de su población. Según el narrador de esta anécdota, el referido árbol, fué derribado por un huracán en 1612, pero su descripción existe en el poema de Ercilla, titulado La Araucana.

Cuenta el mismo Fernández Navarro en apoyo de su tesis que, en Canarias los labradores cubren el suelo con una gravilla de lava muy porosa, llamada en el país - "jable" o "zahora", para que las condensaciones de la humedad del aire se filtren por ellas y alcancen la tierra, permitiendo obtener cosechas.

En oposición a esta teoría, está la moderna que establece que las aguas del subsuelo provienen exclusivamente de las lluvias. Las opiniones vertidas sobre los vapores acuosos son muy variadas, pero todas ellas convergen sobre lo mismo, es decir, que ellos una vez condensados no aportan volumen suficiente como para aceptar lo sostenido por Otto Volger. Así, por ejemplo, el profesor Gonzáles Quijano hace notar que, para dejar cinco gramos de agua se precisa aproximadamente de un metro cúbico de vapor de agua. Similarmente, el profesor Martel hace recordar que las percolaciones en los techos de las cavernas aumentan con las lluvias y que la suma de estas filtraciones pueden explicar los arroyuelos subterráneos que se encuentran en las cavernas y que la niebla de éstas es producida por evaporación del agua en ellas existente; pero el argumento de más fuerza es que la crecida de los ríos subterráneos se presenta con las lluvias.

Uno de los fundamentos de la teoría expuesta reposa en el experimento hecho por el sabio Heen, por el que demostró con un sencillo aparato llamado "tubo de Heen", que el agua de lluvia desciende por la tierra sin mojarla. El citado aparato consiste en un tubo redondo de vidrio que termina en su parte inferior en forma de gancho, pero de menor diámetro, por donde puede salir el aire. En dicho tubo se coloca un poco de arena en su parte inferior, sobre ella tierra, y sobre ésta agua. Se observa que el agua sólo moja la parte superior de la tierra, apareciendo seca en el resto; pero, si mojada la arena. Heen explica este fenómeno indicando que las partículas de tierra tienen unos finísimos canalitos por donde desciende el agua mientras no tenga resistencia; en cuanto esto ocurra el agua invade los espacios lagunares y la tierra se moja.

La teoría contemporánea, de que las aguas del subsuelo provienen de las lluvias, en realidad se inicia con los estudios de arquitecto Marco Vitrubio, allá por los años 1420; que fueron después desarrollados por el sabio francés don Bernardo de Palissy en 1580, quien afirmó que las aguas meteóricas se infiltraban en el suelo hasta hallar una capa impermeable que las detenía.

Con el transcurso del tiempo las ideas han ido ampliándose, y, sobre todo, afianzándose con el empleo de medios técnicos que antiguamente no se conocían, los cuales han permitido avanzar en forma apreciable respecto del conocimiento de la íntima vinculación que hay entre el agua y la corteza terrestre.

Para ello fué necesario ingresar a la investigación de una nueva ciencia: la Geología. Fué el sabio Guillermo Smith, de Inglaterra, uno de los pioneros quien descu-

bió que la textura del subsuelo, o sea la parte de la Geología denominada Tectónica, tiene una estrecha unidad con las aguas del subsuelo, y como secuela de sus deducciones, la aplicación de sus resultados a los problemas de Ingeniería. Con ello estableció que el agua meteórica que penetra en el suelo puede dividirse así:

- a) La que es absorbida directamente por las plantas;
- b) La que por capilaridad asciende de nuevo a la superficie y se evapora;
- c) La que se une a las moléculas de sustancias minerales y se fija químicamente en el suelo;
- d) La que corre directamente hacia el mar por conductos y manantiales subterráneos;
- e) La que brota en forma de manantiales y, a menudo, alimenta a los ríos; y
- f) La que queda retenida en el subsuelo.

Pero la parte de la Geología que específicamente se ocupa de obtener los conocimientos geológicos que determinan la manera como se verifica la circulación de las aguas subterráneas es la Hidrogeología, o sea la marcha de aquellas a través de las capas terrestres según la naturaleza de las rocas, y por consiguiente, de los terrenos por los cuales circula.

2.- INVESTIGACION DEL AGUA SUBTERRANEA

Dejando de lado la Geología propiamente dicha por ser una ciencia especializada cuyos detalles no son del caso para este artículo, solamente nos ocuparemos de una de sus ramas: La Hidrogeología, o sea como ya hemos dicho, la parte de la Geología que nos enseña como circulan las aguas en el subsuelo según las condiciones tectónicas de la localidad.

Sin embargo, para un mejor entendimiento de este artículo, es conveniente referirse primero, en forma general, a la petrografía de la corteza terrestre, a fin de dar una somera orientación sobre las posibilidades de encontrar agua del subsuelo en relación con la constitución de los diversos suelos. Las rocas que existen en el mundo pueden clasificarse en los tres siguientes grupos:

- 1°.- Rocas ígneas o eruptivas, que son las formadas en el interior de la corteza terrestre y que han salido al exterior rompiendo las capas superiores y en donde se encuentran los principales minerales como cuarzo, feldespato, mica, hornblenda, piroxenos. Las rocas más importantes de este grupo son: el granito, la sienita y la diorita. Como regla general, este tipo de roca no es el mejor como origen de agua subterránea;

- 2° .- Rocas sedimentarias, son las que procediendo de la disgregación de otras rocas, han sido transportadas a un punto distinto de su origen. Entre ellas las más importantes son: la arena, grava, arcilla, margas, yeso, limo, depósitos silíceos, sal común, pizarras. Este grupo de roca es el de mayor interés para las perforaciones de pozos para agua subterránea; y
- 3° .- Rocas metamórficas, o sean las transformadas por acciones diversas como temperatura, presión, intemperismo, etc. y que han sido de origen sedimentario o ígneas, que son difíciles de clasificar. Para el objetivo de obtener agua subterránea este grupo está considerado como el más pobre en rendimiento. Las rocas metamórficas incluyen el gneis, cuarzo, feldespato, mica y pizarras que podían haber sido cieno o arcilla, etc.

