

HIDROGEOLOGIA DE TUCUMAN

*Alfredo Tineo*¹

*Carlos M. Falcón*¹

*Jorge W. García*¹

*Carlos H. D'Urso*¹

*Griselda Galindo*²

*Graciela V. Rodríguez*¹

INTRODUCCION

La provincia de Tucumán se destaca por sus riquezas en los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Las importantes precipitaciones pluviales de la época estival, permiten la formación de una densa red de ríos y arroyos en gran parte del territorio provincial y además permiten la recarga de los reservorios de agua en el subsuelo.

Se trata aquí en forma resumida los principales conceptos en los cuales se basa la hidrogeología moderna, que considera la porosidad y permeabilidad de la roca donde se almacena el agua y el sentido de escurrimiento o de flujo de la misma. Por ello es la importancia de contar con una buena base geológica que determina las características principales de las rocas en una región, indicando su origen ígneo, metamórfico o sedimentario, su textura,

estructura y su composición mineralógica, de allí la importancia de su relación con otras disciplinas de la geología tales como la geomorfología, sedimentología, geología estructural y geología histórica.

Los niveles acuíferos con agua de buena calidad y caudales que permitan una explotación económica de los mismos, se encuentran fundamentalmente en sedimentos de edad cuaternaria, aunque en algunos sectores de la llanura oriental, cercano al límite con la provincia de Santiago del Estero, se encontrarían en sedimentos finos del Terciario alto (Plioceno). De allí la importancia de conocer en detalle el desarrollo de los sedimentos cuaternarios de la provincia, determinando sus características geomorfológicas a fin de poder interpretar un modelo conceptual de las zonas de recarga y sentido de escurrimiento de los acuíferos subterráneos.

El desarrollo de los sedimentos cuaternarios es muy variable en los valles intermontanos y en la llanura oriental, se han podido medir espesores de pocos metros hasta superar los 400 m, con niveles de elevada permeabilidad aptos para almacenar aguas subterráneas.

Si bien las condiciones geológicas imponen el control fundamental de los sistemas hidrogeo-lógicos, es necesario un buen conocimiento de las diferentes características climáticas de la región, sus variaciones con la latitud y el relieve. El efecto más directo es la recarga de las aguas subterráneas, la cual está determinada por la precipitación y el ciclo hidrológico para la determinación del balance hídrico de una zona. Estos parámetros condicionan el reservorio del agua subterránea y sus características químicas.

En el flanco oriental de las sierras, las precipitaciones son mayores, lo que permite una buena recarga de los acuíferos subterráneos, en cambio hacia el oeste la disminución de las lluvias y la gran insolación provocan un elevado índice de aridez.

Debido a sus características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, se han podido diferenciar tres ambientes hidrogeológicos denominados según la región que ocupan: Provincia Hidrogeológica de los Valles Intermontanos de Las Sierras Pampeanas, que cubren las cuencas hidrogeológicas del valle del río

Santa María y Tafí del Valle, ubicados en el sector oeste del territorio provincial; Provincia Hidrogeológica de Los Valles Intermontanos de Sierras Subandinas, que cubre la cuenca hidro-geológica de Tapiá-Trancas en el sector centro-norte de nuestro territorio y la Provincia Hidrogeológica Tucumano-Santiagoña, que cubre las cuencas hidrogeológicas de la llanura oriental y se extiende hacia el este hasta sobrepasar el límite provincial con Santiago del Estero. (Tineo *et al.*, 1993)

ANTECEDENTES

Varios autores han trabajado en la exploración y explotación del agua subterránea en la provincia de Tucumán, dentro de ellos se deben destacar los importantes aportes realizados por el Dr. R. Stappenbeck (1915, 1916, 1921) a principios de siglo que fueron de fundamental importancia para conocer las características principales de la hidrogeología en el ambiente de la Llanura Oriental.

Posteriormente, Rabsium (1960) actualiza la información de Stappenbeck sobre los límites de las áreas de surgencia en la zona de llanura en base a nuevas perforaciones. Es de gran importancia la labor desarrollada por la Dirección Provincial del Agua (1997), a través de su departamento de perforaciones, quienes ejecutaron una gran cantidad de pozos para agua en diferentes lugares de la provincia, recibiendo a su vez la información de perforaciones particulares, por lo que se cuenta con un importante archivo de datos del subsuelo.

Ruiz Huidobro y Galván (1965), realizaron estudios detallados en el valle de Santa María y Haup (1968), realizó un informe preliminar de la descripción hidrogeológica de la hoja 11 f (Tucumán). El INCYTH investigó entre 1973 y 1977 la zona de Graneros, Trancas y Burreyacu en convenio con el Gobierno Provincial y la Universidad Nacional de Tucumán. En 1970 Vilela publicó a través de la UNT y el Instituto Miguel Lillo, el primer tratado general sobre hidrogeología que se edita en el país. Desde el año 1974, se incorpora la materia Hidrogeología en los planes de estudios de la carrera de Geología de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNT.

Empresas privadas de perforación de pozos profundos destinados al abastecimiento de agua potable y en explotaciones agrícolas, aportaron información que permitieron un mejor conocimiento de los sistemas acuíferos en la provincia.

Los trabajos realizados en la Cátedra de Hidrogeología en los últimos 15 años, contaron con la participación de los geólogos recién egresados que actualizaron en forma detallada las características hidrogeológicas de la Provincia, Enrique de La Vega (1982), Griselda Galindo (1983), M.G. Ramírez (1983), J.E. Carlé (1986), C.M. Falcón (1987), A. Parrado (1987), M. Durán (1987), G.V. Rodríguez (1987), G. Blasco (1988), A. Molina (1988), B. Navas (1988), J. Escalante (1989), F.W. Giménez (1989), G. Ibañez Palacios (1989), E. Ara (1989), C. H. D'Urso (1990), R. Ríos (1991), P. Casanueva (1992), J.E. González (1992), E. Flores Ivaldi (1992), C. Barrios (1994), M.G. García (1995), T. Sal (1997), S. Martínez (1998), I. Gómez (1998) y C. Villafañe (1998).

En la primera edición de este capítulo, participaron los Geólogos E. De La Vega, M.M. Fernández, C. Guerrero y Roberto Fernández. (Tineo *et al.*, 1984).

PROVINCIA HIDROGEOLOGICA TUCUMANO - SANTIAGUEÑA

CUENCA DE LA LLANURA ORIENTAL

La Cuenca de la Llanura Oriental es la más importante de las cuencas hidrogeológicas del territorio tucumano y una de las cuencas más importante del país, abarcando la Provincia Hidrogeológica denominada Tucumano-Santiagoña. La cuenca imbrífera ocupa una extensión de 17000 km², cubriendo casi el 77 % del territorio provincial. La cubeta sedimentaria cuaternaria donde se encuentra una de las cuencas artesianas más importante, ocupa una superficie de 8000 km², extendiéndose desde el borde oriental de la zona montañosa, que se extiende de sur a norte en el territorio provincial, hasta sobrepasar el límite con la provincia de Santiago del Estero al este, donde continúa en profundidad, desde el límite norte con la provincia de Salta hasta el límite sur con la provincia de Catamarca.

Dentro de este gran ambiente sedimentario, es donde se encuentra el mayor desarrollo de los niveles cuaternarios, con más de 400 m de espesor.

Se distinguen importantes variaciones en el subsuelo que permiten hacer una división de la Llanura Oriental en dos cuencas hidrogeológicas: La Cuenca del Nordeste o de Burruyacu y la Cuenca del Río Salí. (Tineo *et al.*, 1993)

CUENCA DEL NORDESTE O DE BURRUYACU

La cuenca hidrogeológica de Burruyacu, está ubicada en el sector noreste de la provincia y se extiende desde la sierra de La Ramada y Del Campo hacia el este hasta sobrepasar el límite con Santiago del Estero y hacia el sur, su límite llega hasta la prolongación de la sierra de La Ramada en profundidad con el espolón de Tacanas, que divide las características estructurales del subsuelo. Este máximo estructural en la llanura tucumana, tiene una gran importancia en el control del flujo subterráneo y está orientado hacia el extremo norte de las sierras de Guasayán, con cuyas estructuras podría estar asociado en profundidad.

