

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y DE CALIDAD DE AGUA EN EL SECTOR ORIENTAL DE LA SIERRA DE SAN JAVIER ENTRE LAS LOCALIDADES DE YERBA BUENA Y EL MANANTIAL. PROVINCIA DE TUCUMAN, REPUBLICA ARGENTINA

G. V. Rodríguez* y C. H. D'Urso**

RESUMEN

La zona de estudio está ubicada en el centro oeste de la provincia de Tucumán, en el noroeste de Argentina. Se extiende desde el borde oriental de la sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y el Manantial.

En el piedemonte y llanura se han establecido diversos centros urbanos, agrícolas y un importante complejo industrial que se abastecen de agua subterránea.

El objetivo del trabajo es delimitar los distintos factores geológicos que inciden en el comportamiento del agua subterránea y tratar de definir zonas con características hidrogeológicas apropiadas para su aprovechamiento.

De esta investigación se determinó que el agua que contienen los acuíferos es de buena calidad y debido a la elevada permeabilidad de los mismos, se pueden obtener importantes caudales, con lo que se garantiza el abastecimiento a la población, agricultura e industria.

Palabras Claves: Hidrogeología, Hidroquímica, Yerba Buena, Manantial.

ABSTRACT

The study area is located in the center west of the county of Tucumán, in the NW of Argentina. It extends from the oriental border of San Javier's mountain between the towns of Yerba Buena and Manantial.

In the piedmont zone and plain, have settled down diverse urban, agricultural centers and an important industrial complex that are supplied by underground water.

The objective of this paper is to define the different geologic factors that impact in the behavior of the underground water and to define areas with appropriate hydrogeological characteristics for its use.

The investigation determined that the water contained in the aquifers is of good quality and due to the high permeability, important flows can be obtained, that guarantee the supply to the population, agriculture and industry.

Keywords: Hydrogeology, Hydrochemical, Yerba Buena, Manantial.

Introducción

La zona está ubicada al sudoeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, provincia de Tucumán, República Argentina. Es un sector que ha experimentado un gran crecimiento poblacional en los últimos años. Allí se ubican, además, numerosas fábricas de bebidas gaseosas, destilerías, metalúrgicas y explotaciones agrícolas.

La principal fuente de abastecimiento de agua para la población y las industrias es a través de perforaciones del orden de los 130 m de profundidad con buen rendimiento y buena calidad.

La población carece de red cloacal y la mayoría de las industrias no realizan tratamiento de efluentes, vertiendo sus desechos sin tratar al canal de desagüe sur y al cauce superficial del arroyo Manantial que se

* Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Cátedra de Geología de Combustibles. INSUGEO. Miguel Lillo 205 (4000). San Miguel de Tucumán. Argentina.

** Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Cátedra de Hidrogeología. INSUGEO. Miguel Lillo 205 (4000). San Miguel de Tucumán. Argentina.

encuentran contaminados al igual que el acuífero freático de la zona.

Metodología

Esta investigación se inició con la recopilación de la información geológica, geomorfológica, climática, hidrogeológica e hidroquímica del área.

Se confeccionó un mapa geológico-geomorfológico en base a la interpretación de las fotografías aéreas a diferentes escalas y de las cartas de imágenes satelitarias (1998) a escalas 1:100.000 y 1:250.000. Posteriormente, se realizó el control de campo para ajustar los mismos.

Se caracterizó climáticamente la cuenca y se confeccionó los balances hídricos a partir de los datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de la zona disponibles en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

Se tomaron muestras de agua de las perforaciones para su análisis químico y físico-químico, los que fueron volcados en gráficos para clasificar el agua para los distintos usos.

Se realizó el mapa hidrogeológico con la información de los pozos obtenidos de los archivos de la Dirección Provincial del Agua y de empresas de perforaciones privadas junto con la información de campo.

Descripción del área de estudio

Ubicación, fisiografía e hidrología

Geográficamente se encuentra entre los meridianos 65° 23' y 65° 11' de longitud oeste de Greenwich y paralelos 26° 48' y 26° 54' de latitud sur, abarcando una superficie aproximada de 190 km². El límite norte pasa por el río Muerto, al sur por la localidad de San Pablo, al este por el arroyo Manantial y al oeste por la línea de cumbres de la sierra de San Javier (fig. 1).

Fisiográficamente se distingue una región montañosa constituida por la sierra de San Javier, una región pedemontana ubicada inmediatamente al este de la anterior y la región de la llanura pedemontana limitada por la región pedemontana al oeste y el río Salí al este (Santillán de Andrés y Ricci, 1980).

La sierra de San Javier es un anticlinal asimétrico con una orientación NNE-SSO buzante hacia ambos extremos y se hunde hacia el sur con terminaciones periclinales. Está limitada por fallas inversas de alto ángulo y basculada al oeste. El faldeo oriental presenta pendientes abruptas, en contraposición al occidental con pendientes suaves y extensas. Tiene

una longitud de 3 km y una altura que aumenta de sur a norte, alcanzando su valor máximo de 1.800 metros sobre el nivel del mar en las cumbres de Taff (Mon, 1976).

En el piedemonte se elevan numerosas lomadas recortadas por ríos temporarios y abanicos aluviales coalescentes.

Existen numerosos arroyos, entre los cuales podemos diferenciar los de régimen hidrológico temporario, ubicados en la ladera oriental de la sierra y los que llevan agua todo el año, en la llanura.