Hecha esta ligera exposición de los grupos de rocas, cuyo conocimiento sobre no podía dejarse de citar, podemos ya tocar dos factores importantísimos sobre los cuales está basado el verdadero principio de la productividad de los mantos de agua subterránea y en circulación: la Porosidad y la Permeabilidad de los suelos.

a) Porosidad.- Según el Dr. O. E. Meinzer de la Geological Survey de EE. UU., la porosidad de las rocas es la propiedad de contener intersticios. Cuantitativamente está expresada como un porcentaje del volumen total de una roca.

La porosidad de una roca sedimentaria (hemos dicho que es el grupo de más interés para obtener agua subterránea) depende de lo siguiente:

- 1) De la forma y acomodo de las partículas constituyentes;
- 2) Del grado de ordenamiento de sus partículas;
- 3) De la cementación y compactación a que han estado sujetas desde su deposición;
- 4) De la remoción de materiales minerales a través de soluciones por percolación de las aguas; y
- 5) De las fracturas de la roca, resultante de juntas y fisuras.

Gráficamente se muestra en la Fig. N° 1 los tipos de intersticios en relación con la textura de la roca, que originan grados de porosidad.

La explicación del gráfico es la siguiente:

- A.- Buena clasificación en depósito sedimentario, teniendo una alta porosidad;

- B.- Pobre clasificación en depósito sedimentario, teniendo una baja porosidad;
- C.- Buena clasificación en depósito sedimentario de relativamente grandes partículas con poros que hacen un conjunto de muy alta porosidad;
- D.- Buena clasificación en depósito sedimentario cuya porosidad ha sido reducida por deposición de materias minerales en sus intersticios;
- E.- Roca sólida con poros originados por disolución; y
- F.- Roca sólida con poros originados por fractura .

Como se comprenderá, estas condiciones tienen la más grande importancia para el perforador de pozos, porque de su interpretación, conocimiento y experiencia depende el rendimiento del pozo en el momento de su prueba, así como su futuro en que por razones de la disolubilidad de sus sales con el correr del tiempo, puede incrementarse la producción de agua .

Consideradas estas condiciones en un mejor estudio efectuado por el profesor Schlichter de la Geological Survey, se seleccionó un suelo ideal constituido por granos esféricos de tamaños iguales y acomodados de la manera más compacta posible, en forma de romboedro, cuyas caras formaron ángulos de 60° y 120° . Se establecieron las siguientes relaciones:

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



- 1.- Que el tamaño de los granos no interviene en la porosidad. Esto es, que si no intervienen otras condiciones, el terreno tendrá la misma porosidad ya sea que contenga grandes o pequeños granos .
- 2.- Que las irregularidades en la forma de una partícula individual varían con el carácter del mineral del cual está compuesta, originando una posible variación en su porosidad; y
- 3.- Que la variedad del tamaño de los granos y el grado de su acomodamiento es de importancia fundamental en la porosidad de un depósito sedimentario .

Para el perforador de pozos la determinación de la porosidad de un suelo tiene suma importancia porque de ella depende el éxito del trabajo. Muchos métodos se han sugerido para la valuación exacta de la porosidad; y ello sólo puede conseguirse en el Laboratorio, por ser una cuestión de una especialidad, que no cabría explicar en este artículo .

Pero, para el objeto de obtener en el propio terreno una rápida determinación de la porosidad del suelo puede usarse el siguiente método:

Se toman dos depósitos graduados en altura e igual forma. Uno se llena hasta el tope con el material por investigar, y el otro, también hasta el ras, con agua. Luego, se vierte el agua en el primer depósito hasta que ella aparezca y llegue hasta el borde. La diferencia de agua que hay entre su total y la que queda en depósito, es el volumen

que corresponde a la porosidad. Por ejemplo, supongamos que los depósitos tengan 500 milímetros de altura, y que después de verter el agua como se ha explicado, quede en el depósito de agua, 350 mm. de altura; significaría que se ha trasegado al otro depósito -- 150 mm., que es el 30%, o sea que el material investigado tiene una porosidad de 30%.

De manera más precisa por supuesto, o sea por investigaciones de Laboratorio, se formulan cuadros como el siguiente que ha sido compilado por M.L. Fuller y que aparece publicado en Water Supply Paper N° 489:

MATERIALES GLACIALES EN CONNECTICUT

Material	Porosidad por ciento	Material	Porosidad por ciento
Arena fina, uniforme	48.0	Grava c., matrices de arena	20.0
Arena fina-med., unif.	37.0	Cieno y arcilla	18.0
Arena fina suelt. y cieno	36.0	Pedrones, arcilla, arenosos	21.0
Arena gruesa y grava	33.0	Pedrones arcilla, pedregones	16.0
Grava fina y gruesa	28.0	Pedrones arcilla, y grava	14.0
Cieno gravilloso	26.4	Pedrones arcillosos	13.5
Arena y grava, algunos cascajos grandes	25.2	Depósitos lacustres con cieno	36.0

b) Permeabilidad.- En una roca es su capacidad para conducir agua bajo presión y por unidad de distancia. No hay que confundirla con "producción específica" que es la cantidad fija para volumen dado de partículas de un tamaño dado, acomodadas y con un grado determinado de cementación. Esto no sucede para el factor impermeabilidad cuyas condiciones del medio pueden variar grandemente con la presión y con su formación. La permeabilidad se determina por medio de permeámetros en el Laboratorio o por bombeo en el campo, siendo su teoría más o menos complicada.

