
Hidrogeología

El agua subterránea en la República Argentina

AUGUSTO TAPIA

NACIDO EN Bs. AIRES en 1893. Geólogo y geógrafo —especializado en hidrogeología—, es actualmente profesor titular de geografía económica y política argentina y de geografía física argentina en la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad de La Plata. Director del Instituto de Geografía de la misma universidad. Se graduó en la Escuela Agronómica de Santa Catalina (dependiente de la Universidad de La Plata) en 1912. En 1913 viajó a Europa. En 1914-15 tomó parte en una campaña de exploración y mensura del territorio de Formosa bajo la dirección de su padre, el Ing. Pastor Tapia. En 1924 inició su labor docente en el Colegio Militar, donde permaneció hasta 1945. Ha realizado investigaciones y trabajos de campo durante 40 años en todo el país, inclusive la Antártida argentina. Autor de numerosos trabajos. Desempeñó funciones técnicas oficiales.

SI lográramos elevarnos a las altas capas de la estratósfera en el orden de los trescientos kilómetros y con ello también la visión permitiese abarcar el área continental comprendida entre los 22° y 56° sur, que son los extremos latitudinales en que se desarrollan los territorios de Argentina y Chile, los extremos meridionales de Bolivia, Paraguay y Brasil e íntegramente el Uruguay, nos sería dado, en la extraordinaria panorámica, apreciar el desarrollo de tres grandes áreas de morfología distinta: la *primera* en el poniente, con los Andes, ancha y compacta por la agregación de distintas estructuras en la latitud del paralelo 22° (Chile-Argentina-Bolivia), comprimido por intenso plegamiento en el oeste, con frecuente fracturación marginal y bloques aislados en el antepaís oriental y surcado por valles longitudinales entre los paralelos 28° y 33° (Chile-Argentina) y adelgazado en el resto, con abras y valles transversales en la Cordillera Patagónica predominantemente chilena.

En todo su largo, el gran encadenamiento de la Cordillera Principal de los Andes mostraría hasta el Océano Pacífico una angosta y empinada pendiente que recorta la rectilínea costa marítima cuyo paralelismo a las montañas destacarían dos marcadas desviaciones en el rumbo norte-sur, hacia el NO, entre Antofagasta y Arequipa —que también siguen las demás sierras linderas con el Chaco— mientras que en su extremo austral el fuerte arqueamiento al SE y E de la Cordillera Fueguina, sepultándose en el Atlántico Sur, buscaría sus conexiones con los Andes polares (Antartandes). Así lo indicaría, ya fuera de la visión estratosférica, la guirnalda de islas que vincula Sur Georgia, Shetland y Orcadas del Sur con la Tierra de Graham (Península Antártica) y que con propiedad y por similitud estructural con el Mar de las Antillas se denomina “Arco de las Antillas Australes”.

La *segunda* área en el centro y con mayor amplitud, corresponde a las tierras bajas, llanuras y planicies, que bajando desde las montañas andinas en toda su longitud, aparecen delimitadas en el naciente por los grandes ríos Paraguay, Paraná y Plata, que siguen líneas de fallas, y a continuación la irregular costa con ensenadas, golfos y penínsulas, suaves algunas y acantiladas e inaccesibles las más, que la abrasión en partes modifica de centuria en centuria demostrando el activo trabajo que cumple el oleaje y las extraordinarias mareas, sobre todo en la Patagonia austral.

La *tercera* en el naciente (NE), entre el río de la Plata y el Atlántico, con el relieve ondulado y chato de las “serriñas”, “planaltos” o “taboleiros” y cuchillas brasileño-uruguayas.

CUENCAS NEÓGENAS DE HUNDIMIENTO Y SEDIMENTACIÓN.

Este esbozo de ubicación de los tres ambientes cuya morfología tiene su explicación, además del desarrollo y conexiones de las distintas estructuras geológicas sudamericanas, por la intervención de una serie de hechos paleogeográficos que no es del caso considerar, nos permitirá indicar en sus grandes líneas la aproximada posición y edad de los receptáculos (desde luego referidos a las acumulaciones marinas y terrestres o ambas a la vez que los rellenaron, los movimientos tectónicos que los afectaron así como las condiciones paleoclimáticas y actuales determinantes del aporte hídrico) y con ello referir las condiciones hidrogeológicas reinantes en los principales yacimientos del

HIDROGEOLOGIA

agua subterránea que corresponden a las *cuencas neógenas de hundimiento y sedimentación*.