El río Muerto y los arroyos San Pablo, Mundo Nuevo, Agua Chiquita o de La Toma y otros más, pertenecen al primer grupo. Baján de la sierra en sentido oeste-este y se infiltran en los materiales gruesos del cuaternario depositados al pie de la misma. Presentan un diseño subdendrítico a subparalelo, evidenciando un control estructural. En general, el régimen hidrográfico es estacional con crecientes torrenciales en verano. Éstos forman importantes abanicos aluviales coalescentes al llegar al piedemonte y en algunos sectores se observan paleocauces que evidencian antiguos drenajes.

El arroyo más importante es el Manantial, ubicado en el centro de la zona. Es el único que lleva agua permanente, nace en la localidad Ojo de Agua, en plena llanura pedemontana. Las fuentes de alimentación más importante de esta cuenca son las aguas del río Muerto y sus afluentes que se infiltran en el piedemonte, para retornar a la superficie formando el ojo de agua, en la localidad homónima. La cuenca abarca una superficie de 45 km² con pendiente hacia el sureste. Las aguas corren sobre la llanura una distancia de 10 km, en dirección noroeste-sudeste, con un desnivel de 100 m. En su trayecto se une con el río Lules antes de desembocar en el río Salí. El caudal registrado (Tucumán en cifras, 1980) fue de 0,38 m³/seg. y el derrame medio anual alcanzó los 12 hm³.

La llanura pedemontana está regada por el arroyo Manantial que tiene una dirección preferentemente norte-sur, mostrando un marcado control estructural.

Clima

Del análisis de las condiciones imperantes en la región durante lapsos prolongados de observación permiten calcular promedios y, sobre la base de ellos, establecer los caracteres generales de la atmósfera en las distintas estaciones del año.

En nuestra provincia la Estación Experimental Agro Industrial Obispo Colombres, cuenta con una serie de estaciones meteorológicas y elabora la información climática, que es dada a conocer en distintas publicaciones.

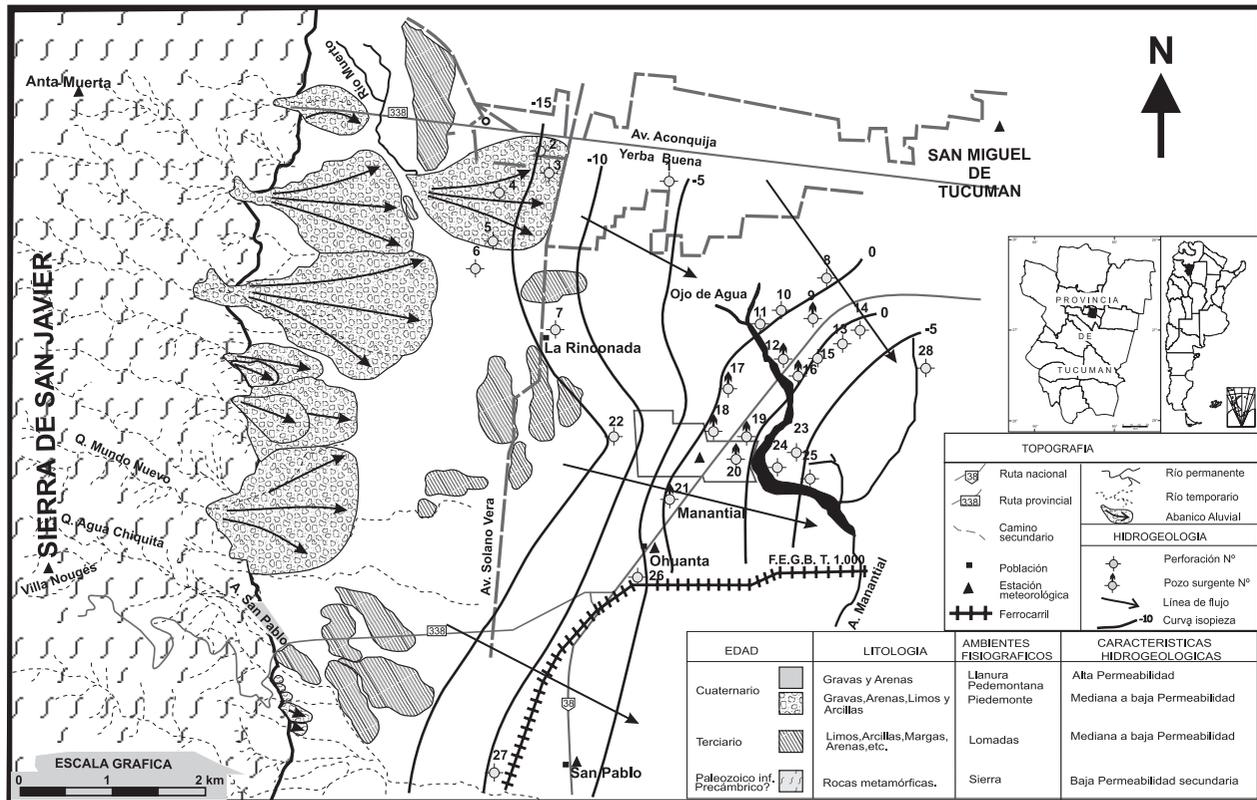


Fig. 1.—Mapa Geológico e Hidrogeológico del sector oriental de la Sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y El Manantial.