Para los efectos de la aplicación de estos principios o reglas, es necesario conocer la definición de los siguientes términos:

Retención Específica.- Es el término aplicado al agua retenida en la superficie de las partículas.

Rendimiento Específico.- Es la porosidad menos la Retención Específica, o sea el agua susceptible de ser extraída del aluvión bajo la fuerza de la gravedad.

Superficie Freática.- Es la superficie libre del agua subterránea.

Material Acuifero o Capa Acuifera.- Es cualquier cuerpo de sedimentos que pueda suministrar agua subterránea.

Al respecto Harold Conkling dice así:

Las partículas pequeñas tienen un total de área superficial más grande, en comparación con su volumen. Por esta razón la Retención Específica de las partículas pequeñas es mayor que la de las partículas grandes. Las masas de partículas de tamaño uniforme tienen la misma porosidad, pero cuanto más pequeño es el tamaño de las partículas, tanto mayor es la retención específica. La porosidad de muchas clases de arcilla es de, más o menos, 45%; pero conforme las partículas van disminuyendo en tamaño, la retención específica es más grande, mientras que el rendimiento va disminuyendo hasta llegar a su anulación.

Las consideraciones expuestas hasta aquí tienen su técnica especial, como se comprenderá, cuando se trata de la perforación de pozos para explotar el agua del subsuelo. Dentro de este aspecto es necesario aclarar que una cosa es el pozo y otra, la formación del suelo; ambas se refieren a la aptitud de proporcionar agua. Sin embargo, muchas veces se confunden estos dos conceptos. En realidad un pozo es una estructura construida por la ingeniería en concordancia con las consideraciones técnicas que gobiernan el estrato acuífero y cuyo resultado depende exclusivamente de los datos técnicos obtenidos después de los estudios efectuados.

Los pozos, como estructuras de ingeniería, sirven para el sólo objeto de obtener el bombeo más económico con la finalidad de aprovechar la mayor cantidad de agua de una formación acuífera, construyéndolos dentro de los límites de una profundidad dada, según los métodos usados y con los materiales convenientes. De su selección depende el rendimiento del pozo así como del desarrollo que se le dé después de haber sido perforado. Sin embargo, es muy corriente incurrir en determinado error, que puede llegar a resultados contrarios de los esperados. Así por ejemplo, muchos errores se han cometido al creer que un doble diámetro da una doble cantidad de agua. Es por eso necesario antes de emprender un proyecto de perforación de pozos, efectuar un minucioso estudio de la técnica pertinente a fin de evitar fracasos en la explotación del agua.

Para los fines de la extracción del agua existente en una napa subterránea, debe establecerse su verdadera posición en relación con los estratos que la limitan. Dentro de este aspecto el agua está clasificada así:

Agua confinada, o sea el agua artesiana, Fig. 2.

Agua no confinada, o sea el agua no artesiana, Fig. 3.

Y su producción se rige por las siguientes fórmulas:

$$1) \quad Q = 2 K' t \frac{H - h}{\log \frac{R}{r}} \quad \text{para agua confinada (artesiana)}$$

$$2) Q = K' \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} \quad \text{para agua no confinada (no artesiana)}$$

En que:

- Q = galones en 24 horas
 K' = una cantidad que varía con la finura y porosidad de la formación.
 H = la carga estática o distancia del nivel estático del agua al estrato impermeable (fondo del pozo)
 h = la distancia del nivel de bombeo fuera de un pozo tubular al fondo del pozo
 H-h = depresión o descenso del nivel estático debido al bombeo
 R = radio de influencia en pies
 r = radio del pozo en pies
 t = espesor del estrato acuífero para el agua confinada (agua artesiana)

Como puede notarse, las curvas tienen diferente significado; cuando se trata de agua confinada (artesiana) se llama "Curva de presión", y cuando es agua no confinada, "Curva de depresión".

Todos sabemos que cuando el bombeo de un pozo es iniciado, el nivel estático se deprime en la proximidad del pozo, y la altura va decreciendo conforme se aleja del pozo hasta un punto en que la napa acuífera no es afectada. Este fenómeno se debe a que tan pronto como comienza el bombeo se forma una gradiente hidráulica en toda dirección y siempre hacia el pozo, debido al descenso del nivel del agua en él, originando una especie de cono invertido, cuya base (si el estrato es de grado homogéneo) es circular cuando el nivel estático es horizontal, y elíptica si tiene pendiente.

El valor de K' según la tabla de Turneure y Russell puede ser avaluado así:

TAMAÑO EFECTIVO DEL GRANO, EN MILIMETROS

Porosidad por ciento	Muy Fino 0.10	Fino 0.20	Medio 0.30	Grueso 0.40	Muy grueso 0.50	Grava fina		
						0.80	1.00	2.00
25	75	280	640	1140	1800	4600	7100	28000
30	130	520	1150	2100	3300	8300	13000	52000
35	220	860	2000	3500	5400	14000	22000	86000
40	330	1300	3000	5000	8000	21000	33000	130000

Ya en párrafo anterior hemos expresado que el grado de la formación juega un importante rol en la productividad de un pozo. Así, podemos observar cómo el valor de K' se incrementa con el mayor tamaño del grano y porosidad del material, mientras que decrece conforme aumenta la finura o compacidad del mismo.

