

LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DEL SECTOR VALLES INTERMONTANOS DE LA PROVINCIA DE JUJUY

Rodolfo F. GARCÍA^{1,2}, María V. ROCHA FASOLA^{1,2} y Federico A. MOYA RUIZ²

1Escuela de Geología-Cátedra de Hidrogeología, Universidad Nacional de Salta, Avenida Bolivia 5340, 4400, Salta; murocha@unsa.edu.ar

2Conhidro SRL, Avenida Batalla de Salta 962, 4400, Barrio Ciudad del Milagro, Salta; conhidro@arnet.com.ar

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista hidrogeológico, no existen antecedentes uniformes en la extensa área que abarca esta región de la provincia de Jujuy. Algunas zonas han sido estudiadas con cierto detalle como la subcuenca del río San Francisco (INCYTH, 1985 a,b,c; INCYTH, 1987), con los valiosos aportes y conceptos expresados por Lago, Agostini, Meloni, Herrero Ducloix y Werner. Fuertes *et al.*, (1987) a través del Proyecto: Caracterización de las Cuencas y Regiones Hídricas del NOA (CUHINOA), establecen las primeras subdivisiones de Regiones Hídricas para el Noroeste Argentino y determinan las características hidrogeológicas más sobresalientes de la región. García (1993, 1995), realiza para el Consejo Federal de Inversiones (CFI) estudios hidrogeológicos en distintas localidades del Ramal Jujeño y Departamento Santa Bárbara, destinados a la provisión de agua potable a pequeñas comunidades. Agostini (1995), realiza para el Programa de los Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) el estudio hidrogeológico de los «Sistemas de Riego Arroyo Colorado-Santa Clara y San José del Bordo», donde determina que las unidades precuaternarias (consideradas como basamento hidrogeológico) no revisten interés y pondera los sedimentos cuaternarios como portadores de agua en cantidad y calidad económicamente explotables. Fuertes *et al.*, (1997) realizan la Hoja Hidrogeológica Salta, donde se definen unidades hidrogeológicas de estudio a nivel de Sistemas Acuíferos en las provincias de Salta y Jujuy. Se realiza también un inventario hidrogeológico donde se establecen las principales características hidráulicas e hidroquímicas de los pozos. Rocha Fasola (1998) realiza el estudio hidrogeológico de la cuenca del río Lavayén, estableciendo entre otros aspectos; zonas de recarga, zonas de conducción, hidroquímica, isopiezas, reservas tentativas, potencialidad hidrogeológica, etc.

DOMINIO HIDROGEOLOGICO

Toda el área de estudio pertenece a la cuenca del río Bermejo. En el Noroeste Argentino, el fuerte relieve andino y las cadenas antepuestas como la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas, ejercen un importante control sobre el clima y en especial sobre las precipitaciones. Debido a este efecto las precipitaciones varían desde los 200 mm/año en la Quebrada de Humahuaca (límite occidental), hasta 1.400 mm/año en

la Sierra de Santa Bárbara, al oriente. Debido a que la mayor parte de las precipitaciones ocurren durante la época estival, coincidiendo con elevados registros termométricos, la componente de evapotranspiración es significativa, por lo que es frecuente que exista un déficit hídrico en casi toda la región.

Debido a que todos los reservorios importantes de agua subterránea se disponen al pie de un sistema serrano u ocupando una depresión intermontana, típico de la Provincia Hidrogeológica de Frente Montañoso (Issar y Passchier, 1990), la recarga a los Sistemas Acuíferos se produce, normalmente, fuera de los límites del reservorio principal. Esta situación, explicaría la presencia de recursos hídricos subterráneos en zonas donde el resultado del balance entre las precipitaciones y la evapotranspiración es nulo o bien existe déficit de agua. Esta última situación, es indicativa también de que la mayoría de los Sistemas Acuíferos reciben recarga alóctona.

En el ámbito de la zona de estudio, las unidades geológicas presentes están constituidas por la más variada composición litológica y edad. En función de las descripciones de facies de las distintas unidades formacionales, del origen y del grado de tectonismo que las afectan, se puede diferenciar, cualitativamente, a las unidades con permeabilidad primaria, de aquellas que se comportarían como impermeables o bien, que poseen permeabilidad secundaria. Sin embargo y teniendo en cuenta que los antecedentes de perforaciones indican que la gran mayoría de los acuíferos actualmente explotados se encuentran en sedimentos del Cuaternario y, excepcionalmente en sedimentitas del Neógeno, se ha dividido regionalmente al medio de circulación hídrico en dos grandes unidades: Sección Superior y Sección Inferior.