Si para ello recurriéramos ahora a la observación de un mapa geológico conjunto de la Argentina, por ejemplo el de la Dirección Nacional de Geología y Minería en escala 1:2.500.000, e idealmente, para retroceder en el tiempo, procediéramos a eliminar en la Patagonia, solamente la cubierta sedimentaria y eruptiva cuartaria como son los escoriales basálticos, las Areniscas Rionegrenses, los Rodados Patagónicos, las acumulaciones morénicas y sedimentos eólicos, que en delgada cubierta aparece en valles y pampas del pie de la cordillera, el cuadro hidrológico sería sencillamente espeluznante. Si actualmente la Patagonia, fuera de las zonas de riego, es una región que marcha velozmente hacia la desertización, entonces, en los tiempos preglaciales era, desde la costa hasta la cordillera y desde Tierra del Fuego por La Pampa hasta Mendoza, hidrogeológicamente hablando, un *desierto de sal*.

Con el desmantelamiento de la cubierta de los sedimentos modernos "plio-pleistocenos" de las tres grandes regiones indicadas y sin considerar los factores que contribuyeron a su formación (exondación) así como a su posterior rellenamiento, tendríamos sucesivamente a nuestra vista lo siguiente: En la región montañosa del oeste y hasta confundirse con la del centro de llanuras y planicies, aparecerían una sucesión de valles longitudinales más o menos paralelos y cuencas intermontanas, también alargadas en el rumbo submeridional, por cuanto varios de sus umbrales que actualmente las separan y dan el aspecto circular o elíptico (bolsones) también desaparecen con el desmantelamiento. Así veríamos en un vertiginoso viaje desde el límite natural con Bolivia y Chile en el norte a través de la frontera artificial con Chile en Tierra del Fuego y en la zona montañosa del oeste, lo siguiente:

1) Desaparecerían totalmente en el altiplano de la Puna los lagos, salares y borateras, ya que las cuencas donde se sitúan se deben a la presencia de los sedimentos y rocas "plio-pleistocenas", a la acción erosiva de los glaciares, a la sedimentación consecuente y al neo-vulcanismo.

2) Extraordinariamente agrandados el *Bolsón del Arenal* y su prolongación septentrional en los valles calchaquíes de Santa María, Cafayate y Tolombón en Catamarca y Salta, ya que desaparecerían los espesos "Estratos Araucanos", fosilíferos que en gran área los re-

llenar pero no los del "Santamarianense" infrapuesto y los "Estratos Calchaqueños" en el resto.

3) Desaparecería también el llamado *Bolsón de Andalgalá* (Catamarca) ya que son los mismos estratos pliocenos de 2.500 metros de espesor que cierran sus primitivas conexiones orográficas con los valles del Velasco en el sur y sureste entre Aimogasta y Mazán por donde actualmente el río Abaucán (Colorado-Salado) sale a los llanos en La Rioja. Parecida suerte correría el *Bolsón de Fiambalá*, situado más al oeste en Catamarca por cuanto además los afloramientos del "*Basamento Cristalino*" del sur de Tinogasta en Copacabana evidencian su conexión y desagüe hacia el valle longitudinal de Piluil-Catinzaco que limitan la cadena de Paimán-Chilecito y el flanco occidental del macizo de Velasco.

Pero mientras el desmantelamiento de los sedimentos "plio-pleistocenos" referidos, provocaría también un extraordinario agrandamiento del *Bolsón de Fiambalá* como región de cabeceras, en el sur al terminar el valle de Catinzaco (La Rioja) en que aquéllos no existen, se cerraría su drenaje. En este extremo austral del Velasco y con mayor espesor que su afloramiento actual que llamo "Umbral de los Colorados de Patquia", exclusivamente formado por las areniscas rojas de Paganzo, cierran aún el drenaje de la gran cuenca que solamente en la provincia de La Rioja tiene 6.017 Km². y con alturas decrecientes entre 1.280 y 800 m. sobre el nivel del mar.

4) Más al sur aún, pasando el "Umbral de los Colorados" se abre la cuenca neogena de hundimiento y sedimentación que denominé "de Mascasin" cuando años atrás (1941-42) realizara los estudios e investigaciones hidrogeológicas en la provincia de La Rioja. Esta cuenca sin desagüe que ocupa los Llanos tradicionales con una superficie estimada en 8.650 Km²., altura media de 630 m. sobre el nivel del mar, pendiente de E a O y de NO a SE, se desarrolla circunvalada por las vertientes de las sierras de Minas, Chepes, cordón de Orcobola y las de Paganzo, Cerro Blanco, Valle Fértil y de la Huerta.

5) Para dar fin a la referencia en la zona andina, nos trasladamos para observar las consecuencias del ideal desmantelamiento en el ambiente serrano del pie oriental de la Precordillera tan solo entre San Juan y Mendoza. Desaparecen totalmente los bolsones de Tulúm, cuenca de Guanacache, valle del Tunuyán y otras más al Sur de las llanuras de La Pampa y Río Negro.