Este concepto es muy importante en lo relativo al rendimiento de un pozo, en el sentido de que todo esfuerzo debe dirigirse a la ubicación más conveniente del pozo por perforar, operación a que debe darse toda la preferencia antes de pensar en aumentar el diámetro de él, porque este factor en realidad proporciona pocas ventajas. El siguiente cuadro muestra la poca mejora del radio de influencia en relación con el aumento del diámetro del pozo:

DIAMETRO DEL POZO = $2r$ (pulgadas)

R (pies)	4	8	12	24	48	120	140
100	0.36	0.40	0.43	0.50	0.58	0.77	1.00
200	0.32	0.36	0.38	0.43	0.50	0.62	0.77
500	0.28	0.31	0.33	0.37	0.41	0.50	0.58
1000	0.26	0.28	0.30	0.33	0.37	0.43	0.50
2000	0.24	0.26	0.27	0.30	0.33	0.38	0.43

3.- CICLO HIDROLOGICO

Expuestas las consideraciones más saltantes sobre la historia, teorías y condiciones técnicas que han hecho posible el aprovechamiento de las aguas del subsuelo, explicaremos cómo es el movimiento de las aguas en la Tierra.

La Naturaleza nos muestra la existencia de lo que se llama el "Ciclo Hidrológico", sobre el cual reposa toda la teoría moderna para ubicar separadamente los diferentes tipos, propiedades y clases de las aguas, ya sea en la atmósfera, en la superficie terrestre o debajo de ella. La Fig. N° 4 nos muestra gráficamente cómo se realiza este ciclo.

Como sabemos, la atmósfera está sujeta a los cambios de temperatura, a la variación de los vientos, a la gravedad y a los diversos fenómenos físicos que causan la evaporación, transpiración, precipitación e infiltración de las aguas. De otro lado las aguas de los océanos que están constantemente en movimiento, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, el traslado de la Luna en su órbita terrestre, el desplazamiento del aire sobre su superficie, la caída de la lluvia, la nieve, la humedad, las neblinas, granizo, etc. contribuyen a la realización de uno de los fenómenos naturales que el hombre puede contemplar y que demuestran la grandiosidad de un hecho físico que se realiza bajo el imperio de leyes inmutables y eternas, como es el "Ciclo Hidrológico".

El punto que debemos tocar en este artículo es el de infiltración que es el agente que nos lleva al aprovechamiento de las aguas subterráneas, o sea aquella agua que no se evapora ni corre por la superficie del suelo, sino que se infiltra en el terreno para seguir un camino subterráneo; una parte sale a la superficie, formando fuentes que engrosarán el caudal de los ríos, y el resto continúa su camino subterráneo.

La determinación del porcentaje del agua infiltrada respecto de la lluvia ofrece serias dificultades, pues ella, como se comprenderá, depende de los diversos factores que en uno y otro caso intervienen en la investigación. Al respecto hay diversas opiniones. Así por ejemplo, el investigador Bentabol considera que en terrenos de mucha pendiente sólo un 10% del agua lluvia se infiltra, mientras que en los de poca pendiente y más permeables puede llegar a 25%. La Fig. N° 5 nos muestra cómo se realiza la distribución del agua subterránea.

4.- EL AGUA SUBTERRANEA EN EL PAIS

En nuestro país muy poco se ha hecho en relación con investigaciones del agua subterránea. Fuera de los estudios efectuados en el año 1938 por el Ing° Harold Conkling, contratado por la Sociedad Nacional Agraria; de los ejecutados por la firma Anderson Clayton para las Pampas de Los Castillos y de La Tinguíña en el Valle de Ica, según Ley N° 1194; de los realizados en Arequipa e Ica en el año 1959 por el Ingeniero Marcel Solignac de la Organización de las Naciones Unidas; y de los que se están llevando a cabo actualmente en Lambayeque, se puede decir que no existen otros que tengan el carácter oficial.

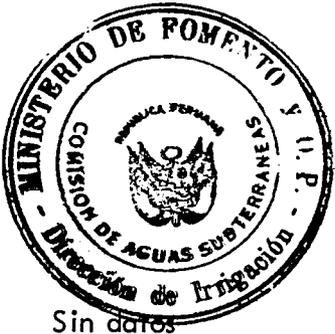
Sin embargo, en forma particular, con caracteres locales, se han ejecutado trabajos de perforación de pozos con muy buenos resultados, como ha sucedido en el Alto Piura, en Lambayeque especialmente por las haciendas azucareras, en los valles de Chicama por la Sociedad Agrícola Casa Grande, en el del Rímac para agua potable, en Asia, en Ica y en otros, en menor escala.

El cuadro siguiente, formulado por el Ing° Enrique Cedrón Campos, Sub-Director de Aguas de Regadío del Ministerio de Agricultura, muestra la distribución de los principales pozos perforados en la Costa del país:

CUADRO DE POZOS DE AGUA EXISTENTES EN LOS
VALLES DE LA COSTA

VALLE	Número de Pozos	Volumen de Bombeo lts/s.	Masa Total Anual M3	Observaciones
ZONA NORTE				
Tumbes y Zarumilla	---	---	---	No hay pozos
Chira	---	---	---	" " "
Chipillico	---	---	---	" " "
Alto Piura	101	2,775	48'229,500	
Bajo Piura	4	653	11'349,140	
Olmos y La Leche	43	2,709	49'152,106	
Chancay	267	6,585	119'378,240	
Zaña	24	1,005	18'234,720	
Jequetepeque	57	2,050	35'629,000	
Chicama	406	6,936	119'854,080	
Moche	91	1,223	21'133,440	
Virú	90	1,859	32'123,520	
Santa Lacramarca	---	---	---	No hay pozos
Monte de Chimbote	1	---	---	Sin datos
Nepeña	1	85	2'203,200	Agua Potable
Casma	50	2,546	43'994,880	
Sechín	54	1,928	33'315,840	
Culebras	39	800	13'824,000	
Huarmey	---	---	---	Sin datos
Las Zorras	26	610	10'540,800	
	4	500	15'520,000	
ZONA CENTRO				
Fortaleza	16	546	9'434,880	
Pativilca	12	480	8'294,400	
Supe	14	1,313	22'688,640	
Huaura, Sayán y Río Chico	9	540	9'385,200	
Huaral (Chancay)	48	2,277	39'346,560	
Chillón	26	2,100	36'288,000	
Rímac (bombeo)	91	---	---	Datos incomp.
Rímac (ordin.)	227	---	---	" "