En el límite oriental de la cuenca, afloran rocas del basamento con escasa permeabilidad secundaria que permite un rápido escurrimiento hacia la llanura del este. En la zona de borde afloran sedimentos terciarios, los cuales se desarrollan hacia la zona de la llanura vecina en profundidad, formando el substratum de la llanura ondulada que se extiende hasta sobrepasar la ruta provincial N° 319, desde Benjamín Aráoz hasta Cañete y Tacanas hacia el sudeste. En este ambiente los sedimentos cuaternarios presentan buen espesor, con niveles conglomerádicos en antiguos glaciares, en la zona de borde, disminuyendo la granometría hacia la llanura del este y sur de la cuenca.

En base a perforaciones realizadas recientemente y a estudios geofísicos, se han determinado la existencia de sedimentos de edad cuaternaria, con niveles constituidos por arenas y gravas de buen espesor, en la zona de La Ramada, Benjamín Aráoz y El Azul.

En la zona se destaca el cono aluvial del río Tajamar o Cajón (Tineo *et al.*, 1991), que permitió la depositación de niveles

permeables portadores de agua subterránea en un amplio abanico dentro de la llanura.

Hacia el este se encuentra la llanura baja, cuyos límites coinciden en líneas generales con la zona demarcada por Stappenbeck (1921) para la zona de surgencia. Nuevamente se encuentra en profundidad un Cuaternario de escaso espesor y granometría fina, el cual se hace difícil diferenciar de las sedimentitas pliocenas más profundas.

Si bien las sierras del sector oeste son de menor altura que las de los macizos centrales de la provincia, actúan en forma semejante como barreras de los vientos húmedos del Atlántico. La mayor parte de las precipitaciones pluviales, están concentradas en las laderas orientales de las sierras del Nogalito, Medina, Del Campo y de La Ramada y son del orden de los 800 a 1000 mm anuales. Los inviernos son secos y el mes más lluvioso, enero. Las temperaturas medias anuales son de 14 °C a 18 °C. Los valores de verano tomados para el mes de enero, son de 19 °C a 34 °C y para el mes de julio de 8 °C a 12 °C. (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, 1997).

Las características para esta región indican un clima templado moderado lluvioso, de invierno seco no riguroso, de pradera. Según la clasificación de Köppen sería: C wah y BS hwa en la zona baja. La zona cuenta con escasos recursos superficiales, la mayoría temporarios, destacándose el río Tajamar o del Cajón, que desemboca a la altura de Benjamín Aráoz. En este río, se han realizado obras de aprovechamiento, como el dique El Cajón que embalsa 4 Hm³ y cuenta con canales de distribución primitivos.

En el límite con la provincia de Salta corre el río Urueña con un importante caudal que se infiltra en el sector norte de la cuenca. Los ríos mencionados y los pequeños cauces temporarios que se infiltran en la zona pedemontana, junto a la elevada precipitación anual, constituyen la recarga principal de las aguas del subsuelo.

La elevada permeabilidad de los sedimentos cuaternarios provoca una buena infiltración en toda el área, con fuertes pendientes hasta sobrepasar la línea de la llanura ondulada antes mencionada.

Se ha explotado agua subterránea en la zona con diferentes condiciones

hidrogeológica de acuerdo a la ubicación de las perforaciones en relación al sector de la cuenca que se ha investigado. La morfología de la cuenca es indicativa de las características hidrogeológicas más sobresalientes; de esta manera, en la zona del borde oriental y sur de la cuenca, se encuentran acuíferos profundos como en Benjamín Aráoz, Los Pempas, Taruca Pampa, El Diamante y La Ramada, con niveles por debajo de los 30 m bajo boca de pozo, con excelentes resultados en cuanto a caudal y buena calidad, utilizados para riego de citrus y granos. En la zona nororiental, que coincide con la zona de surgencia señalada por Stappenbeck (1921), se encuentran acuíferos explotables por debajo de los 200 m de profundidad bajo boca de pozo en arenas cuarzosas finas, posiblemente de edad pliocena con niveles positivos y de buena calidad. Esta zona se extiende en el subsuelo hasta sobrepasar el límite interprovincial con Santiago del Estero.

CUENCA DEL RÍO SALÍ

Comprende el área cubierta por la llanura tu-cumana desde la zona pedemontana de los bordes del macizo central hacia el este, hasta el límite con la provincia de Santiago del Estero; su límite norte, estaría marcado por el Espolón de Tacanas y el sur, por la provincia de Catamarca. Cubre de esta forma la zona de máximas precipitaciones y con el mayor desarrollo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, conformando una de las cuencas artesianas más importantes del país.

Las lluvias alcanzan hasta los 2.000 mm anuales en la zona de la alta cuenca de Concepción-Monteros, decreciendo hacia el límite con la provincia de Santiago del Estero hasta los 600 mm anuales. De acuerdo a las variaciones de precipitaciones, se pueden dividir o diferenciar dos zonas climáticas en la llanura, una zona próxima al área pedemontana desde Tafí Viejo en el norte hasta la ciudad de Alberdi, con un clima templado moderado lluvioso, con inviernos secos y veranos cálidos, con temperaturas mayores de 22°C para el mes más cálido. Según Köppen: C wah. La otra zona es la llanura adyacente que se extiende hasta el límite con Santiago del Estero, con

precipitaciones por debajo de los 700 mm anuales con inviernos secos y veranos cálidos, según Köppen: BS hwa.

El borde oriental de la cuenca está marcado por los afloramientos de basamento metamórfico desde la altura de San Miguel de Tucumán hasta Rumi Punco al sur, con escasos afloramientos de sedimentos cretácicos-terciarios adosados al macizo montañoso y una cubierta cuaternaria bien desarrollada que, en el subsuelo contiene los principales reservorios acuíferos de la cubeta.

El Cuaternario presenta un perfil típico con las correspondientes variaciones faciales de acuerdo a su ubicación y distancia de la zona de aporte, donde se pueden distinguir los horizontes correspondientes a los niveles de agua freática y los horizontes confinados.

La sección superior, está formada por una cubierta moderna con desarrollo de suelo en un limo arenoso en parte loésico con espesores variables entre 4 y 30 m, luego siguen niveles muy permeables constituidos por gravas gruesas a conglomerados que disminuyen su granulometría hacia el este y es donde se encuentran los niveles acuíferos altos. El cuaternario basal, está constituido por gravas y areniscas intercaladas con material limo arcilloso que conforman los acuíferos artesianos en la zona.

Desde la zona de borde presenta una serie de conos aluviales de gran magnitud que caracterizan a esta cuenca, siendo los principales: el cono aluvial del río Salí, el cono de Lules y desde allí hacia el sur, hasta Alberdi - La Cocha, una serie de conos coalescentes de las cuencas afluentes del río Salí.

El cono aluvial del río Salí (Tineo, *et al.*, 1995) fue definido recientemente como uno de los reservorios de aguas subterráneas más importantes de la provincia. Se extiende desde la latitud de la ciudad Capital y Banda del río Salí hacia el sudeste, con una superficie del orden de los 2.000 Km².

La zona apical, ubicada entre la Banda del Río Salí y San Andrés, presenta niveles de grava gruesa a conglomerádica con rodados de metamorfitas gris oscura y escasos niveles limo-arcillosos. Tiene espesores variables entre 70 y 150 m, con acuíferos de buen rendimiento y buena calidad.

La zona media se ubica a la altura de El Bracho-Mancopa hasta Aguas del Azul y Cañada de Viclos, con espesores que superan los 300 m de profundidad. Se caracteriza por niveles de arenas gruesas y gravas de rocas metamórficas gris oscura, con intercalaciones limo-arcillosas rosadas, que le confieren un confinamiento. En esta zona se han determinado niveles de surgencia natural por debajo de los 80 m de profundidad. En El Bracho se ha realizado una perforación a 300 m de profundidad con una producción de 220 m³/h por surgencia natural; en la Cañada de Viclos a 200 m de profundidad se ha explotado un acuífero con 100 m³/h de surgencia natural.

En la zona distal del cono aluvial, los sedimentos son más finos, determinándose una zona de surgencia natural, aunque con menor caudal en La Encrucijada, Campo Azul y Los Herrera.