Sección Superior

Incluye a los depósitos del Cuaternario y del Neógeno que poseen permeabilidades primarias. Esta sección conforma los potenciales reservorios más importantes de agua subterránea de la región y debe ser considerada como objetivo principal para la exploración hidrogeológica y explotación económica del recurso. Dentro de esta sección, se diferencian dos subunidades con características distintivas una de otra, que corresponden a los depósitos aluviales del Cuaternario y actuales, y a las secuencias de origen fluvial del Neógeno. La primera corresponde a secuencias inconsolidadas,



de elevada porosidad y permeabilidad primaria. Está compuesta por sedimentos heterométricos, normalmente muy gruesos a gruesos (bloques, gravas y arenas) con espesores variables entre 30 a 200 m y que se corresponden con las principales geoformas de interés hidrogeológico identificadas en la zona de estudio. La segunda subunidad incluye a los términos cuspidales del Neógeno (Grupo Orán y equivalentes), que presenta permeabilidad primaria en algunas unidades formacionales, y en otras, permeabilidad secundaria. Debido a esta razón, esta unidad también debe ser considerada como un objetivo mediano para la exploración y explotación del recurso subterráneo. Litológicamente, en la parte cuspidal de esta unidad dominan conglomerados y arenas; mientras que en profundidad gradan a arenas y limos. Debe tenerse presente que en algunos sectores de la región de estudio, la presencia de la Formación Anta, con sus intercalaciones de niveles de calizas, pelitas y sobre todo, de capas, venas y nódulos de yeso, pueden condicionar la calidad física y química del recurso hídrico subterráneo.

Sección Inferior

Esta sección agrupa a todas las unidades litoestratigráficas que se extienden desde el Paleógeno hasta el basamento precámbrico. Por sus características litológicas, incluye a secuencias impermeables o con porosidad secundaria, originada principalmente por diaclasamiento. Debido a que se desconoce el real comportamiento de todas estas unidades como medio de circulación, no debería descartarse que algunas de estas secuencias porten agua en cantidades económicamente explotables y en calidad física y química aceptable para su aprovechamiento. Esta última observación se sustenta en que se conocen casos de importantes manifestaciones de agua subterránea (en forma de manantiales) que circulan por afloramientos de rocas incluidas dentro de esta sección. Por lo expresado, y a pesar de que a nivel regional todas estas unidades pueden ser consideradas como acuíferos y/o acuitardos, localmente y dependiendo de las características litológicas y estructurales, muchos de estos niveles pueden almacenar agua subterránea susceptible de ser aprovechada económicamente en el futuro.

Sobre la base de las consideraciones efectuadas en esta región de la provincia de Jujuy, se considera conveniente dividirla y analizarla en tres unidades de estudio principales que se denominarán: Sistema Acuífero Grande-Mojotoro (SAGM); Sistema Acuífero San Francisco-Lavayén (SASFL) y Sistema Acuífero Lomas de Olmedo-Palma Sola (SALOPS). Estas unidades podrán ser modificadas en el futuro por mayor información disponible o por criterios distintos a los aplicados en el presente trabajo.

SISTEMA ACUÍFERO GRANDE-MOJOTORO (SAGM)

El nombre de esta unidad resulta de la fusión del Sistema Acuífero Grande-Perico (Fuertes *et al.*, 1997) y del Sistema Acuífero Mojotoro (Moya Ruiz, 1995).

La principal zona de recarga del SAGM está conformada por el valle aluvial del río Grande de Jujuy que, en inmediaciones de la ciudad de San Salvador, ingresa al reservorio. Más hacia el sur se incorporan los aportes provenientes del faldeo oriental de la Sierra de Chañi y las nacientes del río Perico y sus afluentes. La otra importante zona de recarga lo constituye el valle aluvial del río Mojotoro que ingresa al valle de Siancas en la zona apical del cono aluvial aportando los significativos caudales colectados en la cuenca de los ríos La Caldera, Wierna y Vaqueros.