Continuación

VALLE	Número de Pozos	Volumen de Bombeo lts/s.	Masa Total Anual M3	Observaciones
Lurín	28	1,196	20'856,000	
Chilca	89	2,322	40'356,360	
Mala	1	50	869,000	
Asia	154	3,670	63'784,600	
Cañete	6	365	3'443,040	
ZONA SUR				
Topara	---	---	---	Sin datos
Chincha	167	8,832	152'616,960	
Pisco	54	2,748	23'732,720	
Villacurí	---	---	---	Sin datos
Ica	550	21,667	200'000,000	
Santa Cruz	5	245	4'996,080	
Río Grande	11	160	840,632	
Palpa	41	652	4'271,293	
Viscas	47	779	3'183,041	
Ingenio	61	1,280	3'915,394	
Socos, Aja, Tierras Blancas y Nasca	182	2,292	32'680,320	
Taruga	30	1,221	24'458,054	
Trancas	64	1,327	19'067,167	
Chauchilla	8	170	2'820,960	
Acari	7	130	1'555,200	
Lomas	2	---	---	Sin datos
Yauca	1	---	---	Sin datos
Ocoña	---	---	---	No hay pozos
Camaná-Majes	---	---	---	" " "
Arequipa	23	96.5	1'677,170	
Irrig. La Joya	---	---	---	No hay pozos
Irrig. Ensenada, Mejía y Mollendo	---	---	---	" " "
Tambo	---	---	---	" " "
Moquegua	63	945	2'620,500	
Tacna	28	1,071	18'613,980	
Totales:	3,323	90,738.5	1,326'278,617	

El caso de las Pampas de "La Yarada" y "Hospicio" en la provincia y departamento de Tacna es otro ejemplo del esfuerzo del capital privado para explotar el agua subterránea para irrigaciones. Con tal fin el Ing° Josué Grande obtuvo del Gobierno una concesión para poner bajo riego con aguas del subsuelo, mediante bombeo, una apreciable extensión de las que se encuentran en explotación más de 2,000 hectáreas.

Es interesante observar del cuadro de los pozos en actual explotación, el volumen de agua aprovechada anualmente que llega a la apreciable cifra de 1,326'278,617 metros cúbicos, mediante el bombeo de 3,323 pozos; es decir, una masa de agua que se acerca a la anual media del río Cañete, uno de los más caudalosos de la Costa, que riega el valle del mismo nombre con más de 24,000 hectáreas, uno de los más fértiles y productivos del país.

De lo expuesto se infiere la riqueza potencial que tenemos en nuestro subsuelo que merece ser estudiado en forma preferencial, pues la agricultura nacional se encuentra en la etapa de explotarlo, toda vez que los ríos de la Costa, casi en su totalidad, están declarados agotados para los fines de nuevas irrigaciones. Y, esto no quiere decir que los ríos ya no descarguen agua en el mar perdiéndose inutilmente, pues a todos nos consta que ellos en determinados días de verano todavía así lo hacen, sino que sus volúmenes ya no pueden garantizar un cultivo porque en sus estiajes apenas proporcionan la dotación conveniente y muchas veces ni la abastecen. Pero, muy bien se puede combinar el aprovechamiento de los sobrantes de las crecientes en verano con la explotación del agua subterránea para cubrir los déficits.

También es oportuno citar que junto al estudio técnico de las aguas del subsuelo para su explotación mediante pozos o galerías filtrantes, es urgente modificar la ley promulgada en el año 1902, aprobando el actual Código de Aguas, cuyo articulado pertinente resulta anacrónico.

Su aplicación en los valles donde se ha autorizado la perforación de pozos, siempre ha traído serios problemas por cuanto la distancia mínima entre ellos, fijada en base a los conocimientos empíricos de ese entonces, no es la que corresponde a la técnica contemporánea. Como ejemplo tenemos el caso de Ica en donde indiscriminadamente y sólo al amparo del artículo 25° del Código de Aguas se han perforado 550 pozos, muchos de los cuales se han interferido recíprocamente, motivando, en algunos, la baja de sus rendimientos, y en otros, su anulación. Ciertamente que tampoco ha habido concepto técnico en su explotación, esto es, que se ha bombeado más de lo que rinde la napa freática, agudizando así el empobrecimiento de los pozos afectados.