La temperatura media anual en la región varía entre 15 °C y 19 °C. Las lluvias decrecen de oeste hacia el este con valores que varían entre 1.462 mm y 955 mm anuales.

La morfología de la provincia influye sobre los registros térmicos, los vientos y las precipitaciones, por lo tanto, el clima en esta región es muy variable.

En el área podemos distinguir dos tipos fundamentales de climas según Koppen (1948) en Torres Bruchmann (1978), con sus variedades correspondientes.

El clima de los faldeos es del tipo cwb, que corresponden a climas templados húmedos, con veranos templados e inviernos secos. Está determinado en el área de influencia de la estación meteorológica de Villa Nougés, ubicada en las cumbres de la sierra a una altura de 1.457 m.

En el área comprendida entre el pie de monte y el este de la zona estudiada, el clima es del tipo cwa, es decir, templado cálido húmedo, con verano cálido e invierno seco. Está determinado en las localidades de San Miguel de Tucumán, San Pablo, Ohuanta y Manantial.

Geología

La columna estratigráfica de la región comienza con un basamento que constituye el núcleo de la sierra de San Javier. Presenta un metamorfismo de muy bajo grado, siendo su principal componente las pizarras gris-verdosas (Mon *et al.*, 1972).

En discordancia sobre el basamento, se acumularon potentes sedimentos cretácicos que por efecto de la erosión no se encuentran en el área. Estas rocas afloran en la quebrada del río Lules, a unos 10 km más al sur.

Los sedimentos terciarios se adosan en el borde oriental de la sierra, formando lomadas bajas, constituidas por areniscas finas a gruesas, a veces muy cuarzosas de coloración roja y blanquecinas de la Formación Río Loro y areniscas rosadas, margas y yeso de la Formación Río Salí.

Los sedimentos cuaternarios depositados bajo diferentes procesos de sedimentación, han cubierto la mayor parte del área. Están representados por depósitos de abanicos aluviales, glacis, paleocauces, cauces actuales y de materiales de origen eólico.

Hidrogeología

La infiltración del agua depende de las distintas permeabilidades y porosidades de los terrenos.

El basamento, por su litología, presenta una baja permeabilidad secundaria y por su pendiente, un elevado escurrimiento superficial, por lo que predomina este último sobre la infiltración.

Los sedimentos terciarios son medianamente permeables y portadores de sales solubles en grandes cantidades, de tal manera que las acumulaciones relacionadas con ellos dan aguas salinizadas y acuíferos pobres.

Los materiales arenosos aluviales cuaternarios son muy permeables cerca de la sierra y disminuyen su granulometría y permeabilidad hacia la llanura, en donde predominan el aporte de material loésico de origen eólico sobre sedimentos fluviales. El agua se infiltra en los abanicos aluviales del piedemonte, circula por el interior de la llanura y se almacena constituyendo acuíferos, que en estos sedimentos alcanzan las mejores condiciones de explotabilidad en calidad y caudal.

El análisis hidrometeorológico de la cuenca del arroyo Manantial permitió determinar los parámetros del balance Hidrológico (Torres Bruchmann, 1975).

La altura media de la lámina de agua precipitada en la cuenca, calculado por el método de las isohietas es de 1.025 mm anuales.

El escurrimiento superficial determinado por la Fundación Fiat-Concord-Ital-Consult-Argentina, (Plan preliminar para el desarrollo de la provincia de Tucumán), fue de 266,34 mm anuales, lo que representa el 26% del total de agua precipitada sobre la cuenca.

Para calcular la evapotranspiración real se aplicó la Fórmula de Turc (1953), obteniéndose un valor de 710,93 mm anuales.

El cálculo de la infiltración se realizó aplicando la fórmula de Balance Hidrogeológico de Thornthwaite, con lo que se determinó que la cantidad de agua infiltrada en cuenca es de 47,73 mm anuales.

El balance hídrico de la zona en general es positivo, con un exceso de agua en los meses de enero, febrero, marzo y abril. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre la cantidad de agua caída no alcanza a reponer la humedad que el suelo necesita y la variación de almacenaje da valores negativos, determinando un período de déficit.

En base a las perforaciones realizadas en la zona para la captación de aguas subterráneas, se reconstruyó el modelo de la cuenca sedimentaria y se comprobó que los mayores espesores de sedimentos cuaternarios se desarrollan en una zona deprimida elongada en dirección norte-sur. Esta zona se locali-

za en la parte distal de los abanicos aluviales, en las localidades de Manantial y oeste de San Miguel de Tucumán, donde se encuentran ubicados los acuíferos con niveles piezométricos positivos.

Con la información de las perforaciones se reconoció tres tipos de acuíferos (Rodríguez, 1987), sometidos a diferentes presiones hidrostáticas:

El acuífero libre o freático, que está constituido por un paquete arenoso permeable y limitado solamente en su base por una capa relativamente impermeable, su profundidad varía entre los 3 a 7 metros bajo boca de pozo.

El acuífero semiconfinado está limitado en su techo por estratos semipermeables y en su base por estratos impermeables. En la localidad de San Pablo y Ohuanta se encuentra a una profundidad de 30 metros bajo boca de pozo.

El acuífero confinado está constituido por un paquete sedimentario limitado en su techo y en su base por estratos impermeables, corresponde a este tipo de acuífero las captaciones realizadas en pozos de surgencia natural. Existen numerosas perforaciones que atravesaron estos acuíferos a profundidades muy variadas.