La zona de conducción del SAGM se inicia en el borde occidental del valle tectónico de orientación submeridiana comprendido entre los cerros Alto del Cimarrón (al oeste) y las lomadas conformadas por los cerros Padilla, de Claros y Popayán, al este. El álveo de los ríos Grande y Perico conforman el otro medio para la conducción del agua subterránea. El flujo tendría una fuerte componente hacia el sudeste y oeste-este convergiendo, actualmente, hacia el Angosto de San Juancito. En el sector sur del reservorio la zona de conducción ocuparía una extensa superficie del valle de Siancas y tiene una forma alargada en sentido meridiano con una configuración cóncava hacia aguas abajo. Este semicírculo es producto de los aportes subterráneos del Paleocauce Grande-Perico desde el noroeste; los flujos hacia el este de los conos aluviales de los ríos Las Pavas y Saladillo y, fundamentalmente, por medio del álveo del río Mojotoro. Entre el valle de Jujuy, al norte y el valle de Siancas, al sur, se encuentra una importante unidad hidrogeológica que conecta hidráulicamente ambas depresiones y que es el Paleocauce Grande-Perico (Fuertes, 1972),

La zona de descarga del SAGM se produce por dos zonas distintas; una en el sector norte de la unidad, a través del Angosto de San Juancito y otra en el sur, en la zona del Angosto de Aguas Calientes.

Las unidades litológicas que tienen interés hidrogeológico están representadas por sedimentos del Cuaternario. En el sector norte, el valle de Jujuy, presenta un sector deprimido, asimétrico, con pendiente general hacia el este-sudeste. Es posible que en el borde oeste, la cobertura sedimentaria moderna alcance un espesor promedio de 100 m. A medida que se avanza hacia el oriente, la cobertura superior adquiere cada vez mayor espesor, de tal forma que en cercanías del contrafuerte occidental de la Sierra de Puesto Viejo los sedimentos cuaternarios pueden superar los 300 m de potencia. Si bien aún se observa un fuerte dominio de las fracciones gruesas, la presencia de elementos finos (limos y arcillas) es cada vez mayor, tanto en potencia como en extensión areal. Por debajo de esta cubierta, se encontrarían las sedimentitas terciarias del Grupo Orán, que afloran en los flancos del anticlinal de Puesto Viejo.

En el valle de Siancas (que se encuentra ubicado entre los bloques ascendidos por fallas inversas de la Sierra de Mojotoro y la Sierra de la Cresta del Gallo), la secuencia sedimentaria está integrada principalmente por sedimentos cuaternarios que conforman el cono

aluvial del río Mojotoro. En las proximidades de la localidad de General Güemes, los primeros 80 m de la sucesión, verificados por varias perforaciones, están representados por aglomerados y gravas gruesas de colores grisáceos, con una cantidad variable de material limoarenoso, de alta permeabilidad primaria, que conforman el acuífero libre del área. Por debajo existen depósitos semipermeables hasta los 150 m, que se comportarían como un acuitardo (Kruse, 1989). La parte inferior reconocida en el pozo N° 10 de la Central Térmica Güemes constituye también, una sección de alta permeabilidad y está representada por sedimentos arenosos, con intercalaciones limosas, conformando un acuífero confinado surgente.

La tipología de acuíferos más común en esta región está representada por un acuífero libre y un conjunto de dos, tres y más acuíferos semiconfinados, desarrollados en su totalidad en sedimentos modernos del Cuaternario. Se estima que en inmediaciones del contrafuerte occidental de la Sierra de Puesto Viejo se encuentran acuíferos confinados a partir de una profundidad de 150 m, lo mismo que en la localidad de General Güemes y alrededores. Los niveles piezométricos reconstruidos en la parte oriental muestran que el sentido del flujo tiene un fuerte componente hacia el este-sudeste. El borde impermeable que conforman los afloramientos de las sierras de Puesto Viejo y Zapla, controlan el flujo subterráneo y la configuración de las isopiezas. En el valle de Siancas, los niveles piezométricos reconstruidos desde la zona del ápice del cono aluvial del río Mojotoro hasta la zona del Angosto de Aguas Calientes, muestran una configuración que responde, en líneas generales, a la típica configuración de cono aluvial y la influencia de la convergencia del flujo proveniente del norte y del sur.

Los caudales específicos en la zona del valle de Siancas varían entre 120 y 0,2 m³/h/m, encontrándose los menores valores en la zona de Betania y Cobos, en el borde occidental del valle de Siancas y los más altos en el sector medio-distal del cono aluvial del río Mojotoro. Los ensayos de bombeo realizados en la Central Térmica Güemes determinaron transmisividades del orden de los 15.000 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 4×10^{-3} . Estudios hidráulicos recientes realizados en la zona de Torzalito (donde se emplaza la Central Térmica Termoandes), indican valores de transmisividad de 2.306 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 0.00128 para el conjunto de acuíferos semiconfinados cuaternarios; mientras que para el conjunto confinado infra-yacente (en sedimentitas terciarias), la transmisividad es de 85 m²/día (García y Moya Ruiz, 1997).

