

EL AGUA SUBTERRÁNEA
:: EN EL NORTE DE CHILE ::

Por

J. BRÜGGEN



El Agua Subterránea en el Norte de Chile

Por J. Brüggén.

SUMARIO

- I. Oríjen del agua subterránea.
- II. Las precipitaciones atmosféricas en el norte.
- III. Agua sin presión i agua artesiana.
 - a) Las corrientes de agua subterránea sin presión en el norte.
 - 1) Corrientes de los valles.
 - 2) El agua subterránea en la Pampa del Tamarugal.
 - 3) Relaciones entre el agua subterránea i los salares.
 - 4) Corrientes de agua subterránea en llanos longitudinales parecidos a la Pampa del Tamarugal.
 - b) Agua artesiana.
 - 1) En los conos de rodados.
 - 2) Agua artesiana de Pica.
- IV. Conclusiones.

I. Oríjen del agua subterránea

En cuanto a su oríjen podemos distinguir dos grandes clases de agua subterránea: La primera clase com-

prende el agua que proviene de algún magma ígneo situado a gran profundidad. Durante el enfriamiento, el magma despidió, fuera de otros gases, grandes cantidades de vapor de agua que al condensarse en las partes superiores de la costra terrestre llega a la superficie como vertiente termal. Las rocas volcánicas, que en la superficie se extendieron en forma de corrientes de lava consolidándose rápidamente, contienen hasta 8% de agua; lo que indica que en el caso de agua de origen magmático puede tratarse también de cantidades considerables.

El eminente jeólogo vienés *Eduardo Suess*, denominó a esta clase de agua que por vez primera llegó a la superficie de la tierra, *agua juvenil*.

Pero mucho más importante es el agua subterránea que debe su origen a las precipitaciones atmosféricas i como ésta casi nunca desciende a profundidades muy grandes, fué llamada por *Suess* *agua vadosa*.

En realidad, la mayor parte de las vertientes corresponde a aguas subterráneas vadosas. Como agua juvenil podemos considerar solamente algunas vertientes minerales situadas en regiones volcánicas i que se caracterizan por contener ciertas sustancias como H_2S , CO_2 , etc. En el Norte pertenecen a esta clase de vertientes los geysires que dan origen al Río Salado que, cerca de Chiuchiu, desemboca en el Río Loa. Contienen también agua juvenil las termas sulfurosas que en la región de Mamiña salen de grietas que existen en las porfiritas i en dioritas.

Esta clase de agua subterránea, que subiendo por delgadas grietas proviene de profundidades enormes, en general se presta muy poco para ser captada mediante sondajes i frecuentemente resulta ser agua salada.

II.—Las precipitaciones atmosféricas en el Norte.

Ya que la mayor parte de las grandes corrientes de agua subterránea deben su origen al agua de las lluvias que se filtran en el suelo permeable, debemos ocuparnos brevemente de la repartición de las precipitaciones atmosféricas en el Norte.

Toda la zona de la costa i también los llanos longitudinales situados al oriente de la Cordillera de la Costa carecen de lluvias, o si las hai, son tan escasas que no pueden ser tomadas en cuenta al estudiar el origen de las aguas subterráneas. En esa zona de desierto sólo son muy frecuentes las neblinas, llamadas *camanchacas*, las que jeneralmente mojan bastante los suelos. Según la teoría de la condensación, defendida por algunos autores, estas neblinas podrían dar origen también a la formación de agua subterránea. Pero el agua de este modo formada no podrá ser nunca dulce a causa de la gran cantidad de sales de que están impregnados los suelos del desierto. Además, es poco probable que la condensación del vapor de agua, que según esta teoría debe producirse en las porosidades del suelo, sea capaz de dar origen a grandes cantidades de agua subterránea.