El área de recarga se encuentra al oeste del área de estudio, en el faldeo de la sierra, donde se emplazan los abanicos aluviales de dimensiones muy variadas. La recarga se produce por aportes laterales desde la parte apical de los abanicos, los que están constituidos por cantos rodados, gravas y arenas que han sido depositados por los ríos y arroyos que descienden de la sierra. Estos materiales aluviales gruesos, de gran espesor y de escaso transporte presentan una elevada permeabilidad y porosidad, lo que permite una rápida infiltración del agua, que pasa a alimentar a los acuíferos. Los mayores volúmenes de agua son aportados durante los meses de verano, llegando a los 267 mm en enero, y la recarga mínima en los meses de invierno con 10 mm en agosto.

Otra fuente de aprovisionamiento es el agua superficial que se escurre por los cauces de los ríos. Los arroyos que descienden de la sierra se infiltran en el área de recarga y desaparecen totalmente después de recorrer un corto trecho.

En la zona se censaron 28 perforaciones destinada a abastecer de agua subterránea a la población, las industrias y a la actividad agrícola (tabla 1).

Se observó que en la llanura la capa freática se encuentra muy cerca de la superficie; por lo general, basta excavar unos metros para llegar a ella. Como en gran parte de esta zona no existen servicios de cloacas, agravado aún más por la elevada carga contaminante proveniente de efluentes industriales, se debe utilizar las napas profundas. En realidad, todos los pozos que se realizaron cementaron la freática

Tabla 1.—Cuadro con los datos de las perforaciones

Nº	Localidad	Departamento	Año	Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal de bombeo m³/h	Caudal específico m³/h/m
1	Comisaría Yerba Buena	Yerba Buena	1977	241,8	-6,8	-44,8	38	72	1,89
2	Loteo Carlino - Río Muerto	Yerba Buena	1981	69	-14,8	-18	3,2	240	75
3	Plaza Thiele	Yerba Buena	1981	195,5	-10,55	-16,7	6,15	192	31,21
4	Barrio Portal del Cerro	Yerba Buena	1991	75	-18,5	-45	26,5	65	2,45
5	APUNT Rinconada	Yerba Buena	1978	58,6	-18	-24	6	70	11,66
6	Finca Trápani	Yerba Buena		73,8	-20	-24,5	4,5	154,8	34,4
7	La Rinconada	Yerba Buena	1967	51	-12			6,5	
8	Club Atlético Tucumán	Lules	1974	121,5	-3	-4	1	45	45
9	Tucumán Refresco	Lules	1964	137	0,5			30	
10	Compañía Refrescos, S.A.	Lules	1999	140	-11	-45	34	225	6,6
11	Propiedad Sr. Pérez	Lules	1980	120	-1,9	-19,1	17,2	40	2,3
12	Embotelladora Torasso	Lules	1981	77	0,2			15	
13	Est. Carfín (S.A.C.I.F.I.A.)	Lules	1971	119,5	-4	-8	4	25	6,25
14	Barrio 112 viviendas Manantial	Lules	1999	214	-12	-25,3	13,4	113	8,49
15	Coquito S.R.L.	Lules	1978	125	-0,25	-15	14,75	45	3,75
16	La Oxígena	Lules	1978	81	1,2	-19,2	20,4	12	0,58
17	Facultad de Agronomía y Zootecnia	Lules	1978	156,6	0,5	-17,5	18	182	10,11
18	Matadero	Lules	1950	76,6	0,6			10	
19	Destilería San Ignacio	Lules	1975	182	0,2	-95	95,2	220	2,31
20	Dirección Provincial de la Vivienda	Lules	1980	150	3	0,3	2,7	3,5	1,29
21	Comuna El Manantial	Lules	1956	113	0,5			5	
22	Barrio Tula	Lules	1969	217,7	-15			20	
23	Barrio SMATA II - Manantial	Lules	1997	96	-2,12	-33,36	31,24	225	7,2
24	Barrio 150 viviendas (Vial) Manantial	Lules	1997	91	-2,83	-24	21,17	146	6,89
25	Barrio 260 viviendas Manantial	Lules	1999	142	-7,8	-26,58	18,78	120	6,39
26	Ohuanta	Lules	1971	180	-6,8	-9,5	2,7	30	11,11
27	San Pablo	Lules	1984	214,5	-9,5	-28,4	18,9	67,5	3,57
28	Santa Bárbara/San Felipe	Lules	1980	104	-5,5	-10,64	5,14		

porque es una zona de gran crecimiento poblacional e industrial y potencialmente contaminable.

La característica hidrogeológica principal de las localidades de Manantial y zonas vecinas es la presencia de acuíferos con niveles piezométricos positivos que en algunos casos llegan a los + 4,5 m. En cambio en las localidades de San Pablo y Ohuanta los pozos resultaron semisurgentes por estar topográficamente más altos.

En el mapa de isopieza (fig. 1), se pudo constatar el comportamiento de los niveles piezométricos de las aguas subterráneas. Se comprobó que el sentido del flujo subterráneo coincide con la pendiente regional.

Hacia el sector oeste y este las curvas describen una marcada concavidad orientada hacia la zona de recarga que está ubicada hacia el oeste.