HIDROGEOLOGIA

La Patagonia austral presentaría una excepción como es la *Cuenca Magallánica* en Santa Cruz, donde si es verdad que participan en ella capas más antiguas, como son las del "Santacruzense" del valle de Río Gallegos y sus altos tributarios, no es menos cierto que tanto el acarreo glacial "pleistoceno" como los basaltos y pre y post glaciales también participaron en su desarrollo final. Por la naturaleza y potencia de las capas de su fondo y las favorables condiciones climáticas del pasado y actuales persistió incontaminada dentro del *desierto de sal* entre el pie de la Cordillera y la costa atlántica ya que corta diagonalmente Santa Cruz y Tierra del Fuego.

Consideremos ahora una sola fracción dentro de la gran área de las tierras bajas de la *segunda* región como es la llanura bonaerense pero utilizando además del mapa geológico también el topográfico. Como para *poder ver* a través de las potentes capas, exclusivamente sedimentarias, terrestres y predominantemente marinas, tendríamos que recurrir a perfiles de perforaciones realizadas, asunto engorroso que no es el caso utilizar, vamos a tentar la restitución de las condiciones hidrogeológicas de la profundidad pero solo con algunas referencias de su exploración.

La sección geológica de rumbo norte-sur sigue el meridiano 58°30' oeste de Greenwich. Entre los paralelos 34°30' roza al Gran Buenos Aires y Colonia en el Uruguay y a los 37°40' el frente septentrional de Tandilia entre la ciudad de Tandil y Balcarce. Tanto el mapa topográfico como el geológico mostrarían solamente algunos rasgos morfológicos pequeños pero muy llamativos.

En el norte la cuenca del Riachuelo, reducidos afloramientos de la *formación pampeana* con un encostramiento calcáreo en sus barrancas, que la erosión recorta en todas partes en la cota de los diez metros a nivel del mar, como vieja superficie originada en clima árido y que la evaporación de un primer nivel freático en su movimiento de convección determinara y no como capa guía. En el plano aluvial arcillas azuladas y gris verdosas, arenas amarillentas de fina y marcada estratificación diagonal, con bancos conchilleros en sus bordes, caracterizan una terraza de delta. Ambos depósitos correspondientes a la "ingresión querandí", documentan la última oscilación post-glacial. En el centro el ancho plano aluvial e inundable del valle del río Salado con sedimentos lacustres del llamado *Lujanense* constituido aquí por arcillas calcáreas, a veces gredosas con rodaditos y concreciones de

limonita de un color conjunto rojo encendido y rosado verdoso, en parte cavernoso y groseramente estratificado. En retazos y sobre él las inconfundibles arenas y arcillas oscuras y depósitos aluviales actuales con alguna delgada cinta de ceniza volcánica del "querandinense". Ambas capas siempre rellenan cuencas con o sin desagüe, a veces muy amplias donde comienzan a verse frecuentes deformaciones y verdaderas fallas que provocan el asomo de capas más antiguas con areniscas claras y friables.

En todo el ámbito que estamos considerando y que transversalmente recorre el perfil, exceptuando las zonas más altas de la llanura, hasta donde no ha penetrado el mar, o donde no existen rajaduras o fallas que provoquen el ascenso de aguas de la profundidad, las contenidas en los niveles freáticos del "pampeano" como de las arenas del "Puelchense" infrapuestas, pueden entregar aguas potables; pero en general esta es una región condenada para el hallazgo de fuentes aprovechables por el predominio de aguas saladas que principalmente las circunstancias indicadas provocan percolando a través del "marino" del techo o ascendiendo por fallas desde su lecho; es decir que estamos en presencia de un "sandwich hidrológico".

En el extremo sur del perfil aparece el primer afloramiento del *basamento cristalino*, las rocas antiguas que con cubierta neopaleozoica o sin ella acusa la presencia de una importante falla diagonal al rumbo pero transversal a la estructura de este tronco de montaña que de ES a NO y arrancando de Mar del Plata pasa por Olavarría y torciendo hacia el Oeste sigue la Cuenca de Guaminí-Carhué se interna en La Pampa. Es claro que frente al *damero de fallas* de distinto rumbo y rechazo que muestra toda la cadena de Tandilia se infiere que esta dislocación principal que mira a la cuenca del Salado, no ha de ser la única. En efecto si ahora "*entramos con las observaciones*" a la profundidad y hasta los 4.000 m. tendremos lo siguiente:

En el dorso del bloque de las rocas graníticas que nos vincula con el Uruguay en la latitud indicada Buenos Aires-Colonia por una parte y con La Pampa por la otra, desde el suelo en 20 ó 30 m. sobre el mar, en la Capital Federal, los sondeos hechos tocaron dichas rocas en los 200 m. de profundidad; en la cuenca del Riachuelo a 300 y 700 en Puente Alsina y Cañuelas respectivamente; en el eje de la cuenca de hundimiento, en las orillas del Salado en General Belgrano se sobrepasó los 4.000 m. donde Y.P.F. se quedó colgado en la explo-

HIDROGEOLOGIA

ración en areniscas pardo rojizas sin tocar el cristalino. Sus bloques vuelven a ascender formando el escalón del Azul para trepar a la cadena, fracturados en igual modo en la longitud indicada. Vale decir que el subsuelo profundo se comporta como un "graven" o fosa tectónica similar al perfil estudiado por Stappenbeck a través de la *cuenca del Paraná*, estructura ésta que podrá repetirse también en la cuenca de Bahía Blanca entre la Sierra de la Ventana y San Antonio Oeste.