Subiendo desde la Pampa del Tamarugal hacia los Altos de Pica, empieza la primera vejetación a unos 3,300 a 3,500 ms. de altura i como ésta, aunque pobre, se halla tanto en el fondo de las quebradas como en las faldas abiertas de los cerros, debemos suponer en la altura indicada principian las primeras lluvias. Con mayor altura aumentan también las precipita-

ciones atmosféricas, las que con preferencia caen en los meses de verano, es decir, desde Enero a Marzo. En esta época se producen casi todas las tardes en la alta cordillera grandes temporales con descargas eléctricas, fenómenos que debemos considerar como pertenecientes a la categoría de las lluvias tropicales. También en invierno se producen nevazones, pero parece que son menos abundantes que las lluvias del verano.

Es muy sensible que tengamos tan pocas observaciones exactas sobre la cantidad de las lluvias que caen en esas alturas, que no debe de ser pequeña. El señor *Risopatrón* (1), dice que el año de 1884 fué muy lluvioso, pues llovió 30 días seguidos. I que varias veces en la estación de Ascotán (3,900 ms.) la nieve se levanta hasta 2 m. de altura. Cuando en Julio de 1916 estuvé en la rejión del Salar del Huasco, encontré también acumulaciones de nieve hasta de 1 m. de espesor proveniente de los temporales habidos en invierno.

Las grandes quebradas, como la de Tarapacá, conducen en los meses de verano grandes cantidades de agua que de vez en cuando llegan a inundar estensas rejiones de la Pampa del Tamarugal.

Las únicas observaciones meteorológicas exactas se refieren solamente a los últimos años; el resultado (espresado en mm.) se da en las listas siguientes:

(1) L. RISOPATRÓN.—«La línea de frontera con la República de Bolivia».—Santiago. 1911. p. 193.

Ollahue 3.900 ms.

Meses.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Total.
1913	16,5	17,4	5,5					3,0			24,0		66,4
1915	8,0	33,0	2,0								20,0		63,0
1916	47,0	58,5							5,0				110,5
1917	31,0	6,0											37,0

Collahuasi.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Total
1915	10,7	94,8	5,3			9,1	0,3			2,6			122,8
1917		57,1											57,1

Aunque estas cantidades no son muy grandes, son siempre capaces de dar origen a corrientes de agua subterránea, máxime si se toma en cuenta la enorme extensión que en el Norte ocupan las alturas superiores a 3.500 m.

Como las precipitaciones atmosféricas se limitan a la zona de las cordilleras altas, debemos buscar el origen del agua subterránea en esas regiones altas, aun cuando la encontremos en las planicies relativamente bajas como en la Pampa del Tamarugal.

III.—Agua subterránea sin presión i agua artesiana

El agua de lluvia que se infiltra en un suelo permeable, desciende en éste hasta llegar a una capa impermeable, se acumula sobre ella i la sigue, obedeciendo a las mismas reglas que el agua que se escurre en un río. Se estanca ante los obstáculos i al fin rebalsa, mientras la capa permeable no se cubra con otros estratos impermeables, no hai presión hidrostática; la superficie del agua representa un plano suavemente inclinado hacia la región de escurrimiento, el que se manifiesta de dos maneras: ya sea en forma de

vertientes o en forma de filtraciones en el fondo del mar.

En este caso hablamos de una corriente de agua subterránea sin presión; en un sondaje que cortaría tal clase de agua, ésta no subiría más allá de su nivel original.

Bien distinto es el caso cuando las capas permeables que contienen el agua, se cubren con otras impermeables; el agua entonces rellena enteramente la capa permeable, sin poder subir más allá de la capa impermeable superpuesta. Se produce así cierta presión hidrostática que depende de la altura en que se encuentra la región de infiltración. Cuando por medio de un sondaje se perfora la capa impermeable superior, el agua sube por éste hasta donde le permite la presión i frecuentemente salta con gran fuerza del sondaje. Tales corrientes subterráneas se llaman artesianas.

a). LAS CORRIENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA SIN PRESIÓN, EN EL NORTE.