La curva de valor cero se desarrolla en la parte central, en dirección noreste-sudeste. Al oeste y al este de esta curva se localizan dos zonas semisurgentes.

Desde la sierra hasta el arroyo Manantial se puede dividir tres sectores tomando como base los niveles de agua subterránea.

Area relacionada con la zona de recarga con niveles estáticos profundos (pozos n.ºs 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 22).

Area de conducción con niveles estáticos menos profundos (pozos n.ºs 1, 8, 10, 11, 15, 23, 24, 25, 26, 27 y 28).

Area de descarga con niveles estáticos positivos (pozos n.ºs 9, 12, 16, 17, 18, 19, 20 y 21).

Hidroquímica

El agua subterránea experimenta numerosas reacciones con las formaciones geológicas y con la atmósfera, tendiendo a aumentar su salinidad. Por eso, la composición química del agua está relacionada con su circulación regional y con el tiempo de residencia dentro del acuífero.

Para entender la proveniencia de los elementos químicos presentes en el agua es necesario recordar las distintas litologías involucradas en el sector. Hacia el oeste se encuentra la sierra de San Javier formada por filitas y pizarras que aportan a las aguas pocas sales. A continuación, en la zona de

Tabla 2.—Cuadro de análisis físicos-químicos

Nº de muestra	Nº de pozo	Lugar	Departamento	ph	Conductividad (µmhos/cm)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	CL ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)
1	13	Establecimiento Carfín	Lules	7,7	490	6,27	1,56	1,39	0,14	6,39	2,14	0,83
2	15	Coquito S.R.L.	Lules	7,01	520	2,32	1,36	1,25	0,03	4,58	0,13	0,38
3	16	La Oxigena	Lules	6,69	610	2,6	1,2	1,05	0,14	4,31	0,16	0,4
4	17	Facultad de Agronomía y Zootecnia	Lules	7,65	400	3,71	1,56	1,04	0,1	4,84	2,31	0,74
5	21	Comunidad Manantial	Lules	7,75	480	3,2	1,81	1,3	0,14	5,87	2,4	1,82
6	22	Barrio Tula	Lules	7,95	510	2,43	1,81	1,61	0,19	6,59	2,48	3,03
7	26	Ohuanta	Lules	7,1	620	3,71	2,63	1,7	0,31	8,34	3,38	3,37
8	8	Club Atlético Tucumán	Capital	7,88	660	3,2	1,44	1,6	0,04	5,22	0,12	0,5
9	1	Comisaría de Yerba Buena	Yerba Buena	7,12	590	1,32	0,36	3,15	0,05	4,22	0,28	0,29
10	5	Barrio APUNT	Yerba Buena	7,34	740	3,78	2,64	1,6	0,1	6,65	0,44	0,35
11	4	Barrio Portal del Cerro	Yerba Buena	6,52	593	5,83	4,09	2,2	0,06	11,06	0,33	0,36
12	25	Barrio 260 viviendas	Yerba Buena	7,49	654	3,53	1,34	1,54	0,16	5,26	0,91	0,4
13	28	San Felipe	Lules	7,7	1.173	1,86	0,48	6,9	0,14	4,11	3,58	1,87

recarga, se adosan los abanicos aluviales y las lomadas terciarias, constituidas por areniscas con cemento calcáreo, arcillas, limos, margas calizas, yeso y tobas que proporcionan aguas relativamente salinas. Hacia el este, se desarrolla la llanura pedemontana constituida por sedimentos cuaternarios con valores bajos de salinidad, con una granulometría granodreciente hacia el este.

La presencia de calcio, sodio, bicarbonato, sulfatos y cloruros en los análisis químicos realizados, proceden de la disolución de las rocas evaporíticas o químicas, como calizas y yeso. El sodio tiene su principal origen en las arcillas que están presentes tanto en el piedemonte como en el sector oriental de la zona, donde los sedimentos se hacen más finos, con frecuentes intercalaciones de arcillas. El magnesio pudo ser aportado por las margas presentes en el terciario o por las arcillas proveniente de la descomposición de las rocas metamórficas.

Como los datos sobre el quimismo de las aguas subterráneas profundas en el área eran escasos, resultó conveniente ampliar y actualizar la información que se resumió en la tabla 2.

Los valores fueron volcados en distintos tipos de diagramas con el fin de comparar las aguas entre sí y definir tipos y calidades.

El diagrama triangular de Piper Hill Langelier (1953) permite conocer el carácter del agua o sus fases químicas y expresa muy bien las relaciones entre los diferentes grupos de agua, su evolución y las posibles mezclas que pueda haber entre distintos tipos de agua (fig. 2).

Está compuesto por tres partes principales de graficación, dos triángulos y un rombo central. Los valores se expresan en milliequivalentes por litro. En el triángulo de la derecha se representan los aniones, mientras que los cationes se encuentran en el

de la izquierda. Sobre estos triángulos se grafican los datos del contenido iónico de los análisis y se obtiene un único punto, la proyección de ambos en el diagrama rómbico dará un tercero que indica la composición porcentual relativa en término de pares de aniones y pares de cationes.