INFLUENCIA DEL COMPONENTE GEOLÓGICO EN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Las consecuencias del proceso tectónico indicado pueden concretamente establecerse en lo siguiente:

1º) Penetración profunda del "mar entrerriano" que sedimentara los horizontes "Rojo" y "Verde" en orden de antigüedad transformando Tandilia y Ventania en una gran isla. Con más de 1.000 m. de espesor de arenas glauconíticas en el desagüe del Salado, en el Puesto del Bote; sumamente adelgazados en la cuenca de Guaminí, en Carhué, con solo 300 m. Aquí una placa de marga rojiza y el resto con fangos verde azulados sobre el basamento, fué el resultado de un sondeo efectuado por la Dirección de Hidráulica de la Provincia.

2º) El ascenso regional que siguió y durante la regresión arrasó en un plano las capas del "Entrerriano" que con otras más antiguas tal vez triásicas cubren al basamento cristalino, mientras que la erosión consecuente, aquí como en la órbita de la Cuenca del Paraná, promovió el transporte y sedimentación de las "Arenas Puelchenses", procedentes de la destrucción del gran cuerpo eruptivo de Serra Geral brasileño - paraguayo - argentino - uruguayo, ya que el preponderante aporte de rodados de cuarzo, calcedonia y los mismos meláfiros que distinguen al "Puelchense", controlan su procedencia.

Entre estas arenas que constituyen el más importante cuerpo hídrico de las llanuras argentinas (Chaco-Pampeanas) y las capas marinas del "Entrerriano" infrapuestas que es el enemigo terrible por las aguas saladas que contiene, se interpone en forma universal un delgado diafragma de arcilla gris azulada cuyo origen cierto se desconoce completamente. Por encima de dichas arenas se desarrolla el cuerpo sedimentario de limos pampeanos cuya porción inferior, el llama-

do "Ensenadense", calcáreo y a veces también muy arcilloso, las cubre en forma total, Áreas de extensión extraordinaria, mil kilómetros de Formosa a Bahía Blanca y quinientos en promedio entre las Sierras Pampeanas de Córdoba y valles interiores de La Pampa, hasta el Paraná y estuario del Plata y costa marítima entre Mar del Plata y Bahía Blanca, también representa una incógnita litogénica que nadie ha despejado no obstante los numerosos trabajos que la bibliografía acusa.

En la *tercera región* el desmantelamiento teórico de los sedimentos modernos sólo abarca el área que se encuentra al oeste del gran pilar tectónico brasileño-paraguayo-argentino-uruguayo, que con los meláfiros aflorantes pasa a la Argentina formando los rápidos de Apipé, sigue diagonalmente por Curuzú Cuatiá y termina al sur de Concordia sobre la margen derecha del Uruguay.

Al poniente de este afloramiento de las rocas eruptivas de Serra Geral que limita la importante falla, aparecería una escarpa de unos quinientos metros de pared donde repetidas coladas de lava y bancos de areniscas rojas intercaladas como son las misioneras y correntinas de Mercedes y que también sorpresivamente afloran en el Chaco (Charata), formarían el pedestal sin agua o con aguas saladas. Por encima están seguidas por las capas marinas entrerrianas y las arenas color amarillento y ocre del Puelchense. Hidrogeológicamente quiere decir ésto: al Este, ciudades y campos sin agua subterránea como las misioneras, correntinas y entrerrianas así como las grandes estancias brasileras y uruguayas, mientras que al poniente del paredón, todo lo que se quiera en el recurso hídrico: aguas potables arriba y saladas abajo, y porque la formación infrapuesta llega también a aflorar sobre la misma barranca del Paraná la capital entrerriana, por estar sobre las capas marinas, tiene que abastecerse de su río.

Pero en esta región dos grandes ríos, el Paraná-Paraguay y el Uruguay son cursos de agua que tienen historias distintas en el pasado geológico. El primero fué seguramente tributario del mar entrerriano, ya fuera de nuestro territorio, mientras que el segundo aún no había nacido. Su comportamiento actual es también distinto.