En toda la zona que abarca el gran cono aluvial del río Salí, se desarrolla una importante actividad agrícola y una elevada densidad de población, lo que permitirá en el futuro un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

El borde oriental de las sierras de San Javier presenta una serie de abanicos aluviales con buen desarrollo desde Tafí Viejo hasta Lules. Los sedimentos gruesos de estos abanicos, cubren una importante superficie en el área pedemontana y se extienden hacia el este, alcanzando la depresión del Bajo Hondo, con intercalaciones limo-arenosas y limo-arcillosas en la zona distal de los mismos. En la zona este complejo supera los 200 m de espesor, con niveles de surgencia natural.

En el área pedemontana se explotan estos acuíferos para abastecimiento de agua potable, en Tafí Viejo y Villa Carmela y para riego de citrus.

Hacia el sur, el cono aluvial del río Salí se confunde con el ambiente de llanura donde los aportes de los conos provenientes de las sierras del oeste, acumulan sedimentos gruesos formando excelentes acuíferos con una muy buena recarga producida por la infiltración de lluvias y de los ríos que circulan hacia el río Salí.

A partir del río Lules, una importante cantidad de afluentes del río Salí caracterizan la región con sus aportes hídricos, destacándose la gran cuenca del

Colorado-Balderrama, Seco, Gastona, Medina y Marapa.

En este ambiente, la presencia de horizontes permeables en profundidad y con la recarga antes mencionada, presentan las condiciones más adecuadas para la explotación del agua subterránea. En sus estudios realizados a principios de siglo, Stappenbeck (1915, 1916, 1921) ha demarcado la zona de surgencia que cubre toda la llanura tucumana, desde el Espolón de Tacanas al sur y por el oeste desde la línea de la ruta nacional N° 38 al este, alcanzando estas características hasta las proximidades de Juan Bautista Alberdi.

En la zona más baja de la cuenca, se observan problemas de salinización de suelos como consecuencia del aumento en el nivel freático en épocas estivales, debido a un drenaje deficiente por la escasa pendiente de la llanura,

La cuenca sedimentaria profunda tiene un buen desarrollo, habiéndose comprobado por métodos sísmicos de refracción realizados por Y.P.F. en la zona de Atahona, una profundidad de 2.500 m para el basamento, disminuye hacia el este, siendo la sierra de Guasayán en la provincia de Santiago del Estero, el contrafuerte oriental de la cuenca.

Las aguas obtenidas en este ambiente son en general de buena calidad, aumentando la peli-grosidad salina hacia el este y con muy buenos caudales.

En el sector sur de la provincia, la cuenca hidrogeológica cambia sus características fundamentales, a partir del río Marapa hasta el límite con la provincia de Catamarca. Las pendientes predominantes en sentido oeste-este en la zona central, cambian con una dirección que varía hacia el noroeste y norte y está influenciada por los afloramientos de las rocas del basamento de las cumbres de Balcozna, Narvéez y Portillo y la sierra de Ancasti en su extremo norte. En el borde de las cumbres mencionadas, afloran sedimentos limo-arcillosos de edad terciaria y que se manifiestan en la zona pedemontana con suaves ondulaciones cubiertas con niveles cua-ternarios de escaso espesor; estos niveles cubren gran parte del área con mayor desarrollo en profundidad hacia la zona baja de la llanura.

La zona cuenta con precipitaciones del orden de los 600 a 800 mm anuales y una serie de ríos temporarios y permanentes que

al alcanzar la zona baja, se pierden por infiltración en los terrenos permeables del Cuaternario.

Al sur del río Marapa o Graneros, se encuentra el río San Ignacio, afluente de aquel con caudal permanente sólo en su tramo superior, que drena las aguas de la sierra de Balcozna. Sus aguas son utilizadas para riego en la zona de La Cocha y sólo en épocas de crecidas alcanza a desembocar en el río Marapa, donde llega la parte distal del cono aluvial del río San Ignacio.

En el extremo sur, la cuenca recibe los aportes de los ríos Huacra-San Francisco, El Abra y Ovanta, que nacen en territorio catamarqueño y forman importantes depósitos en abanicos que sobrepasan el límite con Tucumán, alcanzando la ruta N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo.

Se han determinado grandes reservorios de agua en la zona de Palancho, Colonia Nicolás Avellaneda y Los Vázquez, con caudales específicos entre 30 a 50 m³/h/m y agua de buena calidad que se utiliza para riego.

Hacia el norte, en la zona de la ruta provincial N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo, mejoran las condiciones físicas de los acuíferos, encontrándose perforaciones con buena calidad y con buenos rendimientos, en los acuíferos profundos. Los niveles freáticos son en general de mala calidad. (Foster y Hirata, 1991)

Es de destacar que en la llanura tucumana antes estudiada, se encuentran niveles acuíferos con anomalías térmicas importantes que caracterizan las aguas profundas de la zona.

Aunque no se cuenta con un relevamiento geotérmico completo, se pueden señalar los pozos surgentes de Talamuyo, Departamento Alberdi, que encontró niveles acuíferos a 450 m de profundidad con temperaturas de 38°C. En Taco Ralo, a 398 m se explota agua semisurgente con temperaturas de 39°C; Viltrán, surgente con 42°C; Los Páez, también surgente con 46°C y Puesto del Medio, a 4 km. al sur del anterior, con un caudal de 100 m³/h por surgencia natural y una temperatura de 50°C a 412 m de profundidad, todos en el departamento Graneros. (Iglesias *et al.*, 1989).

La provincia de Tucumán, cuenta con un importante recurso hídrico

subterráneo, especialmente por las condiciones artesianas con niveles positivos en la Llanura Oriental; a fin de preservar este recurso, es necesario un control adecuado en la explotación irracional de los llamados "pozos surgentes", los cuales se encuentran abiertos, en producción permanente, con pérdidas de agua y presión, con lo que se deterioran las condiciones del recurso en el subsuelo a la vez que la circulación de agua en exceso, afecta la calidad de los suelos por donde circula.

PROVINCIA HIDROGEOLOGICA DE LOS VALLES INTERMONTANOS DE LAS SIERRAS PAMPEANAS CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA

El valle de Santa María, constituye una amplia depresión tectónica con rumbo sud-sudoeste - nor-noreste, situado entre bloques de basamentos de las sierras del Cajón o de Quilmes, al oeste y las Cumbres Calchaquíes-Aconquija al este; se extiende desde la provincia de Catamarca hasta la provincia de Salta, desarrollando su área central en territorio tucumano con una superficie total de la Cuenca Hidrográfica de 1.730 km².

Los bordes de las cuencas están constituidos por rocas ígneas y metamórficas de las sierras antes mencionadas, con escasa permeabilidad secundaria debido a la presencia de diaclasas y fracturas y elevado escurrimiento superficial. (Galván, 1981).

En el valle aflora sedimentos mesozoicos y terciarios (Bossi, 1969) en la zona del borde oriental con material fino, compacto, de escaso interés hidrogeológico, de baja permeabilidad y con peligrosidad salina.

El relleno cuaternario se desarrolla en niveles de glaciares, conos modernos y terrazas de acumulación con material aluvional grueso hasta niveles de pelitas intercaladas (Ruiz Huidobro y Socic, 1980). Estos sedimentos que ocupa una superficie de 100 Km² en territorio tucumano, representan los principales reservorios de agua subterráneas en la cuenca y su máximo desarrollo se observa en la vertiente occidental.

Clima

Las precipitaciones son del orden de los 200 mm anuales decreciendo hacia el oeste hasta llegar a valores de 150 mm en los faldeos orientales de las sierras del Cajón o de Quilmes. Las temperaturas medias anuales varían entre 14 °C y 16 °C, siendo la media del mes de enero de 20 °C y la media del mes de julio 8 °C. El clima de la región se puede definir como un clima de desierto, frío con medias anuales de 18 °C y con lluvias de verano e invierno seco. De acuerdo a la clasificación de Köppen, sería: BW kwb.

Escurrimiento superficial

El río Santa María que recorre de sur a norte, es el colector principal del valle y recibe los afluentes que descienden de las sierras de Quilmes, siendo la mayoría de ellos ríos estacionales y de escaso caudal: río de Quilmes, río Managua y río Anchillo. Desde el este recibe los afluentes que provienen de las Cumbres Calchaquíes y del Aconquija: río Cañada, río Yasyamayo, siendo el principal el río de Amaicha; estos últimos, descienden al valle después de disecar espesos paquetes sedimentarios terciarios. El último de los ríos mencionados, es el único afluente permanente en territorio tucumano.

En esta zona, el abastecimiento de agua para consumo humano, hacienda y riego, se hace principalmente a partir de recursos superficiales ya que son escasas las perforaciones existentes. (Tineo y Flores, 1993).