El Ing° Harold Conkling en su informe presentado ante la Sociedad Nacional Agraria hace las siguientes recomendaciones, que el articulista considera conveniente divulgarlas, por cuanto, posiblemente, el referido informe, dada la fecha de su emisión - año 1939 - no es ya de conocimiento de muchos. El texto de las citadas recomendaciones es:

- 1.- Debería prepararse un mapa a escala 1:25,000 para cada valle en que se usa el agua subterránea, o en el que se contemple su uso. Este mapa serviría como base; y esta base debería usarse para delimitar la geología aluvial, la tierra irrigada y su catastro, y las áreas pantanosas; para ubicar las curvas de nivel con una exactitud apropiada, los pozos, los sistemas de drenaje proyectados; y todos los factores relacionados con el problema. Razón: Sin tales mapas como base, un estudio eficaz se verá grandemente dificultado, si es que no se hace imposible.
- 2.- Deberán efectuarse mediciones en los pozos, del rendimiento, nivel de la "superficie freática" y su descenso por causa del bombeo. Las mediciones del nivel de la "superficie freática" deberán hacerse año tras año en sus fluctuaciones máximas y mínima. Razón: Estas observaciones, si se continúan por un tiempo largo y se coordinan con el área cultivada y la descarga superficial de la cuenca, proporcionan la necesaria confirmación en las estimaciones de los recursos y finalmente acusarán el verdadero cuadro.
- 3.- El contratista perforador deberá llevar un registro de todos los materiales encontrados al perforar un pozo, y deberán conservarse muestras de los materiales hasta que puedan ser inspeccionadas. Las muestras de las capas acuíferas deberán ser sometidas a un análisis mecánico. Razón: Cuando se haya acumulado suficiente información de esta naturaleza, podrá determinarse la capacidad de las hoyas subterráneas con considerable exactitud; y podrán ser demarcadas con mayor exactitud las áreas de perforación inconveniente.
- 4.- Deberá ponerse cuidadosa atención a estas muestras, con el objeto de mejor determinar el área en que los pozos tendrán buen éxito.
- 5.- Deberá determinarse el "consumo esencial" de las varias cosechas. Deberá determinarse la "capacidad retentiva" de los diversos suelos. Deberán analizarse las muestras de aguas subterráneas, a intervalos apropiados, para determinar cuantitativamente las sales dañinas para la agricultura. Razón: No hay necesidad de aplicar más agua bombeada, de suyo costosa, en un "riego" que la suficiente para saturar la "capacidad retentiva" del suelo, en la zona de raíces (excepto la necesaria para eliminar la sal). El "consumo esencial" de las diversas cosechas y el contenido de sal del agua subterránea, son datos auxiliares para esta determinación.
- 6.- Deberá hacerse perforaciones en ciertas áreas, para explorar los aluviones recientes. No se recomienda por ahora la perforación profunda de exploración de los aluviones más antiguos mientras haya agua en cantidades comerciales, a poca profundidad. Razón: Como regla

general, es de desear, por razones obvias, que el primer pozo perforado en cada valle, explore el aluvión hasta los terrenos Terciarios, o hasta los Cuaternarios consolidados más antiguos, en cualquier valle en donde se espere que el uso del agua subterránea sea grande. Fuera de esta primera exploración, la perforación profunda no es de desear por ahora, a no ser que el pozo exploratorio demuestre que es más barato que los pozos poco profundos debido a un mayor rendimiento. Lo que se desea en todo programa o proyecto colectivo es el mayor rendimiento en agua por unidad de costo; y hay indicios de que se encontrará este máximo rendimiento por unidad de costo con la perforación de pozos poco profundos, en la mayoría de los valles, por ahora, por lo menos; y con la posible excepción de la zona occidental del Valle de Lambayeque. Esta recomendación no está en contradicción con las recomendaciones insertadas para cada valle que se aplican a un programa de largo plazo.

- 7.- Deberán hacerse estudios en los valles donde la escasez de agua parece probable, sobre la posibilidad de lograr mayor infiltración por el desparrame de agua en áreas no cultivadas, para cubrir mayores áreas, tanto dentro como fuera del álveo del río.
- 8.- La legislación de aguas del Perú deberá ser revisada, con especial referencia a la legislación de aguas subterráneas.
- 9.- Debería crearse una organización, bajo un jefe competente, para lograr una información necesaria.
- 10.- La información así obtenida deberá conservarse en forma que permita ser utilizada; y la situación en cada valle debería ser vuelta a analizar a intervalos necesarios.

Todo lo expuesto hasta aquí, revela que en nuestra Costa la investigación de las aguas subterráneas no ha sido, todavía, orientada conforme a un plan acorde con las necesidades imperantes y urgentes de nuestra actualidad, con miras a obtener, principalmente de un lado, el déficit de las aguas en el estiaje, y de otro, de irrigar nuevas tierras ya sea con aguas del subsuelo o combinándolas con los sobrantes de las aguas de crecientes.

En casi todos los países, el agua subterránea está siendo explotada intensamente, en especial en aquellos de gran potencialidad económica. Muchos de los subdesarrollados como se les llama a los que no cuentan con los medios económicos suficientes como para satisfacer sus necesidades con el índice normal, están siendo hoy día ayudados en este sentido, por otros países especialmente por los Estados Unidos. Un ejemplo lo tenemos en el préstamo otorgado a Chile en el año 1952 por la suma de Un Millón Trescientos Mil dólares (1'300,000 dól.), con plazo de 10 años al 4 3/8% de interés, destinado a

mejorar el riego del valle del río Elqui, mediante la explotación del agua subterránea debido a la irregularidad de sus descargas. El proyecto, ya en ejecución, ha sido desarrollado en dos etapas. En la primera se efectuó la investigación del agua subterránea, y en la segunda se instalaron los equipos de bombeo.

Otro ejemplo lo tenemos en la India con el proyecto de Irrigación de las planicies de Indo-Ganges mediante la perforación de 3,000 pozos tubulares que beneficiará directa e indirectamente a toda una región de 20'000,000 de hectáreas, con un costo de Cuarenticinco Millones de dólares (45'000,000 dól.) del cual 18 millones están financiados con préstamos norteamericanos y 27 millones por el Gobierno de la India. El citado proyecto pondrá bajo riego más de 1'000,000 de hectáreas.