El primero de norte a sur con el Plata, entra al mar sin intervenir para nada en la alimentación del subsuelo ya que por el contrario en todo el ambiente chaqueño el surco tectónico cuyo rumbo submeridional siguen tanto el uno como el otro, está recibiendo aportes desde el gran cuerpo de las Arenas Puelchenses. Hasta se supone que mu-

HIDROGEOLOGIA

chos de los bajos fondos y bancos de arena presentes en el río de la Plata se deben al aporte bajo presión de carga de dicha formación (Groeber, comunicación oral). Debe recordarse también que ya Stappenbeck había aseverado que el área frontal del sudeste de dichas arenas llegaban al mar hasta la zona de mezcla con las aguas del Plata que enfrenta al golfo de Samborombón y que más tarde el autor de este trabajo demostró que el río Salado era su neto límite austral y que una facies de areniscas y arenas arcillosas las reemplazaban lateralmente en los bolsones de La Brava y Copelina en Balcarce.

En cuanto al río Uruguay su comportamiento es distinto al del Paraná; mientras éste con sus 16.000 m³. por segundo se pasea indiferente a la alimentación del subsuelo, contaminado por aguas saladas de profundidad, el Uruguay erode el pilar tectónico de los meláfiro hasta más abajo de Concordia; su pendiente geológica y las Arenas Puelchenses con arcillas y areniscas cuarcíticas intercaladas con suave inclinación de 5° a 18° al Oeste están indicando que reciben su abundante aporte. Y es por ello que el río Uruguay al alimentar el subsuelo de la Mesopotamia es entre otros el factor que provoca la gran riqueza hídrica de las arenas citadas en la región austral de Entre Ríos.

LA GLACIACIÓN PLEISTOCENA Y EL APOORTE HÍDRICO.

Es sabido que tanto en los ambientes montañosos del país, con altos valles y planicies que los acompañan, desde la Puna hasta Tierra del Fuego y también en tierras de escasa altitud como son las planicies patagónicas —que penetran por el NO hasta Mendoza en las Guayquerías— la glaciación diluvial dejó evidentes rastros del transporte hecho por el hielo y el agua vinculados al gran cambio paleoclimático del Pleistoceno. La distinta acción dinámica de dichos agentes, además de los relictos de cuerpos de hielo de distintas magnitudes “heredados” y que se conservan en relación con la altitud, latitud y protección orográfica contra la ablación, la erosión y acarreo glacial, han dejado además otras huellas.

Grandes depresiones donde la exaración más el transporte y acumulación combinadas, prepararon el relieve que ocupan actualmente salinas, borateras y lagunas sin desagüe como son todas las existentes en el ambiente de la Puna en las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja: Pozuelos, Guayatayoc, Arizaro, Antofalla y Lagunas

Verdes y Brava, para citar las más conspicuas ubicadas entre los 3.800 y 4.000 m. de altura sobre el nivel del mar. Circos y nichos de neviza que alineados a la par recortan la línea de cumbres de la Precordillera Salto-Jujeña y Sierras Pampeanas más elevadas de Tucumán, Catamarca y La Rioja, primordialmente en los paredones que miran al Chaco y a los llanos o pampas en el naciente como los macizos de Santa Victoria, Zenta, Chañi, Aconquija, Ambato y Velasco. Son estas formas glaciarias las que marcan el límite oriental de la excavación de los hielos diluviales, ya que de las ramas más encumbradas del macizo de Velasco, la línea con que se estaría indicando el borde oriental de la erosión glacial pleistocena, tuerce allí bruscamente al SO. En efecto, dejando atrás, al norte, al macizo de Famatina que en sus dos altas vertientes los muestra también altos y colindantes y por no tener prueba de su existencia en los relieves riojano-sanjuaninos intermedios, recién la alta cumbre del Tontal en la Precordillera los conserva. Para dar término a este límite morfológico glacial es recién en la Cordillera Frontal al sur de Mendoza que vuelve a presentarlos la Cordillera del Plata. Hacia el sur de Mendoza y Patagonia la glaciación diluvial, mucho más vigorosa ha afectado el pie oriental de la cordillera principal como lo prueban sus numerosos y grandes lagos de endicamiento y que corresponden a fases de decrecimiento de la segunda glaciación bien controlada en la Argentina.