De acuerdo a esta clasificación las muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 y 11 entran en el campo de las bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. La muestra 9 es bicarbonatada sódica y la muestra 13 cae dentro del campo de las cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

De la observación de la gráfica se comprobó que éstas presentan una evolución química normal en el contexto de la circulación regional. En la figura 2 se muestra la evolución química del agua subterránea. Se observa que tanto el contenido de bicarbonatos como de calcio decrece en general al alejarse del piedemonte, mientras que los cloruros evolucionan en forma inversa, aumentando su contenido con la distancia a la zona de recarga. La mayoría de los pozos se encuentran en la nube de puntos ubicada en el campo 2 y que corresponde a perforaciones que se encuentran en el piedemonte.

La evaluación de la aptitud de agua para riego resulta imprescindible para los fines agrícolas. Los problemas de calidad pueden afectar el normal desarrollo de un cultivo, la salinización y/o empobrecimiento del suelo. De ahí la importancia del análisis del agua utilizada.

Para determinar su aptitud se utilizó la clasificación de Wilcox (1955), que emplea dos criterios (fig. 3).

La salinidad total se define como la concentración de sales disueltas que se expresan en micromhos por centímetro (conductividad eléctrica).

El RAS (Relación de Absorción de Sodio) es la concentración de sodio que se encuentra presente en

DIAGRAMA DE PIPER HILL LANGELIER

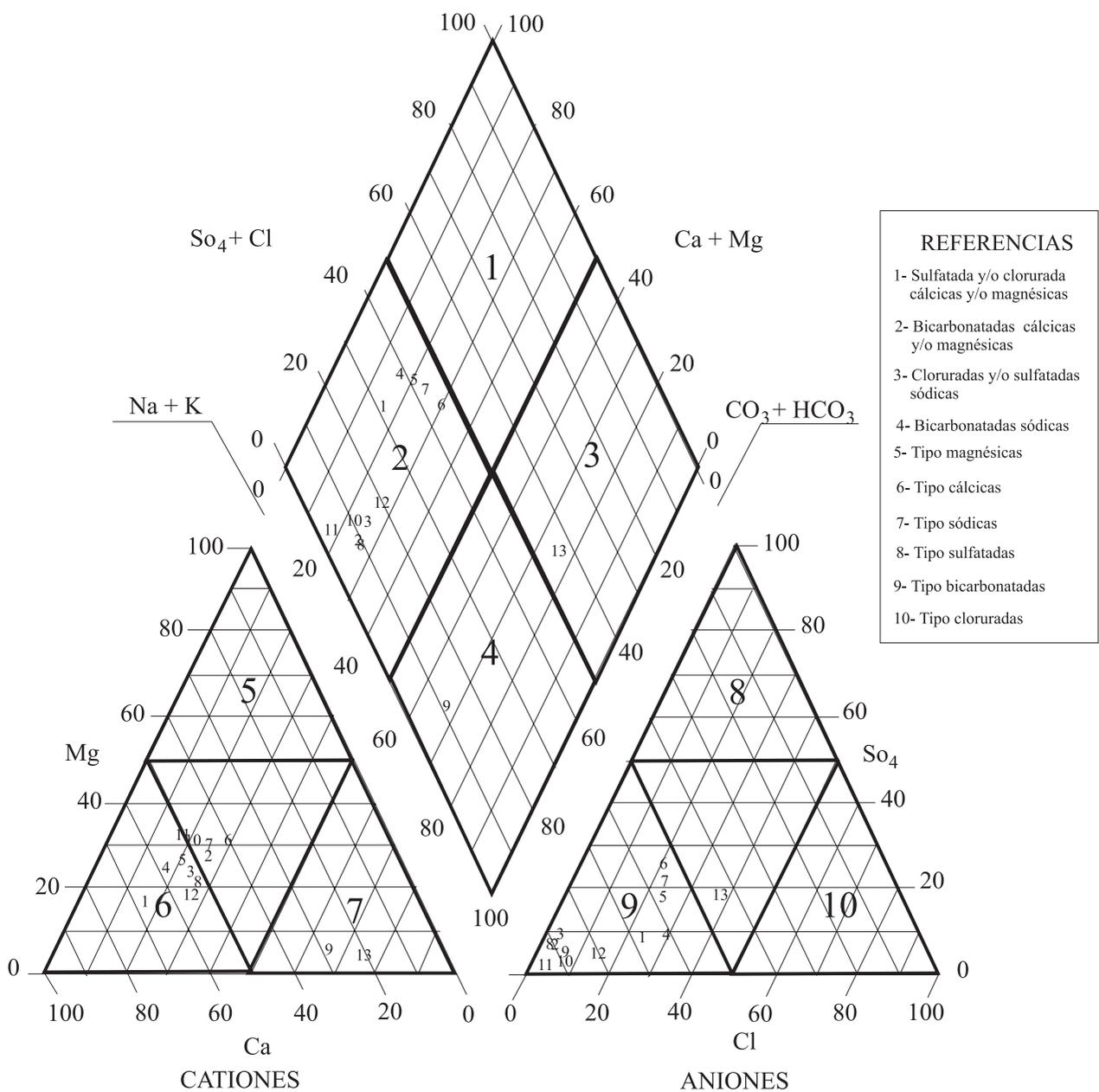
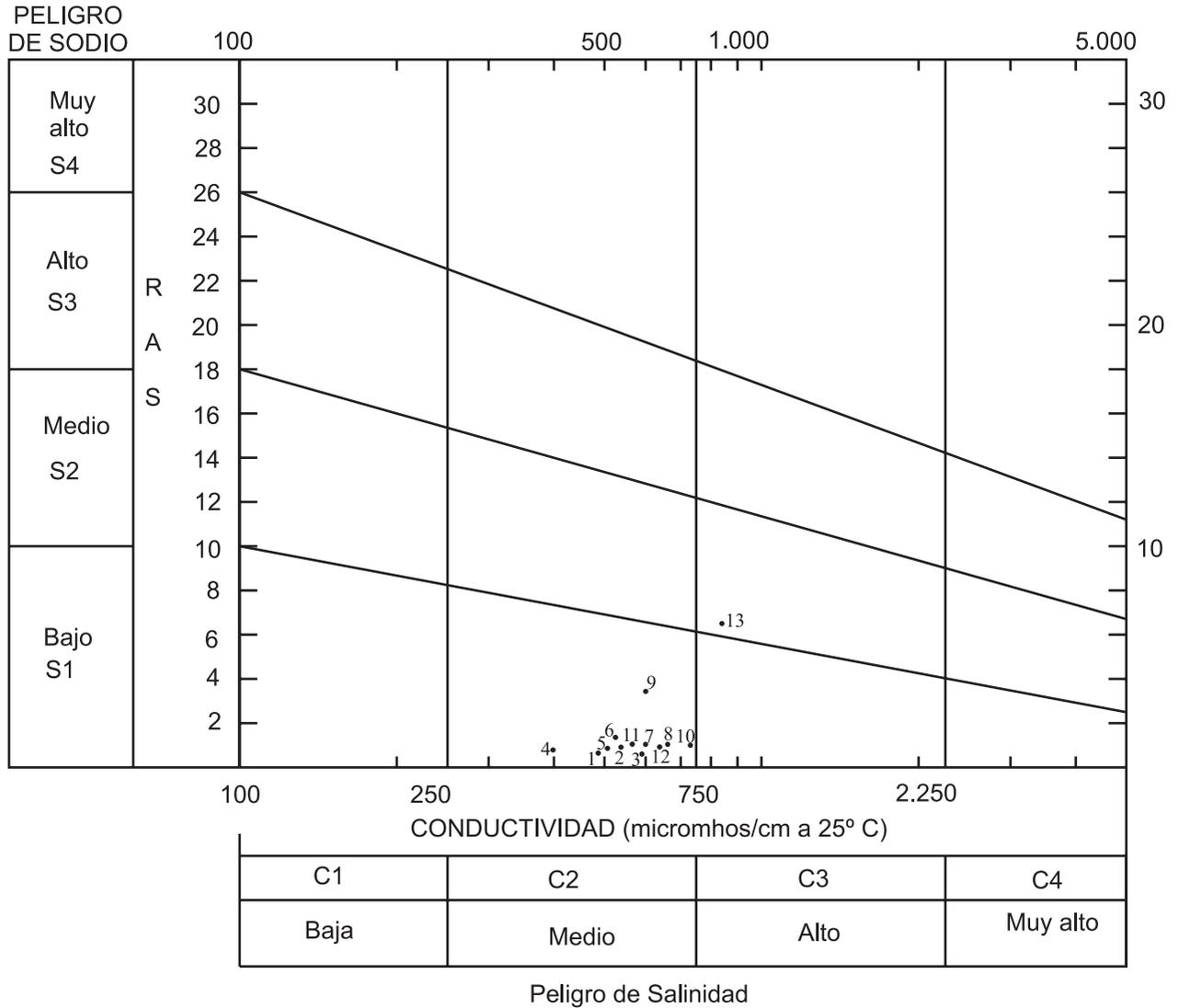