1) *Corrientes de los valles.*

A causa de la gravitación, el agua de las lluvias se acumula en las partes más bajas del terreno. En los valles, una parte escurre superficialmente en forma de esteros, pero debido a la escasa cantidad de las lluvias del Norte, jeneralmente éstos, muy luego se sumen en el suelo formado por las arenas i rodados que durante las creces de los ríos se depositaron. Por evaporación se pierde también una parte considerable del

agua; pero la que se infiltra en el suelo, sigue por el fondo del valle formado por los sedimentos fluviales muy permeables. La capa inferior impermeable la constituyen las rocas fundamentales muy duras y generalmente poco permeables. Tales corrientes se llaman agua subterránea de los valles.

El agua que del modo descrito se sumió en el fondo del valle, vuelve a veces a la superficie por causas naturales. En las regiones donde el valle se estrecha, la capa de cascajo que conduce el agua disminuye en extensión y profundidad y no es capaz entonces de contener toda el agua, la que sale a la superficie en forma de vertiente. En general, estas vertientes se encuentran situadas en el lecho seco del río, por cuanto éste representa la parte más profunda del valle.

Ejemplos de esta clase de vertientes los observé en Noviembre, la época más seca del año, en la Quebrada de Coscalla; más o menos 20 ms. valle arriba de cada angostura brotaban en el lecho, que no contenía ni una gota de agua, numerosas vertientes, las que formaban un pequeño estero; pero apenas pasada la angostura, el agua volvía a sumirse en los rodados del valle.

Naturalmente no todos los valles presentan condiciones tan favorables que indiquen directamente la existencia de una corriente de agua subterránea en su fondo. La mayor parte de ellos tienen un fondo demasiado ancho para obligar al agua a salir a la superficie. Pero se puede presumir la existencia de una corriente subterránea cuando se trata de valles importantes que tienen su origen en las altas serranías, donde la cantidad de las lluvias es relativamente grande. La cantidad de agua que conduce una corriente

de esta naturaleza depende de la extensión que en la zona alta tiene la hoya hidrográfica donde caen las lluvias. Con frecuencia se puede observar en las partes más altas un pequeño estero que corre durante todo el año; tal caso puede considerarse como favorable para encontrar agua subterránea más abajo en el valle seco.

Para aprovechar el agua subterránea de los valles hai varios métodos. El que da resultado inmediato es la ejecución de sondajes; pero como el agua no tiene presión, será preciso elevarla por medio de bombas o por otros métodos más primitivos, lo que siempre tiene sus inconvenientes.

Los gastos de elevación del agua por medio de máquinas pueden evitarse a veces, si se capta ésta por galerías de filtración o de drenaje. Pero antes de empezar con tales trabajos, es indispensable ejecutar sondajes preliminares para saber qué cantidad de agua puede extraerse i a qué profundidad se halla el agua.

Solamente pueden construirse galerías en rejiones donde el suelo del valle tiene gran declive, a fin de que éstas lleguen pronto al nivel del agua.

Tanto para los sondajes como para las galerías es preferible elejir las partes más estrechas del valle, porque teniendo la corriente en estas partes menor extensión horizontal tiene al mismo tiempo mayor velocidad.

En Estados Unidos se ha usado un procedimiento mui interesante: cuando por medio de sondajes i ensayos de bombeo se ha comprobado la existencia de una corriente de agua subterránea de cierta importancia, se ejecuta entonces una escavación normal a la dirección del valle, la que se profundiza has-

ta alcanzar las rocas fundamentales que encajonan el valle. En seguida se rellena esta escavación con una capa impermeable, con arcilla por ejemplo; esta capa impermeable constituye un cierre para la corriente subterránea. El agua se estanca entonces ante la valla i sale a la superficie donde es captada mediante canales de regadío.

Es probable que en Antofagasta i aún más al norte, no existan corrientes subterráneas tan importantes que permitan la aplicación de este método; pero más al sur, en la provincia de Atacama, es posible encontrar numerosos puntos adecuados para la ejecución de estanques subterráneos, como el anteriormente descrito.

2) *El agua subterránea en la Pampa del Tamarugal.*

Hace ya mucho tiempo que se conocela existencia de una cantidad considerable de agua subterránea en el subsuelo de la Pampa del Tamarugal, pues numerosas oficinas salitreras tienen sus pozos de agua en dicha pampa, jeneralmente a corta distancia de la Cordillera de la Costa.