En cuanto al acarreo glacial y glacifluvial se sabe también que las diferencias en sus magnitudes son muy grandes; mientras en las altas montañas del norte, noroeste y centro del país el desarrollo de las lenguas de hielo fué relativamente pequeño, a medida que se avanza en la latitud, al sur de Mendoza y en Patagonia, el englazamiento diluvial fué extraordinario. Grandes cuerpos de hielo rebalsaron la costa marítima durante su mayor avance y tanto en ella como en las fases de retroceso la ablación permitió que camadas de rodados en el acarreo fluvial hecho por vigorosos ríos fueron dispersados, sobrepasando también la línea de costa actual y que en distintos niveles se presentan en las planicies y terrazas patagónicas aún de La Pampa y Mendoza, pero que como formas de superficie se extendieron cubriendo pendientes topográficas de dispar morfología. Pero ese intenso y largo transporte glacial, y glacifluvial fué posterior a la última revolución tectónica del plegamiento andino que preparara los receptáculos en condiciones de recibir, fueran sinclinales o no, el aporte hídrico derivado de la masa

HIDROGEOLOGIA

glacial. También debe decirse que con la disipación parcial o total de los cuerpos de hielo, las regiones afectadas fueron también diferencialmente ascendidas, sea por alivianamiento o por la intervención de nuevos movimientos tectónicos, epirogénicos. En las que se sobre elevaron por encima de la base de erosión el drenaje se encargó de llevarse el agua contenida en sus capas, o en su masa, cualesquiera fuese su composición y estructura geológica, mientras que las que permanecieron hundidas la conservaron, estando aún en condiciones de recibir nuevos aportes donde las condiciones climáticas lo permitían.

Con lo dicho hasta aquí se ha querido significar que el tamaño de los receptáculos y sus rasgos tectónicos, la edad y origen de los sedimentos que los rellenaron, las condiciones en que sus capas pudieron o no almacenar el agua, e inclusive las deformaciones que sufrieron a posteriori como también las condiciones paleoclimáticas y actuales imperantes son factores fundamentales para considerar la cuestión del agua subterránea.

Por ello en lo que sigue y con solo dos ejemplos trataremos de demostrar tales influencias: el uno corresponde a la cuenca imbrífera del río Jáchal, sanjuanino-riojana y el otro a la cuenca del Bermejo, ambas colindantes en el oeste de la provincia de La Rioja.

EL AGUA FÓSIL EN DOS EJEMPLOS.

Durante la glaciación diluvial, en la cuenca imbrífera del río Jáchal todos los relieves, como ocurrió en grandes áreas de los Andes, han sufrido un tremendo ascenso postglacial y la consecuente erosión fluvial abrió profundas quebradas en los anchos valles y planicies modelados por el hielo. Las montañas y planicies que se encuentran actualmente entre los 3.900 y 6.800 metros sobre el nivel del mar sufrieron los efectos de la glaciación diluvial. El primitivo relieve dentado de la Precordillera, en 4.000 m. fué nivelado en gran parte por rodados y arena correspondientes a una fase de máxima expansión y que se conserva nítidamente en altos terrados que proyectan hacia el Este los *niveles de pie de monte* que representan los Llanos del Médano y de Los Hoyos, los que se adosan a la alta Cordillera Frontal (Colangüil y el Imán) que le siguen al oeste con 5.500, 6.200 y 6.000 m. de altura. Aquí los circos diluviales a la par recortan la cumbre y aún conservan en varios trechos cuerpos de hielo que como el "banco de

Colangüil" tienen 200 m. de espesor en los 5.500 m. de altura. En el ancho valle del Cura como en todos los que siguen en el norte (Bollete, las Taguas de La Sal y del Inca), de 3.500 y 4.000 m. estuvieron más afectados aún por corrientes de hielo; grandes circos con o sin hielo como región de "nevé" están semidestruídos en los altísimos cerros de la Cordillera de Límite que en todo caso sobrepasan los 6.000 metros; superficies pulimentadas y estriadas, profundos valles en forma de "u", que los arrieros denominan "puertas" (Puerta del Valeriano, Tambillos y La Flecha), así consignados también por la topografía; sistemas de acarreo glacial en distintos niveles e inclusive anchas cavidades que fueron cerradas o no en su desagüe por morenas de retroceso, conservan algunas lagunitas.

Pero el ascenso posterior estimado en más de 1.000 m., aunque fue diferencial a lo largo de importantes líneas de falla, produjo el drenaje del agua, la que oportunamente y desde entonces se almacena en los sedimentos de su pie oriental. Es decir que el agua diluvial ha escapado totalmente de las partes elevadas y ha ido a depositarse en sinclinales y cuencas más lejanas y amplias como son el valle de Iglesia y el *Bolsón de Tulúm* en San Juan, donde tal vez su cuerpo hídrico pueda alcanzar miles de metros de espesor. En la actualidad en los altos valles de los Andes de clima árido el fenómeno de la asimétrica distribución de los campos de neviza a lo largo de la cordillera es muy característico y Pablo Groeber, que es el geólogo que mejor la conoce desde la parte media de la provincia de San Juan al sur, en uno de sus trabajos fundamentales ("La alta cordillera entre las latitudes 34°29-30°) al referirse al englazamiento actual dice: "La mayor acumulación de neviza se encuentra como en todas partes en la cordillera sanjuani-na, mendocina, neuqueniana y patagónica a barlovento de los cordones de suficiente longitud y altitud para la formación de los hielos glaciares. Como los vientos predominantes son occidentales, el mayor englazamiento se halla al este de los cordones". Si a este hecho se agrega que en los Andes septentrionales (San Juan, La Rioja y Catamarca) la Cordillera del Límite con cerros que en todo caso sobrepasan el límite climático de la nieve entre los paralelos 30° y 28° ésta se encuentra por arriba de los 5.500 metros sobre el nivel del mar, se comprende que el fenómeno anotado adquiera allí extraordinario desarrollo sobre todo durante las tormentas de invierno.