La calidad física y química del agua de este reservorio es variable, siendo en muchos sectores del SAGM apta para el consumo humano; aunque existen otras áreas donde hay ciertos condicionamientos para su aprovechamiento. En general, el grado de mineralización es bajo a medio. En la zona comprendida al norte de la localidad de Perico y el Angosto de San Juancito al este, la conductividad eléctrica media no supera los 750 μ S/cm. En el valle de Siancas en general, el grado

de mineralización es bajo a medio (inferior a 1.500 μ S/cm), aunque se debe mencionar que en algunas zonas (parte distal del cono aluvial), es posible encontrar aguas con valores que alcanzan 4.000 μ S/cm. De acuerdo al diagrama de Piper, el agua explotada en la gran mayoría de los pozos que han puesto en producción distintos niveles acuíferos se clasifica como bicarbonatada cálcica a bicarbonatada sódica.

El potencial hidrogeológico de este reservorio está comprobado en varios sectores. En la zona distal del río Grande, antes del ingreso del curso fluvial al Angosto de San Juancito, la presencia de pozos con buenos rendimientos específicos es indicativa de la importancia de este reservorio. El paleocauce Grande-Perico debe ser considerado como uno de los principales objetivos para la exploración y explotación del recurso subterráneo. En el valle de Siancas, el marco geológico-geomorfológico, el entorno hidrogeológico y los resultados obtenidos de los numerosos pozos existentes, son indicativos del enorme potencial que tiene esta parte del reservorio. La existencia de un pozo profundo realizado en la Central Térmica Güemes que puso en explotación un acuífero surgente, con elevados caudales de explotación, sumado a los resultados obtenidos en la Central Térmica Termoandes, pone de manifiesto también que se debe considerar a las facies superiores del Grupo Orán como potenciales reservorios de agua subterránea.

SISTEMA ACUÍFERO SAN FRANCISCO-LAVAYÉN (SASFL)

El nombre de esta unidad resulta de la fusión del Sistema Lavayén y del Sistema Acuífero San Francisco (Fuertes *et al.*, 1997).

La principal zona de recarga del SASFL está conformada por los aportes del Sistema Acuífero Grande - Mojotoro. Esta última unidad aporta al SASFL por el sur a través del Angosto de Aguas Calientes y a partir de allí, se canaliza por el valle del río Lavayén; por el norte recibe los aportes provenientes a través del Angosto de San Juancito. Otra importante área de recarga, se localiza en el flanco oriental de las sierras de Zapla y Calilegüa, donde ocurren precipitaciones superiores a 1.400 mm anuales. Al pie de estas unidades orográficas se adosan depósitos heterométricos, de bajada aluvial, con elevada capacidad de infiltración. Otra área de recarga, de menor importancia que las anteriores, se localiza en el flanco occidental de las sierras de Cresta del Gallo, Centinela y Santa Bárbara, donde se originan depósitos de bajada aluvial, formados por sedimentos heterométricos, con significativa capacidad de infiltración.

Como casi toda la zona de alta montaña está conformada por unidades sedimentarias de porosidad secundaria y escasa permeabilidad, en esas áreas se produce una importante componente de escurrimiento superficial. A medida que se abandona el sistema serrano esta situación se modifica sustancialmente y los cursos de agua se infiltran rápidamente al encontrarse con



facies sedimentarias (cuaternarias o terciarias) muy permeables que conforman el pie de monte adosado al sistema orográfico. Según García (1995), los cursos fluviales que en la zona serrana son de régimen permanente, pierden rápidamente sus caudales por infiltración al llegar al pie de esta unidad fisiográfica. De esta forma se puede advertir que la mayor parte de la recarga que recibe el SASFL es alóctona, ya que los volúmenes de agua que ingresan al reservorio se originan fuera del cuerpo. La única zona de recarga potencial importante está conformada por el flanco occidental de la Sierra de la Cresta del Gallo y parte austral de la Sierra de Santa Bárbara.

La zona de conducción del SASFL se inicia aguas abajo de la confluencia del río Mojotoro con el río Las Pavas y se extiende hasta las inmediaciones de la descarga del curso fluvial en el río Bermejo. La zona de conducción coincide con el valle fluvial del río Lavayén-San Francisco y su geometría es de tipo cilíndrico, mientras no reciba aportes laterales tal como sucede en la zona comprendida entre la ciudad de San Pedro de Jujuy y Puente Lavayén; entre la localidad de Chalicán y la confluencia entre el río Negro y San Francisco y entre Fraile Pintado y Calilegüa.