Recarga, flujo subterráneo y descarga

La cuenca de Santa María, tiene un marcado déficit hídrico anual, recibiendo sólo un mínimo aporte de las precipitaciones en la zona de los conos adosados en ambas laderas de las sierras, especialmente en las sierras de Quilmes y el agua que escurre sobre superficies de erosión de los estratos precuaternarios de escasa permeabilidad, a través de la suave pendiente de los glaciares que descienden desde el este; además de los subálveos de torrentes que desaguan en el fondo del valle, que aportan al área de inundación del río Santa María. Finalmente, recibe también, el agua que se infiltra directamente del río principal y de otros ríos

menores de régimen permanente, como el río de Amaicha.

La recarga natural ha sido estimada en 8,8 Hm³/año, a lo que se debe agregar los aportes de la recarga artificial de riego utilizando agua superficial y de subsuelo.

De acuerdo a las características estructurales del valle y a las geoformas predominantes en el mismo, se considera que a partir de la infiltración en la zona antes mencionadas, el flujo subterráneo tendría una circulación similar al flujo superficial.

La zona de descarga del agua subterránea desde las laderas vecinas, está ubicada en el área más baja del valle, extendiéndose a 1 km a ambos lados del canal de estiaje del río Santa María a lo largo de la depresión. Esta es la zona con mayores posibilidades para la explotación del agua subterránea por encontrarse material sedimentario de granometría adecuada, que facilita la perforación, y es donde se encuentran los niveles de explotación más favorables.

Existen otras zonas, como el caso de Amaicha del Valle, donde la tectónica local ha permitido una acumulación considerable de material permeable, aunque de menor rendimiento que la zona baja de la cuenca.

Entre Quilmes y Colalao del Valle se observan afloramientos de aguas subterráneas con formación de lagunas y bañados al que alude la localidad de "El Bañado".

Desconociendo el valor de la descarga natural, se ha estimado en 4 Hm³/año, la descarga máxima producida por bombeo de perforaciones ubicadas en una superficie de almacenamiento calculada en 100 km².

Características y profundidad del acuífero

En la zona considerada con mayores posibilidades para la explotación de los recursos hídricos subterráneos, en las márgenes del río Santa María, se ha comprobado la existencia de diez niveles permeables saturados de agua hasta la máxima profundidad de 210 m bajo boca de pozo, en Puesto de Incalilla.

El primer horizonte portador de agua se extiende desde la superficie del terreno hasta una profundidad que oscila entre 8 y 24 m bajo boca de pozo; en Amaicha está entre 12 y 29 m. b.b.p., el nivel oscila entre

10 y 16 m.b.b.p., saturando todo el acuífero en los alrededores del El Bañado.

Los acuíferos restantes están sometidos a presión, estando el primer acuífero confinado por debajo de los 20 m.b.b.p.

Los niveles ascienden en todos los casos a profundidades que oscilan entre 15 y 30 m.b.b.p., con excepción del museo de Quilmes, donde la ubicación del mismo en la parte distal del cono aluvial permite que el nivel ascienda hasta un metro bajo boca de pozo; esta perforación cuenta con una profundidad total de 115 m y un caudal de 150 m³/h. Los caudales específicos son del orden de los 15 m³/h/m.

El agua obtenida en las perforaciones de la cuenca es apta para el consumo humano y la hacienda y de buena calidad para riego (C2 S1).

Estudios recientes realizados en base a nuevas perforaciones permitieron conocer la importancia de los abanicos aluviales de las sierras de Quilmes, desde Santa María a Cafayate donde se encuentran los principales reservorios de agua subterránea de la zona. Se considera que estos depósitos, tienen un gran desarrollo, sobrepasando su parte distal la línea del cauce actual del río Santa María, con lo que explicaría los niveles de surgencia natural encontrados en áreas vecinas al río en ambas márgenes.

CUENCA DE TAFI DEL VALLE

La cuenca de Tafí del Valle, también pertenece a la Provincia Hidrogeológica de los Valles Inter-montanos de las Sierras Pampeanas y está ubicada al oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, ocupando una depresión tectónica cuya superficie es del orden de los 400 km², con rumbo nor-noroeste-sud-sudeste. Está limitada por bloques de basamento metamórfico, afectados por intrusiones graníticas de las sierras del Aconquija por el oeste y las Sierras Centrales por el este. El complejo rocoso presenta una considerable permeabilidad secundaria debido a la densa red de fracturas y diaclasas que lo afectan.

Por encima del basamento mencionado, se encuentran relictos de una cubierta sedimentaria de edad terciaria que se observa al este de La Angostura y una brecha en el límite occidental de la cuenca, posiblemente de la misma edad.

El relleno cuaternario del valle, está representado por sedimentos aluviales gruesos, constituyendo conos y glacis antiguos (Collantes y Sayago, 1987) y depósitos de loess (Sayago *et al.*, 1987) y conos actuales; además del acarreo de los ríos más importantes del valle que constituyen los acuíferos principales del área.

Clima

Se trata de un valle intermontano donde las precipitaciones llegan a 400 mm anuales, la temperatura media anual es de 18 °C. Los inviernos son secos, las máximas precipitaciones en el mes de enero varían entre 80 y 100 mm. Los veranos son templados. En conjunto, estas características indican para esta cuenca, un clima de estepa - frío con inviernos secos y veranos templados. Según la clasificación de Köppen, sería: BS kwb. (Torres Bruchmann, 1978)

Escorrentía superficial

El colector principal del valle es el río La Angostura, también denominado río de Tafí del Valle o del Infiernillo, que circula con rumbo paralelo a las estructuras del valle. Recibe por su margen izquierda numerosos arroyos que descienden de las Cumbres Calchaquías, como el río de La Puerta y el arroyo de la Quebradita, el cual es aprovechado para la provisión de agua potable a la localidad de Tafí del Valle. Por su margen derecha colectan los ríos Blanco, de La Ovejería, de Las Carreras y de El Mollar. El agua superficial es de buena calidad y es utilizada para el consumo humano, riego y hacienda. Están caracterizados por un régimen estacional que los mantiene secos o con escaso caudal gran parte del año.

Recarga, flujo subterráneo y descarga

La recarga de los acuíferos en esta área con balance hídrico negativo, proviene de las escasas precipitaciones que se infiltran en los niveles permeables de los conos adosados al tronco montañoso y de los cursos superficiales provenientes de las precipitaciones y del deshielo en las altas cumbres que rodean al valle al este y al

oeste; además mediante percolación en los subálveos donde circula subsuperficialmente.

El agua así infiltrada en los depósitos del valle, recarga los niveles freáticos y los acuíferos más profundos. La dirección de escurrimiento subterráneo acompaña aproximadamente al escurrimiento superficial con pendientes definidas, constituyendo el área del dique La Angostura, la zona de descarga.

La zona con mayores posibilidades para la explotación del agua subterránea se ubica en la zona de El Churqui, al norte de la Loma Pelada o del Medio, y en El Mollar, al sur de la misma estructura positiva, allí se ha desarrollado un importante abanico aluvial donde se asienta la villa, con buenos reservorios de agua en el subsuelo. Además, en una franja desarrollada en ambos márgenes del río Tafí del Valle, entre la Villa homónima y La Angostura. Esta área totaliza aproximadamente 60 km² del re-servorio adecuado para el almacenamiento de agua subterránea. (Tineo, 1996).

Desde el borde de las sierras de Mala Mala, se desarrollan una serie de conos aluviales coalescentes que forman importantes reservorios de agua en el subsuelo. Las perforaciones de El Triángulo y Puesto de Vialidad Provincial, sobre la ruta de acceso a Tafí, confirman la existencia de niveles productivos de buena calidad. Estudios geofísicos recientes y nuevas perforaciones han permitido correlacionar algunos niveles del subsuelo en el valle.

Profundidad de acuífero

En la zona antes señalada, se han realizado cuatro perforaciones, y alcanzado seis niveles acuíferos hasta los 160 m, máxima profundidad alcanzada a la fecha. El primer nivel acuífero se encuentra entre los 2 y los 14 m bajo boca de pozo, el cual no llega a saturación total en ninguna época del año.