Los casos citados demuestran que en el mundo existe ya una creciente inquietud por un mejor conocimiento y aprovechamiento del agua subterránea. Y la razón es explicable: el aumento demográfico del mundo hace prever que si oportunamente no se toman las previsiones necesarias más tarde el problema se manifestará tan agudo que nadie podría sospechar las proyecciones que se derivarían.

El agua es el símbolo de la vida; sin ella no subsistiría. Es de nuestro deber, en defensa nuestra, tratar que el agua está a disposición del hombre siempre en un grado adelantado, esto es que debe estudiarse en avanzada toda solución que nos lleve a mantener un superávit y nunca un déficit. Para el caso del Perú significa un principio, pues nuestro pueblo costeño es tradicionalmente agricultor.

Lima, junio de 1961.

Ricardo Espantoso Ferrari
Ingeniero

Bibliografía :

Explotación de Aguas Subterráneas en la Costa del Perú
Harold Conkling.

Investigación de Aguas Subterráneas para Usos Agrícolas
Bartolomé Darder Pericás.

Wells and Boreholes for Water Supply
J. E. Dumbleton.

Ground Water its Development, Uses and Conservation
E. W. Bennison.

Bulletins Practical Information Water Well Problems
Manufactures of Johnson Well Screens.

The Magazine of Engineering Construction
Civil Engineering.

Geología para Ingenieros
por R. F. Legget.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA



MO

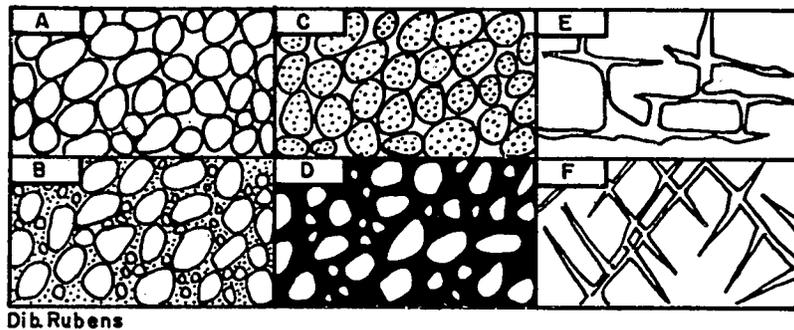
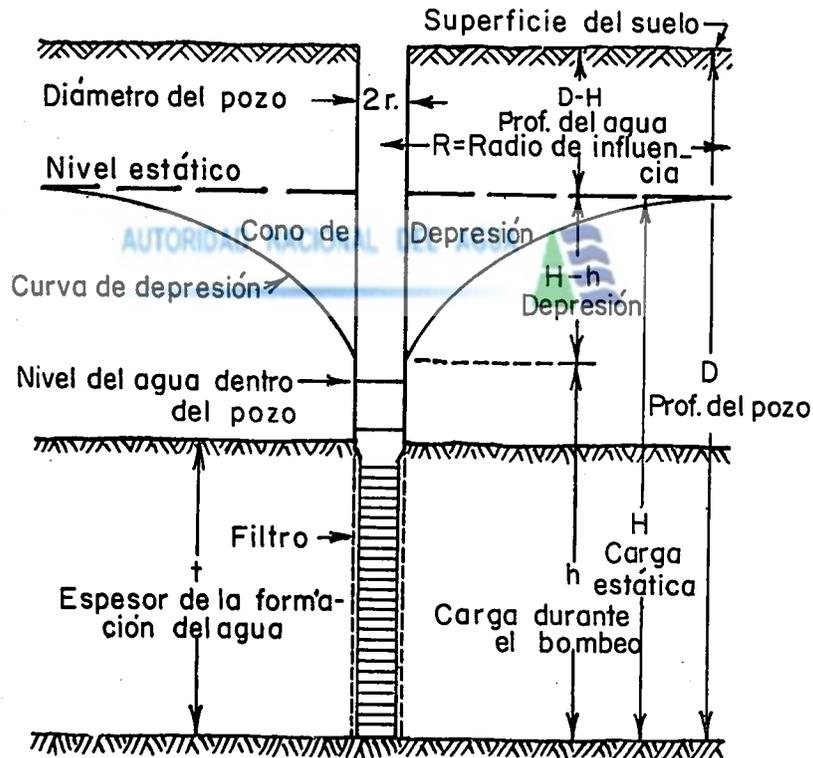


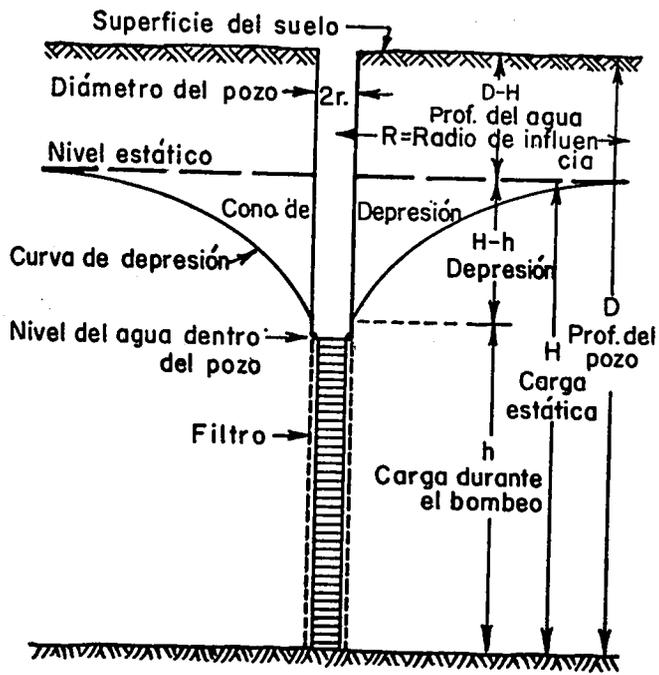
Fig. 1



AGUA CONFINADA (ARTESIANA)