Fig. 2.—Diagrama de representación de los análisis correspondientes a las aguas de los pozos para determinar sus facies químicas.

DIAGRAMA DE WILCOX



CLASIFICACION

C2 S1 Son aptas para todo los suelos. Se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes al sodio. (Muestras n.^{os} 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12)

C3 S1 Son aptas sólo para plantas que sean resistentes a la salinidad. No pueden usarse en suelos con drenajes deficientes. (Muestra n.^o 13)

Fig. 3.—Diagrama de representación de los análisis químicos correspondientes a las aguas de los pozos en los distintos puntos de muestreo para determinar su aptitud para riego.

Tabla 3.—Cuadro de análisis químico y bacteriológico del Arroyo Manantial

Muestra	1	2	3	4
<i>Análisis químico</i>				
pH	8,05	7,40	8,10	8,1
Dureza total (Ca CO ₃) mg/l	135,14	—	99,96	108,78
Alcalinidad total (Ca CO ₃) mg/l	475,00	—	450,00	500,00
Carbonato mg/l	—	—	—	—
Bicarbonato Ca (HCO ₃) mg/l	1.458	—	1.539	1.620
Cloruros (Cl ⁻) mg/l	284	—	177,54	143,00
Cloro residual mg/l	—	—	—	—
Clasificación	Buena	Buena	Buena	Buena
<i>Análisis bacteriológico</i>				
Bacterias aerobias agar 37° - 24 h por ml	ap 100	ap 100	ap 100	ap 100
Bacterias coliformes n° muestras por 100 ml	460	460	460	460
Bacterias coli n° muestras por 100 ml	160	160	180	140
Clasificación	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente

el suelo. El valor obtenido es importante ya que nos indica cómo reacciona este elemento con el suelo. Un valor alto resulta perjudicial para los cultivos. De acuerdo a esta clasificación la mayoría de las aguas de las perforaciones están dentro de la clase C2 S1, que corresponden a aguas aptas para todos los tipos de suelos. Estas aguas son de buena calidad con tenores de salinidad normal, debido a que las mismas circulan por sedimentos cuaternarios con baja concentración salina y muy permeables. Se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes al sodio. Sólo la muestra 13 resultó ser C3 S1 que son aptas sólo para plantas resistentes a la salinidad y no pueden usarse en suelos con drenajes deficientes. Este incremento en la zona de San Felipe se debe a que las aguas circulan por sedimentos más finos con frecuentes intercalaciones arcillosas que la contaminan.