Los acuíferos restantes son confinados y se encuentran por debajo de los 18 m de profundidad. Los niveles ascienden hasta profundidades que oscilan entre 5 y 7 m bajo boca de pozo con caudales específicos de 4 m³/h/m. Las aguas obtenidas son de buena calidad para todo uso.

PROVINCIA HIDROGEOLOGICA DE LOS VALLES INTERMONTANOS DE LAS SIERRAS SUBANDINAS CUENCA TAPIA-TRANCAS

La Cuenca de Tapia-Trancas comprende el sector centro-norte de la provincia de Tucumán, y se encuentra limitada al este por las sierras de Medina, al oeste por las serranías de Raco y por las Cumbres Clachaquíes; al sur, el cierre se efectúa por el morro del Cadillal y los bordos del Saladillo .

Este sector pertenece a la Provincia Hidro-geológica de las Sierras Subandinas, caracterizadas por una buena recarga y escaso espesor de cuaternario sobre sedimentos terciarios de elevado contenido salino.

La cuenca está constituida por formaciones que van desde el Paleozoico al Cuaternario que sufrieron plegamientos y fallamientos dando lugar a la formación de un valle longitudinal. Esta depresión denominada también valle de Choromoro, coincide con un sinclinal formado durante los movimientos ándicos. (Fernández Garrasino, 1991).

La zona alta de la cuenca está formada por rocas del basamento de escasa permeabilidad secundaria y en los bordes del sinclinal se encuentra una secuencia mesozoica-terciaria con rocas no aptas para la explotación del agua subterránea. Al pie de las escarpas de falla, se formaron los depósitos aluviales y en las zonas profundas del valle, se depositaron los sedimentos cuaternarios portadores de agua de buena calidad.

Clima

La zona cuenta con una precipitación anual de 400 a 600 mm en la zona baja, aumentando la magnitud de las precipitaciones en dirección oeste hasta llegar a los 800 mm anuales en las altas Cumbres Calchaquíes . Las lluvias son periódicas y de la estación seca en invierno. La temperatura media anual es superior a los 18 °C . El clima de esta región es un clima seco de estepa, caracterizado por la escasez de precipitaciones pluviales y con grandes

pérdidas por evapotranspiración. Según la clasificación de Köppen sería: BS hwa.

Escurrimiento superficial

La extensión de la cuenca hidrográfica superficial, es del orden de los 3.900 km² con una precipitación anual de 3188 Hm³ y una evapotranspiración de 2.706,8 Hm³, con un escurrimiento superficial medido en El Cadillal de 417,5 Hm³, lo que da una infiltración de 63,7 Hm³ por año (Minetti, 1979). La zona con posibilidades de explotación del recurso hídrico subterráneo, se reduce notablemente debido a las características del reservorio, que cuenta con un mayor desarrollo en el área donde se observa una mayor amplitud del valle, por ejemplo Villa Benjamín Paz y Trancas. (Tineo *et al.*, 1996).

La posibilidad de utilización de aguas superficiales, sólo es posible en los ríos Tala, Acequiones, Vipos, Choromoro, Candelaria y Salí, ya que el resto son arroyos temporarios, que se encuentran secos gran parte del año; se agrega, además, la asimetría que tiene la cuenca con inclinación al este por donde circula el río Salí, colector principal de los tributarios antes mencionados. Esta cuenca cuenta con un importante aprovechamiento superficial en su extremo sur con el dique El Cadillal, que produce energía hidroeléctrica y regula los caudales de la cuenca baja del Salí, además es una fuente importante del abastecimiento de agua potable en la Capital.

Recarga, flujo subterráneo y descarga

La distribución en el valle de los diferentes terrenos con posibilidades de aprovechamiento para la extracción de agua subterránea, indica que existe un 55% correspondiente a formaciones me-sozoicas-terciarias no aptas para cultivos y con escaso contenido de agua de mala calidad. El 45% restante, corresponde el 18 a depósitos pedemontano y 27 % a los depósitos aluviales, que, desde el punto de vista hidrogeológico, constituye los reservorios principales de la cuenca; con el inconveniente que, debido al escaso espesor y sus fuertes pendientes, no pueden retener el gran volumen de agua que circula por ellos.

El espesor promedio de estos depósitos es de 20 m, aunque existen lugares donde se ha perforado más de 100 m de espesor útil alumbrando agua de buena calidad y con caudales específicos de 4 a 10 m³/h/m, con niveles entre 5 y 15 metros bajo boca de pozo en Puesto Policial El Tala, Escuelas N° 265 y 233 de Trancas, N° 304 de San Isidro y N° 306 de El Brete.

La descarga de los ríos Vipos, Choromoro y Acequiones al valle principal ha formado depósitos de conos aluviales que permiten la acumulación de aguas subterráneas en niveles permeables con mayor desarrollo.

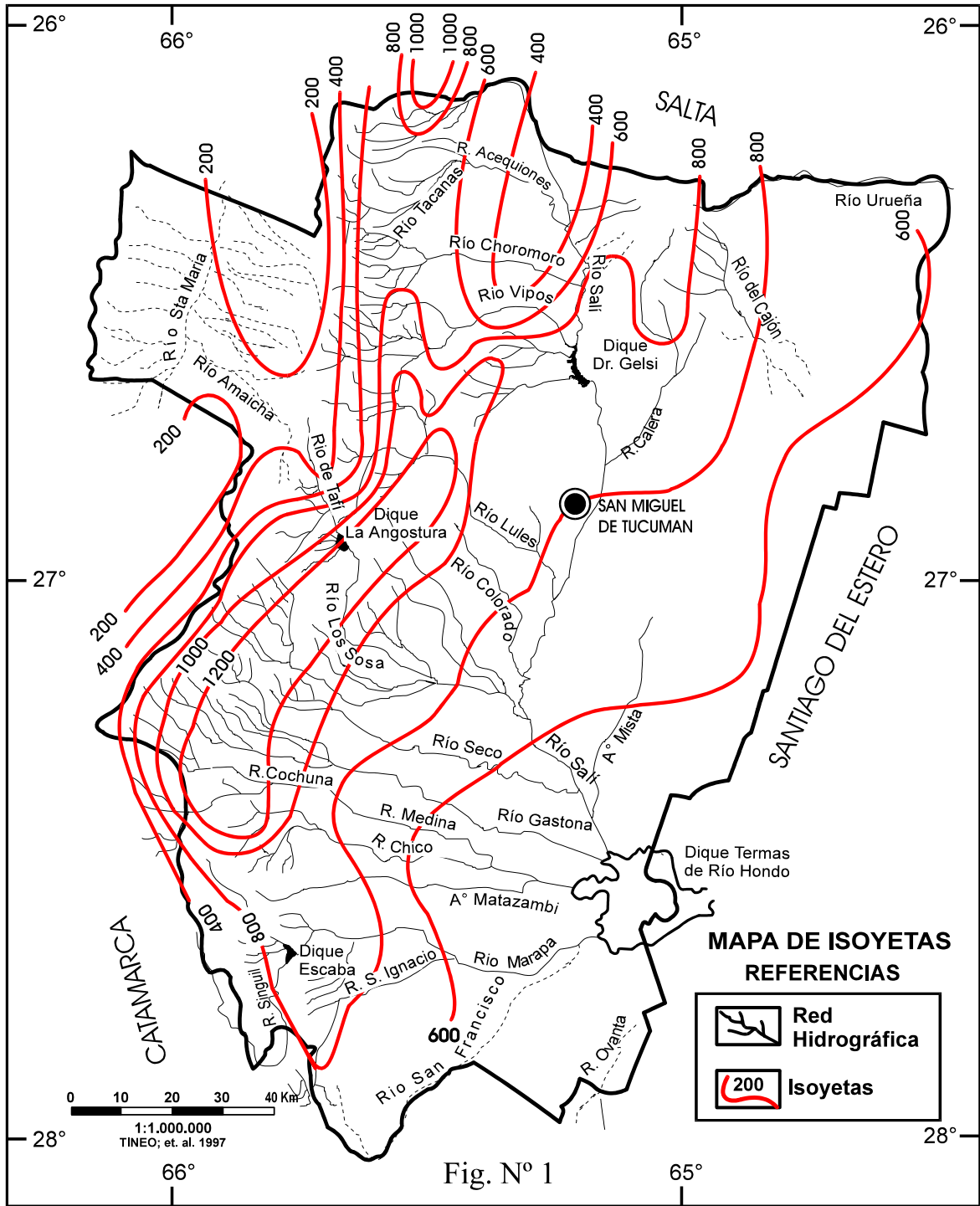
En síntesis se puede decir que la cuenca Tapia-Trancas cuenta con una buena recarga anual, con precipitaciones del orden de los 600 mm y debido a su conformación geológica sólo es posible la explotación de acuíferos en la zona baja y de mayor amplitud del valle, donde se encuentran sedimentos cuaternarios (Patrouilleau *et al.*, 1987) portadores de agua abundante y de buena calidad en una extensión que no sobrepasa los 1000 km² de superficie.