Hemos visto que en el norte debemos buscar siempre el oríjen del agua subterránea en las rejiones más altas, pues es allí donde solamente caen lluvias. La gran corriente de agua subterránea de la Pampa del Tamarugal también tiene su oríjen en la misma rejión. Durante los meses de sequía descienden por las quebradas de los Andes numerosas aunque pequeñas corrientes de agua subterránea. Pero en la época de las lluvias del verano, las quebradas conducen grandes

cantidades de agua i algunas, como la de Tarapacá que en otros meses se encuentran enteramente secas, se trasforman en torrentes peligrosos. Estos torrentes todos los años alcanzan a salir de la cordillera misma i de vez en cuando inundan toda la Pampa hasta la región de las oficinas salitreras.

La mayor parte del agua se infiltra en el suelo de la Pampa i en especial en su parte oriental que es mui permeable. Como la superficie de la Pampa tiene un declive mui pronunciado hacia el oeste, que se conserva también en las capas del subsuelo, el agua de filtración sigue a este declive hasta llegar a la cordillera de la Costa, donde se estanca para tomar luego dirección hacia el sur. Esta dirección N.-S. corresponde también a la inclinación de la superficie de la pampa; pero es mucho más pronunciada que la del E. al O. La inclinación N.-S. puede verse en la lista siguiente:

Altura sobre el nivel del mar

Negreiros.....	1.142 m.
Huara.....	1.085 »
Pozo Almonte.....	1.027 »
Pintados.....	976 »

La corriente de agua subterránea sigue también a esta inclinación N.-S., hecho que por lo demás, puede deducirse de las observaciones del nivel del agua subterránea. Estas observaciones fueron hechas por la *Delegación Fiscal de Salitreras* i comprobaron que el nivel del agua subterránea desciende de un modo continuo desde el norte hacia el sur.

La masa de agua que esta corriente arrastra debe de ser bastante grande; pero esta aseveración parece

contradecirse con el hecho de que muchos de los pozos se agotan en los períodos más secos. Este fenómeno se debe a la forma que tienen las diferentes corrientes parciales i para esplicarlo, debemos estudiar la superficie de la Pampa del Tamarugal, tal como se nos presenta hoi día.

En las cercanías de la Cordillera, de la Costa, donde se hallan los pozos de agua, el suelo consiste principalmente en arcilla; esta arcilla superficial se encuentra atravesada por numerosas fajas de arena que corresponden a las rejiones donde durante la inundación se movieron las corrientes principales de agua. Estas corrientes han sido las que arrastraron i depositaron las arenas, mientras que en las partes vecinas, donde el agua de la inundación casi no tuvo movimiento, se depositó el fango arcilloso mui fino que para ser arrastrado hasta allí no necesitó una corriente tan intensa como las arenas.

Después de cada inundación trascurren algunos años más secos i el viento se ocupa entonces en destruir parcialmente los sedimentos sueltos depositados por la inundación i los acumula en otras partes. Cuando más tarde se produce otra inundacion, las corrientes más fuertes pasan ahora por rejiones diferentes que las anteriores; las fajas de arena que se formaron en las inundaciones precedentes, se cubren en parte de arcilla. De esta manera es como las diferentes inundaciones hacen subir el suelo de la Pampa, pues los sondajes ejecutados en Huara i Pozo Almonte, han comprobado que hasta una profundidad mayor a 144 ms., el subsuelo de la Pampa del Tamarugal está constituido por las mismas capas que hoi día forman su superficie. Las fajas de arenas, que

pueden considerarse como los lechos secos de las corrientes principales de la inundación, forman en el subsuelo largos canales encerrados en una arcilla impermeable. Estos canales son los que conducen el agua subterránea i se comprende que el volúmen de agua que por ellos pasa es mui pequeño. Los pozos i sondajes jeneralmente cortan un sólo canal, o a lo menos mui pocos de ellos, hecho que explica la causa por qué los pozos se secan con cierta facilidad.

3) *Relaciones entre el agua subterránea i los salares.*

En jeneral en toda la extensión del Salar de Pintados el agua subterránea se halla a poca profundidad i en las partes pantanosas llega hasta la superficie.