Teniendo en cuenta las normas para la calidad de agua bebida vigentes en la República Argentina, se puede decir que en la zona:

Las concentraciones de cloruros se hallan dentro de rangos aceptables.

El pH de las aguas se encuentra dentro de valores aceptables.

Las concentraciones de sodio, calcio y magnesio se hallan dentro del rango aceptable.

Las concentraciones de potasio varían entre 0,03-0,31 meq/l y se clasifican como aconsejables.

Se puede concluir que las aguas subterráneas profundas en la zona son aptas para el consumo humano, agrícola e industrial.

La Dirección de Saneamiento ambiental del SIPROSA realizó los análisis químico y bacteriológico sobre cinco muestras tomadas en el arroyo Manantial y efluentes que pasan por el Matadero y Destilería San Ignacio.

Como primera apreciación del análisis químico corresponde señalar la alta alcalinidad total de estas aguas y el valor superior al aceptable de cloruros en la muestra 1 indica una anomalía.

Con relación al análisis bacteriológico y las determinaciones especiales realizadas, en general las muestras se clasifican en «Deficientes por su contenido bacteriológico» (tabla 3).

De estos últimos análisis, se puede inferir que la descarga de residuos industriales y cloacales en este arroyo afecta a la biota que se desarrolla en los alrededores, y también a la freática de la zona.

Conclusiones

Las precipitaciones en la sierra de San Javier, del orden de los 1.100 mm anuales y la presencia en el piedemonte de sedimentos gruesos de abanicos aluviales aseguran una buena recarga de los acuíferos del sector.

Los sedimentos modernos albergan tres tipos de acuíferos, el acuífero freático entre 0 y 30 m de profundidad, el acuífero semiconfinado entre los 40 y 70 m y los acuíferos confinados por debajo de los 70 m de profundidad.

Los acuíferos en explotación presentan caudales entre 5 y 240 m³/h y niveles estáticos entre -18 a +3 m.

La calidad química y bacteriológica de los acuíferos profundos es buena, en general se trata de aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas-sódicas.

La freática, en general, está afectada por la carga contaminante originada por los pozos negros y los efluentes industriales vertidos en el arroyo Manantial. Su uso no es aconsejable para el consumo humano por superar los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su reconocimiento y agradecimiento al Dr. José Pablo López por la lectura del mismo y a D. Hugo Alfredo Berettoni por su contribución en este trabajo.

Referencias

- Dirección Provincial del Agua. Departamento de Perforación, Archivo de Perfiles de pozos. Inédito.
- Gobierno de la provincia de Tucumán (1980). Tucumán en Cifras II, Tomo 1. Tucumán.
- Instituto Geográfico Militar (1998). *Carta de Imagen Satelitaria de la República Argentina*. 1ª edición. E.: 250.000 San Miguel de Tucumán. 2766-II.
- Instituto Geográfico Militar (1998). *Carta de Imagen Satelitaria de la República Argentina*. 1ª edición. E.: 100.000 San Miguel de Tucumán. 2766-17.
- Mon, R., y Suayter, L. (1972). Geología de la sierra de San Javier (provincia de Tucumán, República Argentina). *Acta Geol. Lilloana*. Acta, 12. 10: 155-168.
- Mon, R. (1976) La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán, Catamarca, República Argentina. *Rev. Asoci. Geol. Argentina* Acta, 31. 2: 65-72.
- Piper, A. M. Hill, A., y Langelier, J. 1953. En Custodio y Llamas (1983). *Hidrología subterránea*. Tomo I. Madrid, España. 1.060 págs.
- Rodríguez, G. (1987). *Geología e Hidrogeología del borde oriental de la sierra de San Javier entre las localidades de la Rinconada y San Pablo, provincia de Tucumán*. Seminario. Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L. Universidad Nacional de Tucumán. 115 págs. Inédito.
- Santillán de Andrés, E. y Ricci, T. (1980). *Geografía de Tucumán*. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán. Publicación n° 1299.
- Tineo, A., Fernández, M., Durso, E., y Galindo, G. (1985) Abastecimiento de agua potable al Gran San Miguel de Tucumán. *XII Congreso Nacional de Agua*. Acta, VI: 172-176. Mendoza.
- Torres Bruchmann, E. (1975). *El balance hidrológico: su determinación y aplicaciones*. Serie Didáctica n° 39. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. 34 págs.
- Torres Bruchmann, E. (1978). *Las clasificaciones climáticas de Koppen y Thornthwaite*. Serie Didáctica n° 48. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. 27 págs.
- Wilcox, L. V. (1955). *Classification and use of irrigation water*. U.S. Department of Agriculture. USA. Circular n° 969, 19 págs.

Recibido el 7 de abril de 2005
Aceptado el 27 de octubre de 2005