La zona de descarga se produciría fuera del territorio jujeño, en inmediaciones de la Junta del río San Francisco y el río Bermejo.

Las unidades litológicas que tienen interés hidrogeológico están representadas por sedimentos del Cuaternario y algunas facies del Neógeno. El relleno moderno está compuesto por una capa de espesor medio de 10 m de aglomerado, mediano a grueso, con rodados mayores de areniscas cuarcíticas y cuarcitas; matriz arenosa fina a limo-arcillosa, distribuidos en forma caótica. Infrayaciendo se localiza una capa de sedimentos preferentemente finos; arena fina a mediana, en parte limosa y arcillas, con espesores que varían entre 5 y 10 m. Subyaciendo a la anterior, se encuentran facies de gravas y arenas gruesas a muy gruesas, con una importante participación de material pelítico. Este horizonte presenta una potencia máxima de 70 m en el centro del valle, mientras que hacia los flancos disminuye progresivamente de espesor. De acuerdo a los datos aportados por los perfiles litológicos de los pozos y a los niveles piezométricos encontrados, este nivel constituye el acuífero libre a semiconfinado del Sistema Acuífero. Infrayaciendo, se encuentran sedimentos de distinta granulometría en forma de lentes y capas discontinuas, que alcanzan la mayor potencia y homogeneidad en la posición central del valle. Lateralmente, esta última unidad, limosa a limo-arcillosa, cambia gradualmente a arenas e incluso gravas hacia los flancos del valle fluvial.

Fuera de la zona de influencia del río Lavayén y principalmente en los depósitos de bajada aluvial adosados a la Sierra de Santa Bárbara, se encuentran facies sedimentarias aptas para el almacenamiento de agua subterránea. Ello es especialmente cierto para la zona comprendida entre las localidades de El Piquete (al norte) y Arroyo del Medio (al sur), donde estudios geoelectrónicos (García, 1995) indican una potencia varia-

ble entre 10 y 100 m de la cobertura moderna. Este autor, considera que por debajo de esta secuencia se localizan unidades pertenecientes al Neógeno (Formación Piquete) que se profundizan progresivamente hacia el oeste a la vez que, en el mismo sentido, se producirían cambios faciales hacia términos más arcillosos. Como hacia el poniente aumenta el espesor y frecuencia de las arcillas, se debe esperar que en esa dirección se encuentren acuíferos semiconfinados y confinados.

Más hacia el norte, el valle del río San Francisco se torna muy asimétrico en cuanto a espesor de sedimentos modernos se refiere. En efecto, aguas abajo de la confluencia de los ríos Lavayén y Grande de Jujuy, y hasta un poco más allá de la latitud del pueblo de Calilegüa los mayores espesores de facies gruesas (arenas, gravas y rodados) se localizan en el sector occidental de la depresión. En toda esta área la secuencia litológica, normalmente, se inicia con una capa de rodados, arena y gravas media a gruesa en la parte más occidental de los depósitos de bajada adosados al sistema serrano de las sierras de Zapla y Calilegüa. Esta unidad, presenta una potencia variable entre 10 y 30 m, acuñándose hacia el oriente y disminuyendo de granometría en ese mismo sentido. A continuación, suele encontrarse una potente capa de rodados, gravas de todos los tamaños, arenas muy gruesas y gruesas, con escasas intercalaciones de arcilla y limo, que en algunos sectores superan los 250 m de espesor.

En el flanco oriental del valle fluvial, especialmente al pie de las Lomas del Palmar y su continuación hacia el norte, los sedimentos de bajada aluvial son muy diferentes de los anteriores. En este lugar, predominan secuencias finas como arenas, limos y arcillas, que indicarían un área de aporte conformada por facies sedimentarias sustancialmente distintas a las aflorantes en flanco occidental del valle, muy posiblemente pertenecientes al Grupo Oran.