Por otra parte, como todo el relieve, se encuentra envuelto, des-

HIDROGEOLOGIA

de los 4.000 metros, por una potente masa detrítica que ha preparado a través de milenios la desintegración mecánica, lo que se llama la *zona de escombros*, la nieve caída y la arrastrada desde las cumbres durante la larga estación invernal que en dichas latitudes corre de mayo a octubre inclusive, provoca la infiltración y regula la entrega del agua originando los cursos de agua que integran la cuenca imbrífera del Jáchal. La zona de escombros es pues el único regulador de la infiltración de la nieve y así se alimentan y se generan bajo forma de agua subterránea no solamente los ríos sino también las zonas deprimidas y estructurales como es el largo sinclinal que sólo en parte recorre el curso del río Blanco desde las Juntas de la Palca hasta Rodeo y que sigue al sur en el valle Iglesia hasta Tocota. En esta depresión del terreno y en cualquier parte donde se perfora surgirá el agua subterránea bajo presión, en tanto las partes elevadas del relieve, montañosas o no, carecen en absoluto de este recurso, salvo que se trate del valle del pie de la Cordillera Principal donde los gases calentados por acción neo-volcánica han originado fuentes termales como son las del Bollete y las Taguas, para sólo citar las más conocidas.

El sinclinal que con tobas dacíticas a la base, aflorantes en el valle de Iglesia hasta las cercanías de Angualasto en San Juan, seguidas por areniscas varicolores con restos de árboles, en el perfil de la pendiente oeste de la Sierra Negra (Cuesta del Viento en el río Jáchal), está integrado entre Tudcum, Angualasto y la Chigua y Llanos del Médano en el río Blanco por un potente cuerpo de areniscas pardo amarillentas pliocenas con espesor conjunto de unos 2.500 m.

Ni el río Tocota y sus tributarios torrenciales del sur ni los arroyos que proceden del pie de la Cordillera Frontal hasta el profundo río Blanco-Jáchal, están en condiciones de drenar el agua subterránea de la zona hundida, como es el sinclinal Rodeo-Iglesia a que nos hemos referido. Por el contrario, esta amplia y espesa estructura con o sin fallas conserva en gran parte el agua diluvial y está tal vez también en condiciones para recibir el aporte actual; el autor de este trabajo lo ha demostrado al interpretar el origen de las termas de Pismanta.

Entre la sierra de Famatina y las sierras que enfrentan en el oeste como son las de Umango y Jagüé, se interpone el largo valle del Bermejo (Valle Hermoso, Vinchina, Villa Unión) donde alternativamente afloramientos del agua subterránea del subsuelo cercano que la erosión provoca, reflejan el valor del aporte del cuerpo freático que exclu-

sivamente regula el agua torrencial que baja del alto cordón de Famatina por una parte y algunos cursos de agua que como el Vinchina nacen de aportes subterráneos, también indistintamente y desde 150 kilómetros de distancia, en los altos nevados del Bonete. Pero el agua subterránea de profundidad contenida en el potente acarreo cuartario, constituido por arenas, rodados y delgados diafragmas discontinuos de arcillas, que alumbran bajo presión artesiana, las perforaciones que allí se están ejecutando corresponden directamente a la influencia que en el pasado la glaciación diluvial aportaba a sus coetáneos sedimentos, que tal vez en parte tengan miles de metros de potencia, cuando el receptáculo fue preparado por los movimientos tectónicos póstumos con fallas de gran rechazo que provocaron el hundimiento de la cuenca de recesión.

Vale decir que allí también hay dos cuerpos hídricos de distinta edad y procedencia.

Uno de los ejemplos más ilustrativos por estar a la vista en todo su espesor las capas que lo rellenaron, el régimen de su sedimentación y las condiciones tectónicas que los afectaron en la exhumación posterior, entre los numerosos bolsones intermontáneos del noroeste argentino lo constituye el de Jagüé, localidad fronteriza del oeste riojano.