El nivel elevado del agua en el Salar de Pintados se explica por el hecho de ocupar éste la parte mas baja de la Pampa del Tamarugal i al mismo tiempo a que el avance del cordón del Cerro Gordo, que más al sur sale de la rejión de Buena Ventura, estanca la corriente subterránea.

Es de importancia notar el hecho que el agua subterránea que se encuentra debajo del Salar de Pintados es de una calidad relativamente buena i que pocos metros más abajo de la costra de sal es de donde se saca el agua potable de Pintados. La Oficina de Aurrerá ha construído en las cercanías de Pintados varios pozos de unos 20 ms. de profundidad que producen alrededor de 10 litros por segundo. El agua que se obtiene es dulce i de mui buena calidad.

Sería de gran importancia llegar a establecer, en vista de la relación que hai entre el agua

subterránea i el Salar de Pintados, si todos los salares se han formado por la evaporación de aquélla. En efecto, hay muchos salares que deben su origen a la evaporación de las aguas superficiales de los esteros que desembocan (a veces solo temporalmente) en depresiones sin desagüe. Tal es el origen, por ejemplo, del Salar de Huasco situado en la alta cordillera al oriente de Pica, en el cual desemboca en los meses lluviosos el estero de Collacagua. Como este salar no tiene salida, el agua se estanca en él i luego se evapora debido a la gran sequedad del aire. El agua de dicho salar proviene también, en parte, de vertientes termales situadas en su borde occidental.

Sin embargo, debe existir debajo del estero de Collacagua una corriente de agua subterránea que corresponde a las del fondo de los valles. Se puede inferir la existencia de tal corriente del hecho que el estero, en los meses secos, se pierde mucho antes de llegar al salar, hacia el cual debe seguir en forma de corriente subterránea, la que seguramente, rellena las capas situadas bajo el salar hasta donde su permeabilidad lo permite. Esto explica que podemos encontrar agua dulce también debajo de los salares que, como el del Huasco, se han formado por la evaporación del agua de algún estero o río.

De lo anteriormente espuesto se puede deducir que debajo de la mayoría de los salares existe agua subterránea en mayor o menor cantidad, pero no se puede establecer *a priori* si ésta es dulce o salada, cualidad que depende en gran parte de la rejión de infiltración.

En las partes más altas cae anualmente tal cantidad

de lluvias que son suficientes para lixiviar los suelos de manera que éstos no contendrán gran cantidad de sales. Por consiguiente, el agua de los esteros que más tarde se infiltra en el suelo, contendrá relativamente pocas sales. Pero en valles como el del río Salado, afluente del Loa, en que el agua tiene su origen en vertientes termales salinas, no habrá gran probabilidad de que existan corrientes subterráneas de agua dulce.

En numerosos salares situados en las pampas i cordilleras argentinas, el señor *Stelzner* (1) encontró capas de agua dulce a unos 6 metros debajo de la costra de sal. Mui interesante es también el hecho de haberse encontrado agua dulce debajo de un río de agua salada.

El señor *Darapski* (2) dice haber encontrado agua dulce en el fondo de los salares situados en el departamento de Taltal i agrega que en las orillas de las lagunas en ellos ubicadas el agua es solo algo salobre.

4) *Corrientes de agua subterránea en llanos longitudinales parecidos a la Pampa del Tamarugal.*

Al sur de San Pedro de Atacama existe un extenso valle longitudinal parecido a la Pampa del Tamarugal: este es la planicie ocupada por los salares de Atacama, Imilac i Punta Negra.

La situación de estos salares es mui parecida a los de la Pampa del Tamarugal pues se hallan directa-

(1) STELZNER: «Beitraege zur Geologie und Palaeontologie der Argentinischen Republik». I. Pág. 301.

(2) DARAPSKI: «Das Departament Taltal». Pág. 91.

te al pié oriental de la Cordillera Domeyko i desde ellos el suelo sube con inclinación suave pero pronunciada hasta el oriente. Las cordilleras orientales están formadas por montañas mui altas de orijen volcánico i reciben una cantidad de lluvias i nieves mucho mayor que la Cordillera Domeyko.