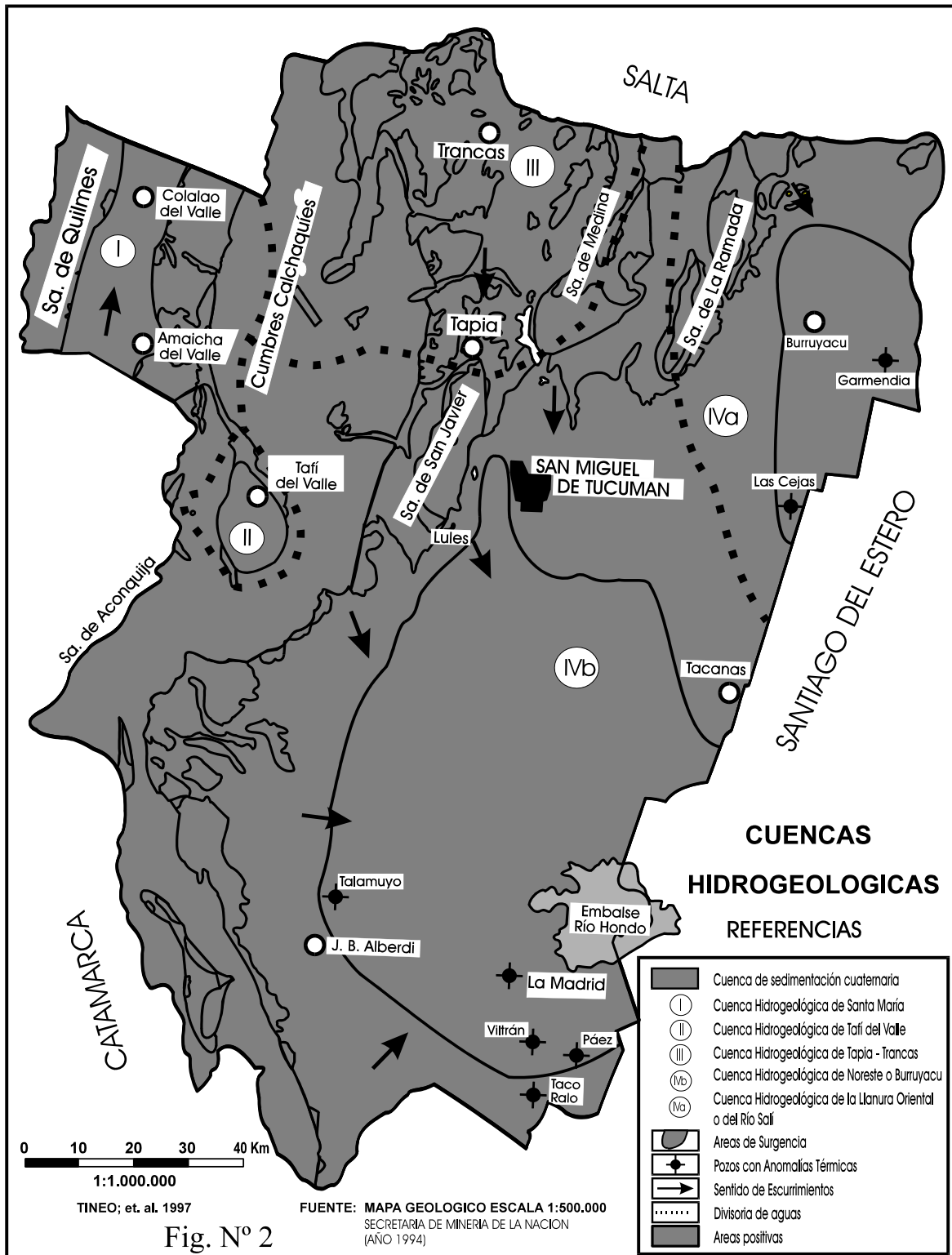
Dado la importancia que tiene esta cuenca para el abastecimiento del dique El Cadillal y de allí la provisión de agua potable a la ciudad capital, es necesario la sistematización de la cuenca alta y la preservación de los suelos en la zona, con una explotación racional de sus recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- BOSSI, G.E., 1969. Geología y Estratigrafía del Sector sur del Valle de Choromoro, Tucumán. Acta Geológica Lilloana 10:17-64. Tucumán.
- COLLANTES, M. y SAYAGO, J.M., 1987. Paleogeomorfología del Valle de Tafí, Provincia de Tucumán, Argentina. Acta 3:321-324. 10° Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán.
- DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AGUA, 1997. Datos de Archivo del Laboratorio Hidrogeológico - Departamento de Perforaciones. San Miguel de Tucumán. Inédito.
- ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL OBISPO COLOMBRES, 1997. Datos de Archivo del Departamento de Agroclimatología. San Miguel de Tucumán. Inédito.
- FERNÁNDEZ GARRASINO, C., BIANUSSI, H., y MUSMARRA, J. 1984. Algunos Rasgos Geológicos del Sur de Salta y Este de Tucumán. Boletín de Informaciones Petroleras. Tercera Epoca, 1 (1):62-72. Buenos Aires.
- FERNÁNDEZ GARRASINO, C. 1991. Aspectos Geológicos de Algunas Serranías del Noroeste Argentino, Llanura Oriental Tucumana y Valle de