$$Q = 2 K't \frac{H-h}{\log \frac{R}{r}}$$

Fig. 2



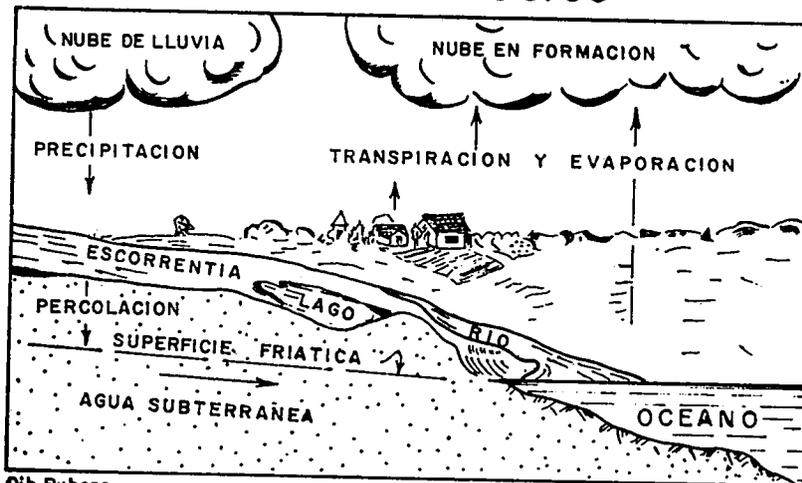
AGUA NO CONFINADA

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

$$Q = K' \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}}$$


Fig. 3

CICLO HIDROLOGICO

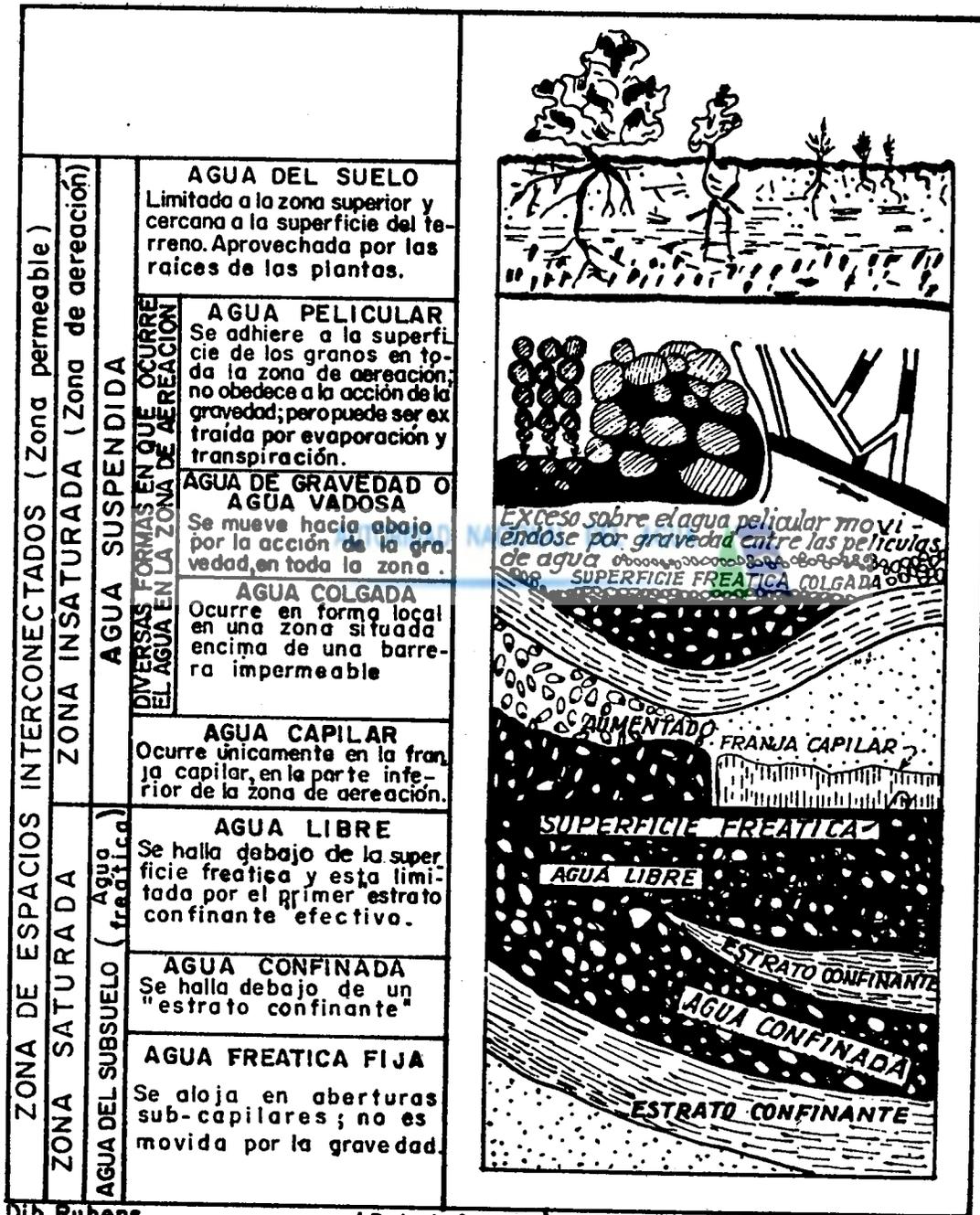


Dib. Rubens

Fig. 4

FORMAS DE OCURRENCIA Y DE DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA

Fig. N° 5



Dib. Rubens

(Del Informe de Harold Conkling)