En el valle del río Lavayén los niveles piezométricos muestran que el sentido del flujo subterráneo coincide con la dirección del escurrimiento superficial (Fig.1). Los afloramientos que enmarcan el valle del río Lavayén, por sus permeabilidades relativamente bajas respecto al relleno moderno, determinan el contorno y la configuración de las líneas isopiezas. En el sector austral del valle, en inmediaciones del Angosto de Aguas Calientes se produce la mayor pendiente piezométrica del Sistema; mientras que en la parte distal se observa una pendiente muy suave. También y de acuerdo a la configuración de las curvas isopiezas, se puede advertir la influencia de un aporte lateral, proveniente de la ladera occidental de las sierras de la Cresta del Gallo - Santa Bárbara, que en el sector distal del Sistema Acuífero (zona de Santa Clara y alrededores) indica una componente de flujo prácticamente perpendicular a la existente en el valle fluvial (Fig.1 y mapa hidrológico anexo). En este sector, los niveles estáticos se encuentran relativamente profundos en la zona apical (80 m) pero a medida que se avanza hacia el oeste se produce un rápido ascenso de los niveles de agua, de tal forma que en la parte media se localiza a 60 m de profundidad y en

cercanías del valle del río Lavayén a menos de 10m (García, 1995). De acuerdo a Rocha Fasola (1998), los pozos brindan caudales de producción medios a elevados, entre 26 m³/h y 200 m³/h. Los caudales específicos de los niveles productivos localizados entre 70 y 200 metros de profundidad varían entre 0,9 y 82,5 m³/h/m, con un caudal medio de 31 m³/h/m. La transmisividad media es de 740 m²/día.

En el valle del río San Francisco los niveles piezométricos, reconstruidos a partir de los datos originales de los legajos de perforaciones, muestran que el sentido del flujo subterráneo coincide con la dirección del escurrimiento superficial. En el sector centro occidental, las curvas isopiezas muestran la influencia del flujo subsuperficial proveniente de los ríos Grande y Negro; mientras que más hacia el norte tienen tendencia a disponerse paralela a subparalelamente a los afloramientos orientales, lo que indicaría un aporte subterráneo con dirección transversal al curso fluvial. En el sector centro-oriental del Sistema Acuífero, los niveles estáticos del acuífero libre se localizan a una profundidad promedio de 12 a 15 m y se profundizan notoriamente hacia el oeste y noroeste hasta alcanzar los 60 m (localidad de Calilegua); mientras que se elevan progresivamente hacia el oriente (hasta 6 m de profundidad) en inmediaciones de la confluencia del río San Lorenzo y San Francisco. Una característica sobresaliente de este

sector del Sistema Acuífero son los elevados caudales específicos y altos caudales de explotación que, en zonas como Fraile Pintado, Chalicán, Arrayanal y Libertador General San Martín (Ledesma), pueden alcanzar los 75 m³/h/m y 500 m³/h, respectivamente.

La calidad física y química del agua subterránea de este reservorio es variable. En el sector sur, a partir del Angosto de Aguas Calientes y ocupando la posición central del valle del río Lavayén, se encuentra una faja elongada coincidente con el eje del río, donde el agua subterránea presenta una conductividad eléctrica entre 750 y 1.500 µS/cm. En la parte apical-media de los sedimentos de bajada adosados a las sierras de la Cresta del Gallo y Santa Bárbara, la conductividad no supera los 750 µS/cm. En este cuerpo se observa un incremento en la salinidad del recurso subterráneo a medida que se avanza hacia el oeste, es decir hacia el eje del valle del río Lavayén. Esta situación se observa claramente en los alrededores de la localidad de Santa Clara, puesto que en el sector oriental el agua explotada por los pozos presenta valores inferiores a 750 µS/cm; en la parte media la conductividad del agua subterránea se encuentra entre 750 y 1.500 µS/cm, y en el sector distal alcanza valores hasta de 3.000 µS/cm. En el sector occidental del valle del río Lavayén se observa una situación similar a la descrita anteriormente, distinguiéndose una extensa área donde se explota agua subterránea