Originalmente la cuenca de hundimiento y sedimentación estaba limitada al naciente por el macizo de Famatina y al poniente por la Cordillera Frontal, ya que la estructura de la Precordillera en el espacio comprendido entre Jagüé, Laguna Brava, donde aquella se levanta a la extraordinaria altitud de 6.870 m., 6.600 m. y 6.700 m. con los macizos del Bonete, Las Rejas y Veladero, permanecía lejos del alcance de la erosión. En el sur la sierra de Umango con los cerros de Cacho y del Leoncito y en el norte por el cerro, del Campo, constituido igualmente por el basamento cristalino. Dichas referencias orográfico-geológicas permiten estimar su forma más o menos circular, de un diámetro estimado en unos 150 Km., ya que sus capas que corresponden a los "*Estratos Calchaqueños*" afloran a todo rumbo envolviendo a las sierras y también formando parte de sus estructuras producidas por los movimientos tectónicos posteriores a su formación como lo muestra la sierra de Umango.

El componente petrográfico, la sucesión estratigráfica concordante y la posición tectónica de dichas capas que superan los 8.000 metros de espesor lo muestra el perfil a la vista entre Vinchina y Jagüé desde

las capas de la base hasta las del techo. En el conjunto participan tres paquetes de sedimentos de naturaleza distinta pero acumuladas en un solo ciclo de sedimentación, atenúan su inclinación de este a oeste y entre los 45 y 70 grados para llegar a la vertical por falla y desapareciendo debajo del acarreo moderno del *Bolsón de Jagüé*. Agregamos que tanto en el naciente como en el poniente está limitado por dos fajas de fallas cuyos rechazos son desconocidos, tendremos los argumentos principales para razonar sobre el comportamiento hídrico primitivo y actual de la cuenca de hundimiento y sedimentación.

La falla o zona de fallas dentro del valle longitudinal (Valle Hermoso, Vinchina y Villa Unión) que es la prolongación estructural del de San Francisco de Catamarca en el norte, ya considerado por Penck como línea tectónica de primer orden en su trabajo sobre el bolsón de Fiambalá, por Haussen más tarde con su estudio geológico regional en la sierra de Umango y por el autor de este trabajo para Jagüé en 1941 (inédito).

Es comprensible que cuando estas capas en su proceso de sedimentación estaban en condiciones de recibir el aporte de las aguas originadas en los relieves de la periferia de la cuenca, como lo atestiguan las capas con conglomerados de la porción media del perfil y con mayor razón el potente acarreo del techo con los que se colma la depresión, también mantendrían aguas subterráneas en sus estratos; pero la deformación tectónica posterior obligó a su drenaje por las que hoy sólo se escurre el agua de algún manantial miserable de agua salada como ocurre en la quebrada del Yeso y porque se levantaron a unos 1.000 m. por arriba de la base de la erosión.

Los datos consignados permiten afirmar que las condiciones paleoclimáticas para el tema que nos interesa, fueron totalmente distintas, ya que el actual englazamiento del macizo del Bonete sólo entrega por intermedio de su río homónimo cuatro metros cúbicos por segundo a a depresión de Jagüé mientras que la quebrada del río Vinchina naciente en Jagüé solo aporta dos metros cúbicos por segundo.

Veamos entonces qué pasó y qué ocurre actualmente con la cuestión que planteamos en los considerandos de este trabajo: sin agua de origen diluvial en las áreas ascendidas; en las hundidas, que atacó la erosión, quedaron intactas grandes reservas.

CONCLUSIONES.

Hemos reseñado en estas líneas el esquemático cuadro de la Argentina en lo que a la hidrología subterránea se refiere y con ello llega la oportunidad de recordar los nombres de los geólogos que trabajaron, publicando o no, el resultado de sus estudios e investigaciones en el país, con el concepto que debe primar en la Hidrogeología Regional, como fueron Bodenbender, Stappenbeck, Keidel, Bonarelli, Groeber, Wichmann, Windhausen, Beder, Nágera, Sobral y Bailey Willis.

También se han esquematizado los factores que inciden sobre el gran problema que significa la forma de conducir las investigaciones y que en nuestra opinión deben ser las universidades las que se ocupen de ello, mientras que el estado, por medio de sus organizaciones técnicas y administrativas debe realizar las exploraciones y la explotación que corresponda para atender con este recurso los grandes centros poblados y la actividad campesina. La falta de investigación tiene claros tan enormes aún, que se pueden formular en el planteamiento de sus problemas todavía innúmeros, preguntas como éstas:

a) Cómo se alimenta la gran cuenca artesiana de Bahía Blanca y por qué se calienta su agua? ¿No es aventurado, sin conocer los aportes hídricos, seguir efectuando perforaciones en todo su ámbito, ya que está en juego la mezquina dotación de agua y por ende el progreso agrícola que circunda la gran ciudad?

b) ¿Cuál es el origen, la edad y desarrollo del gran cuerpo de las "Arenas Puelchenses", su alimentación y flecha del escurrimiento subterráneo que la indebida explotación realizada condena ya a importantes ciudades para su provisión hídrica?