- Trancas-Choromoro. Temas Exploratorios (Provincia de Tucumán, Catamarca y La Rioja, Argentina). Boletín de Informaciones Petroleras. Tercera Epoca. (En Prensa) Buenos Aires.
- FOSTER, S. y H. HIRATA, 1991. Determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud (OMS). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2da. Edición Revisada. Lima.
- GALVÁN, A., 1981. Descripción Geológica de la hoja 10-e, Cafayate. Provincia de Salta. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 177. Buenos Aires.
- HAUPT, M., 1968. Descripción Hidrogeológica de la Hoja 11f "Tucumán" (Cono de Deyección Tucumano). Provincia de Tucumán. Informe preliminar. (Inédito). Instituto Nacional de Geología y Minería.
- IGLESIAS, E., TINEO, A., DURÁN, M., VERMA, M., GARCÍA, J., FALCÓN, C. y BARRAGÁN, M. 1989. Geochemical Survey of the Llanura Tucumana Geothermal Area, Argentina. Geothermal Resources Council Transaction. (13):165-171. California.
- MINETTI, J., RAMÍREZ, M.G. y SUÁREZ, L. 1979. Balance Hidro-lógico de la Cuenca y Subcuencas del Río Salí. Publicación Miscelánea N° 64. Estación Experimental Agro-Industrial "Obispo Colombres". Tucumán.
- PATROUILLEAU, R. D., BASKARCIC, B. y CALVETTY AMBONI, B. 1987. Estudio Hidrogeológico en la Zona de Trancas, Provincia de Tucumán. Acta III: 219-222. 10° Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán.
- RABSIUM, S., 1960. Introducción a la Hidrología de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Publicación 821:1-179. Tucumán.
- RUIZ HUIDOBRO, O. J. y GALVAN, A., 1965. Geología del Valle de Santa María. Estratigrafía de las Formaciones Mesozoicas-Terciarias. Acta Geológica Lilloana 7: 217-230. Tucumán.
- RUIZ HUIDOBRO, O., 1972. Descripción Geológica de la Hoja 11-e, Santa María, Provincias de Catamarca y Tucumán. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín 134. Buenos Aires.
- RUIZ HUIDOBRO, O. y SOSIC, M. 1980. Aguas Subterráneas. 2° Simposio Geología Regional Argentina. Tomo 2: 1641-1691. Córdoba.
- STAPPENBECK, R., 1915. Las Aguas Subterráneas del Sur de la Provincia de Tucumán. Boletín Oficial de la Casa de Gobierno de la Provincia de Tucumán. (17):1-37. Tucumán.
- , 1916. El Agua Subterránea en el Cono de Deyección de Tucumán. Boletín Oficial de la Casa de Gobierno de la Provincia de Tucumán. N° 5. Tucumán.
- , 1921. Reseña Hidrogeológica del nordeste de la Provincia de Tucumán y partes adyacentes. Dirección General de Mineralogía, Geología e Hidrología. Tomo 1: 215-227. Buenos Aires.
- , 1921. Estudios Geológicos en la zona subandina de las Provincias de Salta y Tucumán. Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Minería. Buenos Aires.
- SAYAGO, J. M., POWELL, J., ESTEBAN, G. y COLLANTES, M. 1987. Informe Preliminar sobre la Bioestratigrafía y Paleogeomorfología de los Sedimentos Loessicos de la Angostura, Departamento Tafí del Valle, Provincia de Tucumán, República Argentina. Acta 3: 317-320. 10° Congreso Geológico Argentino. Tucumán.
- TINEO, A., FERNÁNDEZ, M. M., FERNÁNDEZ, R., GUERRERO, C. y DE LA VEGA, E. 1984. Hidrogeología. Capítulo 17°: 155-170. Libro Geología de Tucumán. Publicación del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Tucumán.
- TINEO, A., GARCÍA, J. y FALCÓN, C. 1991. El Cono Aluvial del Río Cajón, Provincia de Tucumán, Argentina. Vol. 1: 373-377. 6° Congreso Geológico Chileno. Viña del Mar.
- TINEO, A., FALCÓN, C., GARCÍA, J., D'URSO, C. y RODRÍGUEZ, G. 1993. Hidrogeología de la Llanura Tucumana, Provincia de Tucumán. Acta 6: 172-176. 12° Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
- TINEO, A. y E. FLORES, 1993. Características Hidrogeológicas del Valle del Río Santa María, Provincia de Tucumán. Acta VI:166-171. 12° Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
- TINEO, A., FALCÓN, C., GARCÍA, J., GALINDO, G., RODRÍGUEZ, G. y D'URSO, C. 1993. Ambientes Hidrogeológicos y los Riesgos de Contaminación de la Provincia de Tucumán. Acta I:331-348. 1° Seminario Hispano Argentino Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Mar del Plata.
- TINEO, A.; GARCÍA, J.; FALCÓN, C.; D'URSO, C. y RODRÍGUEZ G., 1995. Hidrogeología del cono Aluvial del Río Salí, Provincia de Tucumán, Argentina. 9° Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas.
- TINEO, A., RODRÍGUEZ, G., GARCÍA, J., D'URSO, C. y FALCÓN, C. 1996. Características Hidrogeológicas del Valle de Tapia-Trancas, Provincia de Tucumán, Argentina. Capítulo 2°: 215-226. 3° Congreso de ALSHUD, Avances '96. San José de Potosí, México.
- TINEO, A., 1996. Hidrogeología de Tafí del Valle, Provincia de Tucumán, República Argentina. Tomo I: 122-130. 12° Congreso Geológico de Bolivia. Tarija.
- TORRES BRUCHMAN, E.T., 1975. El Balance Hidrológico: Su determinación y aplicaciones. Ediciones Sección Publicaciones de la Facultad de Agronomía y Zootécnia. UNT. Serie Didáctica 39. Tucumán.
- TORRES BRUCHMAN, E.T., 1978. Las Clasificaciones Climáticas de Köppen y Thornthwaite. Ediciones Sección Publicaciones de la Facultad de Agronomía y Zootécnia. UNT. Serie Didáctica 48. Tucumán.
- VILELA, C.R., 1970. Hidrogeología. Opera Lilloana 18. Tucumán.





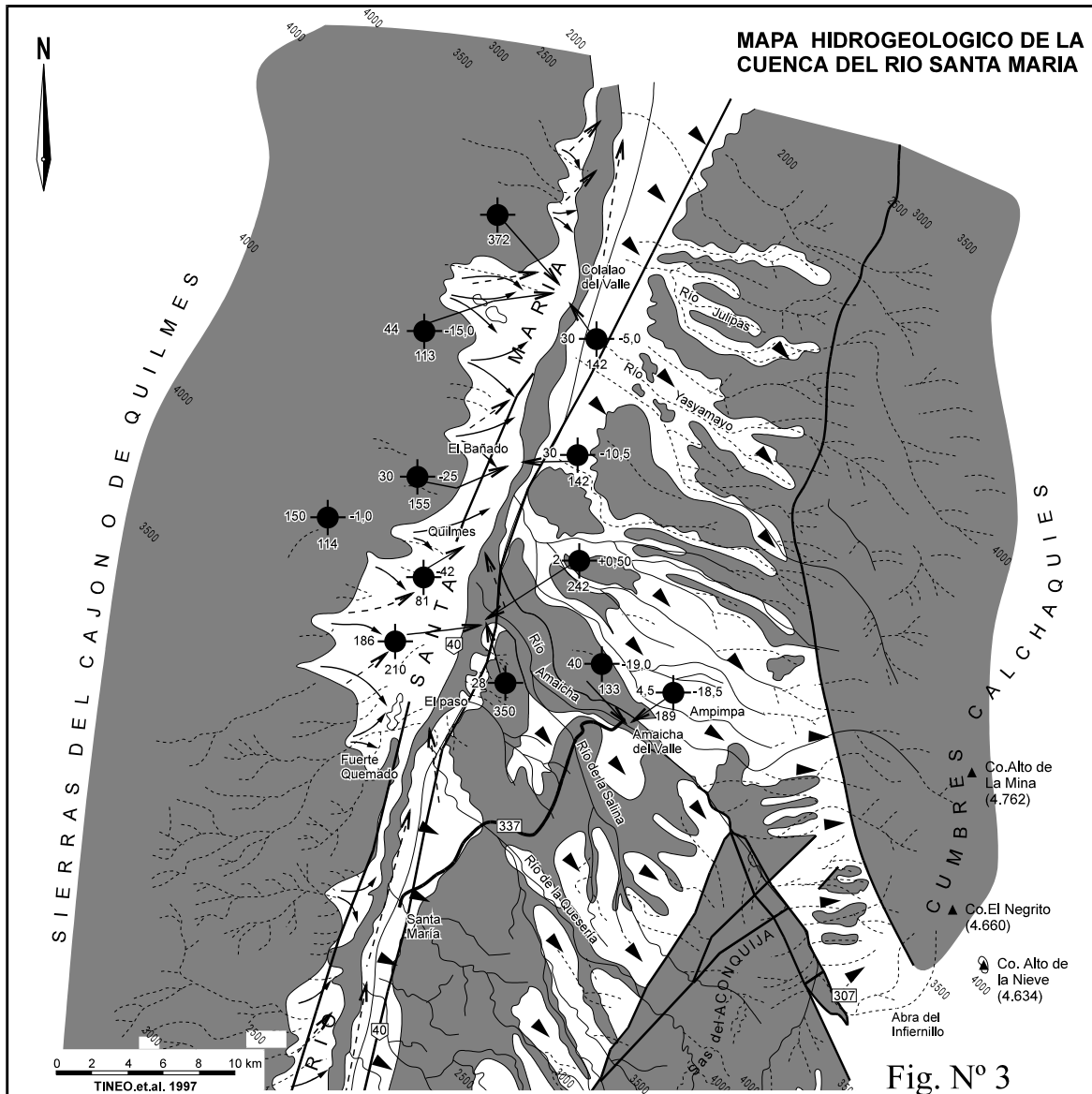
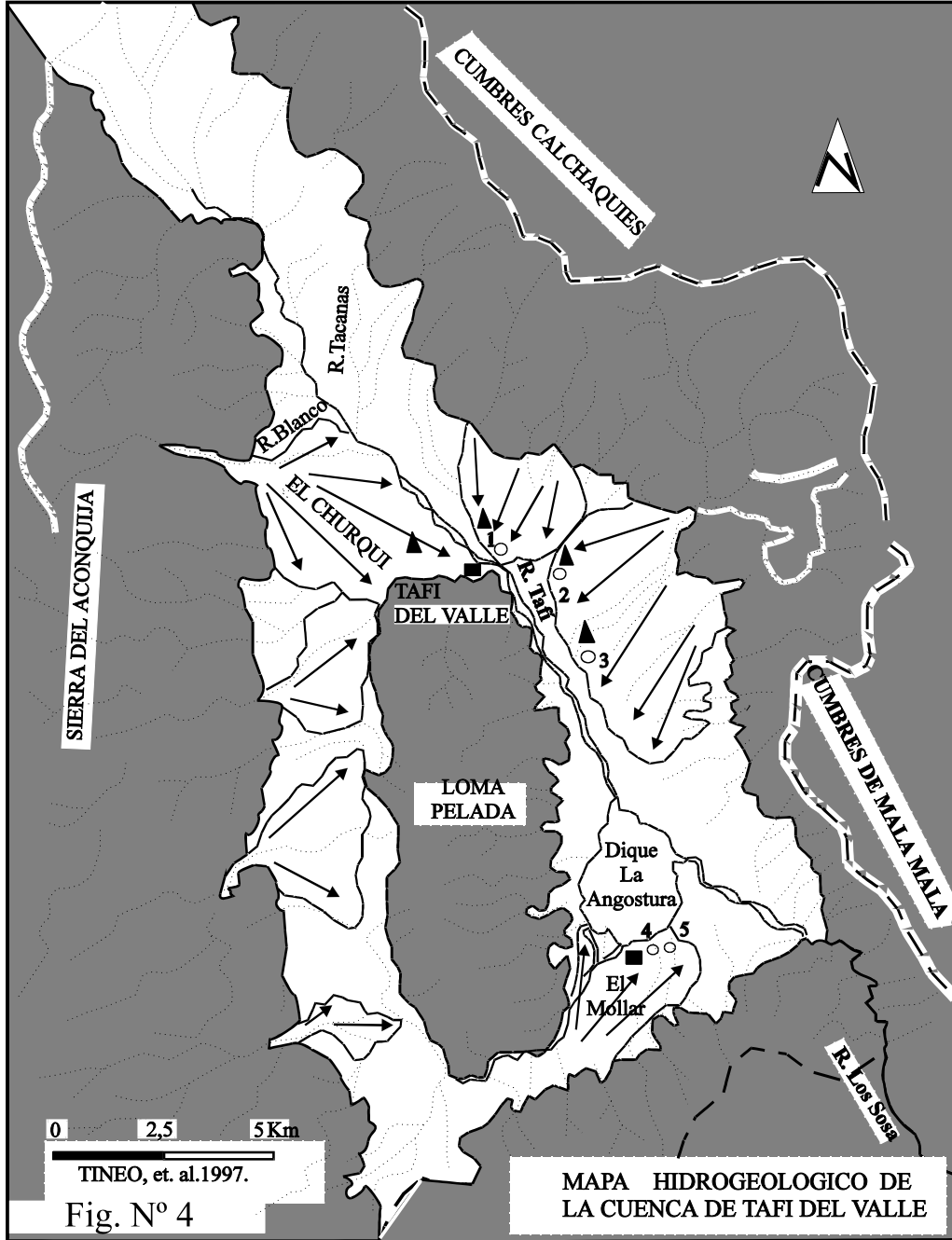