De las altas serranías orientales descienden, en realidad, numerosas quebradas que conducen esteros de mayor o menor estensión, como las quebradas de Guanaqueros, Zorras, Zorritas, Tocomar, etc. Desde el sur i como arroyo más importante viene el Río Frío que tampoco alcanza a llegar, corriendo por la superficie, hasta la rejión de los salares, sino que mucho antes se sume en el suelo permeable. Las aguas de estos esteros son, en parte, de relativa buena calidad como las del Tocomar que contienen 0,75 gramos de sales por litro. En parte también contienen agua salada como la quebrada de las Zorras con 3,3 gramos por litro (1). El agua de esta última quebrada proviene de vertientes termales desde las cuales sale cargada ya de sustancias salinas.

Una parte de esta agua se infiltra, desciende hacia el oeste como corriente subterránea i se estanca ante la Cordillera occidental donde se han formado los grandes salares. Lo mismo que en el de Pintados, es del todo probable que se halle debajo de estos salares, que en partes contienen rejiones pantanosas i aun lagunas, una considerable cantidad de agua subterránea de bastante buena calidad. Según veremos más adelante, no estaría escluída la posibilidad de encontrar agua artesiana en esa rejión, pues la oficina Augusta

(1) Según DARAPSKI: «Das Departament Talta!». Páj. 93.

Victoria de la Casa Gildemeister, en pozos escavados al E. del Salar de Punta Negra, encontró grandes cantidades de agua de mui buena calidad.

b). AGUA ARTESIANA.

1) *En los conos de rodados.*

Estudiando más detenido la superficie de la Pampa del Tamarugal, observaremos que desde la desembocadura de las quebradas que descienden de la Cordillera de los Andes, se estienden numerosos conos de rodados de gran superficie. La formación de estos conos es debida a que los esteros se ensanchan i pierden velocidad al salir de los estrechos cajones de la Cordillera i no pueden, por lo tanto, seguir trasportando los grandes rodados, los que entonces se depositan. Finalmente, en las cercanías de la Cordillera de la Costa, estos esteros son sólo capaces de arrastrar las arcillas i arenas finas. Esto esplica la reducción paulatina, que se observa de E. a O., del tamaño de las piedras i arenas depositadas i esplica también el hecho de que en la parte occidental de la pampa prevalezcan sólo las arcillas.

Hemos visto que los sondajes ejecutados en Huara i Pozo Almonte han comprobado que las condiciones bajo las cuales se depositaron los primeros 140 ms., fueron las mismas que actualmente siguen en dichos puntos. En caso que la rejión de infiltración tenga la suficiente altura sobre el suelo occidental de la Pampa, en la corriente subterránea se producirá una pre-

sión hidrostática capaz de hacer rebalsar el agua en los sondajes situados en la zona salitrera. La existencia de tal presión es posible, por cuanto al occidente las capas permeables se hallan intercaladas entre otros estratos impermeables, lo que constituye la condición esencial para la existencia de presión artesiana.

Esta clase de agua artesiana hasta ahora no se conoce, porque los sondajes ejecutados en la Pampa del Tamarugal no tienen profundidad suficiente. Pero en Arjentina, el señor Dr. *Stappenbeck* ha alcanzado éxitos mui notables con sondajes hechos en los conos de rodados.

Sin embargo, el señor *Billinghurst* (1) refiere un caso mui interesante de un sondaje ejecutado en La Tirana, pueblo situado al S.E. de Pozo Almonte. Según este caballero, en el año de 1890 se hizo una perforación que alcanzó 150 m^s. de profundidad. El terreno perforado se componía de capas superpuestas de arena i arcilla. Las capas de arcilla variaban de espesor, desde 1,50 m. hasta 2 ms. i las de arena tenían aproximadamente solo 30 cms.

A los 36 ms. se encontraron trozos de madera de tamarugo en estado semifósil, i restos de envases de greda trabajados por los aboríjenes, lo que indica que en la Pampa del Tamarugal aun hoi día existe, en escala importante, la acumulación de sedimentos.