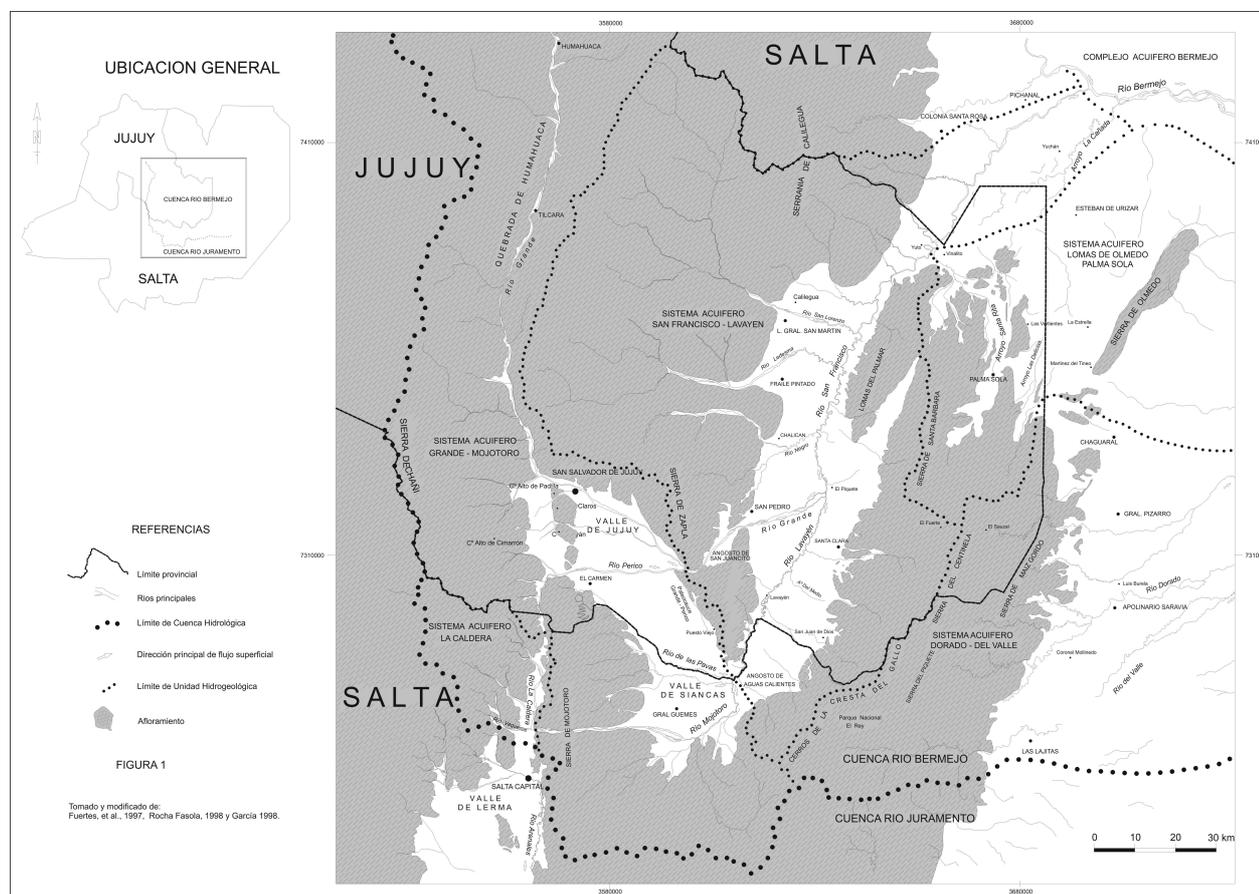


Figura 1. Mapa de ubicación de los sistemas acuíferos del sector valles intermontanos de la provincia de Jujuy. (Ver en Anexo de láminas color)

nea de baja mineralización que se corresponde con la zona de influencia del río Grande de Jujuy. La zonación en la calidad física del recurso responde a una situación normal en la evolución del agua subterránea, puesto que se produce un desmejoramiento en la calidad a medida que aumenta la distancia a la zona de recarga, indicando un mayor tiempo de permanencia en el medio de circulación. En la franja que ocupa la posición central del valle del río San Francisco, coincidente con el eje del curso, el agua subterránea presenta una conductividad media menor a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la parte apical-media de los sedimentos de bajada adosados a la Sierra de Zapla, la conductividad eléctrica del agua explotada, se observa una pequeña faja donde los valores alcanzan y superan ligeramente los 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

De acuerdo al diagrama de Piper, el agua explotada en la mayoría de los pozos que han puesto en producción distintos niveles acuíferos, se clasifica como bicarbonatadas cálcicas - magnésicas. El tipo de agua presente es indicativa de un período de permanencia relativamente corto y pone de manifiesto que en la zona existe una evolución geoquímica normal de las aguas subterráneas.

El potencial hidrogeológico del SASFL está comprobado en varios sectores. El gran número de pozos practicados en esta zona, sumado a los importantes caudales de producción y a la relativa buena calidad física y química, son indicativos de la importancia que tiene el recurso subterráneo como fuente de abastecimiento humano, agrícola y ganadero. Sin embargo, debe tenerse presente que existen áreas, localizadas, donde la calidad física y química puede condicionar el aprovechamiento del agua subterránea. Rocha Fasola (1998) efectúa un cálculo estimativo de las reservas de agua subterránea del sector sur (valle del río Lavayén) del SASFL, señalando que para un área de 2.200 km^2 , un espesor saturado medio de 35 metros y una porosidad eficaz de 0,1; la reserva es, aproximadamente, de $7.7 \times 10^9 \text{ m}^3$, con un período de renovación de unos 360 años.