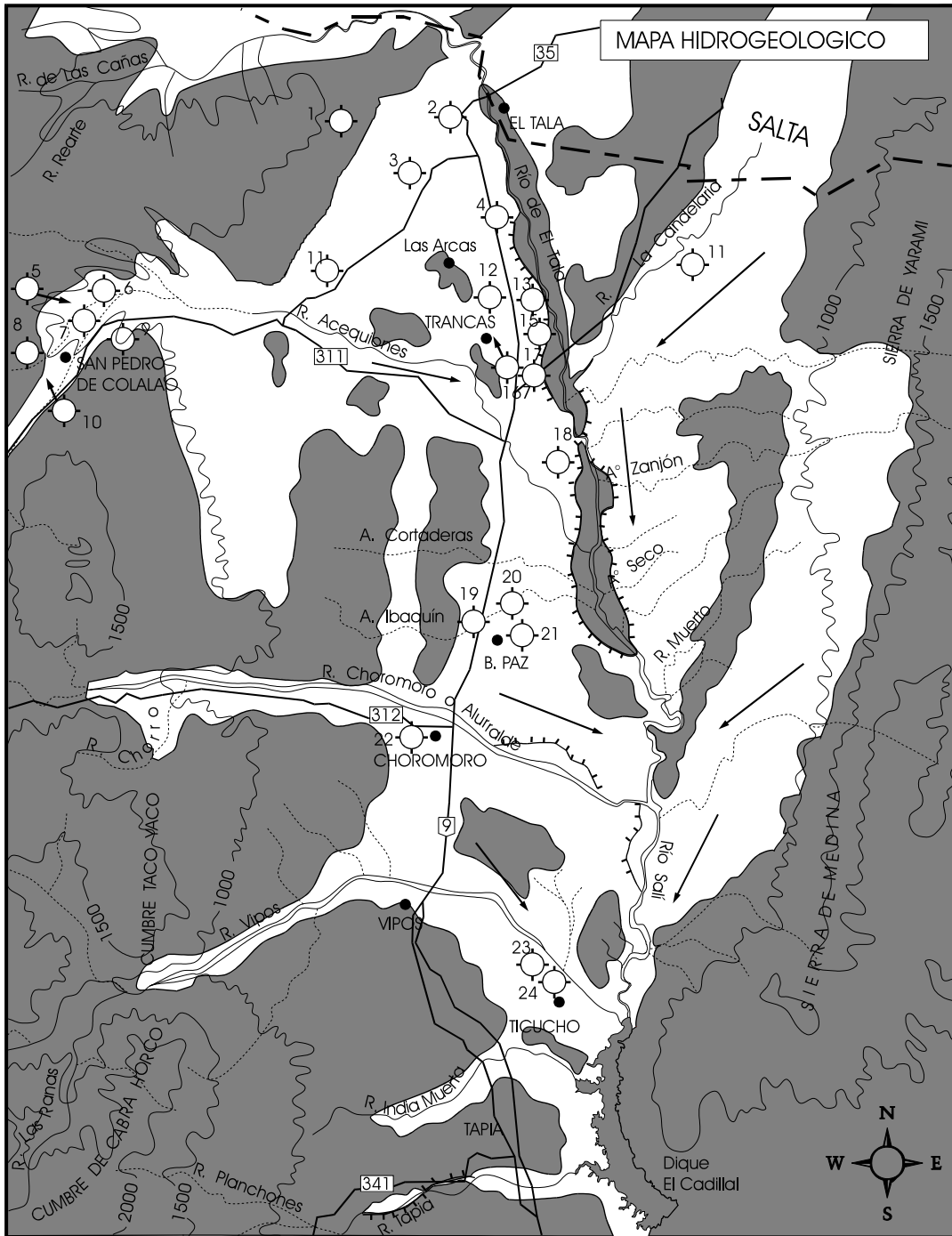
Fig. N° 3

LITOLOGIA		CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS	
	Arenas, Limos y Gravas	Acuífero Intergranular de elevada Productividad	
	Gravas y Arenas	Rocas fisuradas y sedimentos de baja permeabilidad sin reservorios de agua económicamente explotables	
	Gravas, Arenas, Limos y Arcillas		
	Limos, Arcillas, Margas, etc.		
	Rocas igneas y metamórficas.		

Ruta nacional	Curvas de nivel	Perforación
Ruta provincial	Contacto	1- N° de Orden
Ciudad	Falla	2- Nivel estático
Población	Cono aluvial	3- Profundidad
Río permanente	Glacis	4- Caudal de Bombeo
Río temporario	Niveles aterrazados	Líneas de flujo subterráneo



EDAD	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	UNIDADES LITOLOGICAS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS
Holoceno	Terrazas Fluviales	Limos-Arenas-Gravas	Elevada Permeabilidad
Pleistoceno Superior	Conos Aluviales	Fanglomerados	Elevada Permeabilidad
Precámbrico	Glacis	Loess	Baja Permeabilidad
Paleozoico sup.	Área de Montaña	Rocas Igneas y Metamórficas	Baja Permeabilidad Secundaria
	Río	Borde de Cuenca	Perforación N°
		2	Sondeos Eléctricos



Área de baja permeabilidad.	REFERENCIAS		Localidad
Área de moderada a elevada permeabilidad.	Curvas de nivel	Ruta Nacional	Ruta Provincial
Perforación N°	Río permanente	Río transitorio	
Sentido de escurrimiento			

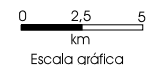


Fig. N° 5