A los 66 ms. se hallaron rodados de traquita (se trata probablemente de liparitas) i a los 105 ms., rodados de granito, de pórfido i sienita.

Hasta los 144 ms. de profundidad, cada vez que el

(1) BILLINGHURST: «Irrigación por medio de Pozos Artesianos».—Sociedad de Ingenieros del Perú. Memoria. N.º 13.

taladro, después de perforar una capa de arcilla, tocaba una de arena, el agua ascendió por el tubo en unos 18 ms., pero jamás logró salir a la superficie.

Cuando el sondaje llegó a 120 ms. de profundidad, encontró allí suficiente presión, pues el agua surgió durante 45 minutos, como metro i medio sobre el nivel del suelo. Pero continuando la perforación, el agua cesó de surjir. A los 158 ms. se rompió el taladro i se abandonó la perforación.

Es sensible que el señor *Billinghurst* no hable de la calidad ni de la temperatura del agua. El hecho que el agua que surjía desde 120 ms. de profundidad, haya desaparecido, se explica fácilmente, por cuanto la continuación del sondaje le puede haber abierto una salida más fácil hacia una capa permeable situada debajo de la capa acuífera.

De todos modos, este sondaje descrito por el señor *Billinghurst* puede considerarse como un indicio de que también existe agua artesiana debajo de la Pampa del Tamarugal. Por lo tanto, es de recomendar la ejecución de una serie de sondajes de unos 300 a 500 ms. de profundidad para poder esplotar la riqueza que oculta el subsuelo de esa rejión.

Hemos visto ya que en el gran valle longitudinal situado al sur de San Pedro de Atacama existen condiciones jeológicas parecidas a las de la Pampa del Tamarugal. En dicho valle, desde la parte oriental hasta las serranías más altas, existen casi exclusivamente sedimentos volcánicos mui permeables, por los cuales se infiltra probablemente la mayor parte de las precipitaciones atmosféricas. La situación de esta rejión de infiltración es mucho más alta que la altura de los salares de Atacama, por consiguiente es posible

que debajo de estos salares exista también agua artesiana.

No puede saberse de antemano la calidad del agua artesiana, pues los sondeos hechos en Argentina han encontrado tanto agua salada como agua dulce. Pero en jeneral, se puede decir que si la rejión de infiltración se halla en las altas serranías, la probabilidad de encontrar agua dulce es bastante grande.

2). *Agua artesiana de Pica* (1)

Las numerosas vertientes que brotan en los alrededores de Pica, indican la existencia de una gran corriente de agua subterránea. Como el agua sale a la superficie con una temperatura de 30 a 33° C, debe provenir de una profundidad bastante grande i como no contiene gases (como el CO₂) a las cuales pudiera atribuirse su ascenso a la superficie, debe tratarse de una corriente de agua artesiana.

El orijen de esta corriente se comprende al contemplar la morfología de la Cordillera de los Andes situada al oriente del pueblo de Pica. Mirando desde la estación de Pintados hacia el oriente, se ven en el norte las festoneadas crestas de la Serranía de Yarbicolla o Coluntucsa que se elevan a 5,180 ms. de altura. Hacia el sur descende la cordillera a 4.000 ms. i sigue con esta altura por más de 30 km. de largo formando la pedregosa altiplanicie de los «Altos de Pica». Más al sur de la Quebrada de Alona, único valle que atra-

(1) Una descripción detallada de las vertientes i galerías de agua de Pica se halla en: BRÜGGEN. «Informe sobre el agua subterránea de la rejión de Pica». *Bolet. Soc. Nac. Minería*, 1918, p. 305-35 i 372-407.

viesa los «Altos», vuelven nuevas serranías: los cerros de Chacarilla.

Los Altos de Pica están formados por una serie de tobas i lavas liparíticas que probablemente alcanzan más de 500 ms. de espesor i que, según observaciones que pueden hacerse más al occidente, descansan sobre gruesas capas de arenas i rodados. Tanto la interrupción de las altas serranías que se observa en los Altos de Pica como las grandes acumulaciones de rodados fluviales, indican que en la época del Terciario bajó por esa rejión un ancho valle que después fué rellenado en su mayor parte por las lavas i tobas liparíticas. Por los rodados o conglomerados poco cimentados que alternan con capas arcillosas impermeables, descende la gran corriente de agua artesiana que da origen a las numerosas vertientes de la rejión de Pica i Chintaguay.

En esta rejión se han reunido varias condiciones mui favorables a las cuales se debe la formación de agua artesiana. Tenemos primero un sistema de estratas constituído por la alternación de capas permeables e impermeables que a causa de la depresión tectónica de la Pampa del Tamarugal adquirió el declive necesario para la formación de la presión hidrostática.

Es sensible que en las rocas mesozóicas del norte del país no haya probabilidad de encontrar agua artesiana, pues consisten en su mayor parte de porfiritas i conglomerados porfiríticos que por sí mismos son poco permeables. Además, frecuentes macizos dioríticos interrumpen las capas estratificadas, de modo que aún en el caso de existir un estrato apto para conducir agua subterránea, éste no tendría extensión suficiente para que se formara una corriente de agua artesiana.

Por esto hai probabilidad de encontrar tal agua artesiana, sólo en aquellas partes en que se reunan condiciones semejantes a las de la rejión de Pica. La jeología de la zona que se estiende al norte de Pica, hasta Tacna, puede decirse que es completamente desconocida.

Los alrededores de las quebradas de Tarapacá i Coscalla, que recorrí en viaje rápido, presentan una formación parecida a la de Pica; pero los rodados i las liparitas se hallan en jeneral a gran altura sobre el fondo de los profundos valles que las han cortado en todo su espesor i que profundizaron su lecho hasta las rocas plegadas del mesozóico. Con esto se ha destruído la capa que pudiera contener una corriente de agua artesiana.

Al sur de Pica existen condiciones parecidas en la falda occidental de los Andes de Huatacondo, pero también allí la erosión ha destruído en gran parte las capas que pudieran contener agua.

Más favorables parecen ser las condiciones jeológicas en la provincia de Antofagasta. Pero de esta rejión solo se conocen los rasgos jenerales de la jeología.

IV. Conclusiones.

En las provincias del norte de nuestro país existen diferentes clases de agua subterránea, que en vista del carácter de desierto de dichas provincias podrían explotarse con gran provecho, aun en el caso de conseguir solamente unos cuantos litros por segundo.

Las aguas subterráneas tienen su orijen en las precipitaciones atmosféricas que se producen en las par-

tes altas de la cordillera. Por esto son más favorables los valles que tienen su origen en esa rejión alta.

Puntos donde la presencia de agua es mui probable, son los salares, pues debajo de éstos jeneralmente se halla agua de calidad bastante buena i con frecuencia a poca profundidad.

Agua artesiana puede esperarse sólo en rejiones de una constitución jeológica parecida a la de Pica. Pero también en los grandes conos de rodados que relleñan los estensos valles longitudinales como el de la Pampa del Tamarugal i el llano situado al sur de San Pedro de Atacama, hai probabilidad de encontrar agua ascendente.

En jeneral, podemos decir que la tarea de buscar agua subterránea puede dar resultados satisfactorios, siempre que se tome como base un estudio jeológico de la rejión.

Estudios de esta naturaleza revisten especial importancia para la zona norte del país i formarían parte del programa de trabajo cuya realización debería encomendarse a un Servicio Jeológico dotado del personal competente necesario i de los elementos de trabajo indispensables. Por esto quiero aprovechar esta oportunidad para insistir, una vez más, sobre la urgencia que hai en crear el Cuerpo de Ingenieros de Minas i el Servicio Jeológico anexo. Se podría tomar como modelo la Dirección de Minas, Jeología e Hidrología de la República Arjentina que en 1915 contó con 21 máquinas perforadoras, de las cuales 16 tenían un poder de perforación de 500 i más metros. Todas estas máquinas se destinaron a los trabajos de buscar agua subterránea.