SISTEMA ACUÍFERO LOMAS DE OLMEDO-PALMA SOLA (SALOPS)

El nombre de esta unidad resulta de la modificación de la extensión areal del Complejo Acuífero Lomas de Olmedo (García, 1998).

La morfología de esta unidad se encuentra fuertemente influenciada por la presencia de los afloramientos rocosos que conforman las sierras de Lomas de Olmedo, Maíz Gordo, Santa Rita y los asomos más bajos de las sierras de Santa Bárbara y Lomas del Palmar. También, es característico de este Sistema Acuífero, la presencia en el subsuelo de subestructuras de forma más o menos alargada en sentido noreste-sudoeste. Entre estos relieves positivos se encuentran pequeños y alargados valles intermontanos.

La principal zona de recarga del SALOPS está conformada por los aportes superficiales de los arroyos Santa Rita y Las Delicias y las precipitaciones líquidas directas que ocurren en la época estival. Debido al fuerte

efecto orográfico de las lluvias, por la presencia de las sierras de Santa Bárbara y de Maíz Gordo, en esta región, las lluvias pueden alcanzar los 1100 $\text{mm}/\text{año}$; aunque a medida que se avanza hacia el norte disminuyen hasta 700 $\text{mm}/\text{año}$.

La zona de conducción del Sistema Acuífero responde a un arreglo típicamente cilíndrico, coincidiendo en gran parte con los valles fluviales de los arroyos Santa Rita y Las Delicias. La zona de descarga se encontraría en el sector norte de la unidad (localidades como Vinalito y El Talar) donde entregaría sus caudales subterráneos al Sistema Acuífero San Francisco-Lavayén.

Las unidades litológicas que tienen interés hidrogeológico están representadas por sedimentos del Cuaternario y facies del Neógeno Cuspidal. En el sector sur y centro de la unidad, la cubierta sedimentaria moderna está compuesta por una secuencia muy heterogénea de capas que, normalmente se inicia con un nivel arcilloso a arcillo-limoso hasta los 5 m de profundidad; luego se encuentran capas alternantes de arenas y gravas con rodados y gravas arenosas con matriz limosa a limoarcillosa, generalmente color pardo rojizo a pardo amarillento, cuya base se asienta en los 20 a 25 m de profundidad. A medida que se avanza hacia el norte (Vinalito, El Talar), la cubierta sedimentaria cuaternaria si bien mantiene una potencia media de 20 m, se caracteriza por que prácticamente desaparecen todas las facies gruesas como gravas y son remplazadas totalmente por arenas y limos. Las otras unidades de interés hidrogeológico en este Sistema Acuífero están conformadas por las sedimentitas del Grupo Orán que, en muchos sectores, se encuentran aflorando en forma de lomadas, lomas y pequeñas serranías; mientras que en el eje de los pequeños valles fluviales, suelen encontrarse infrayaciendo a los sedimentos modernos. En esta unidad de estudio aún no existen suficientes datos como para construir isopiezas y establecer el sentido de flujo del agua subterránea, pero como se expresó anteriormente, se estima que debe tener una componente y sentido de sur a norte, coincidiendo con la dirección del flujo superficial. Esto debe ser así por lo menos para el acuífero libre a semiconfinado que se desarrolla en los sedimentos modernos que rellenan las depresiones intermontanas. Para los acuíferos que se encuentran en sedimentitas terciarias del Grupo Orán, se considera que el sentido de flujo y toda su hidrodinámica debe estar influenciado tanto por aspectos estructurales como estratigráficos.

La calidad física y química del agua subterránea de este reservorio es variable; pero en general se puede expresar que el agua del acuífero libre a semiconfinado presenta un grado de mineralización bajo y está asociado fuertemente con las características del agua superficial, presentando conductividades eléctricas en el orden de 300 a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El caso opuesto se encuentra en lugares como en Las Vertientes, donde los manantiales que se manifiestan en afloramientos terciarios, presentan agua con conductividades eléctricas cercanas a 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El potencial hidrogeológico de este reservorio es bajo a moderado, pero aún se desco-

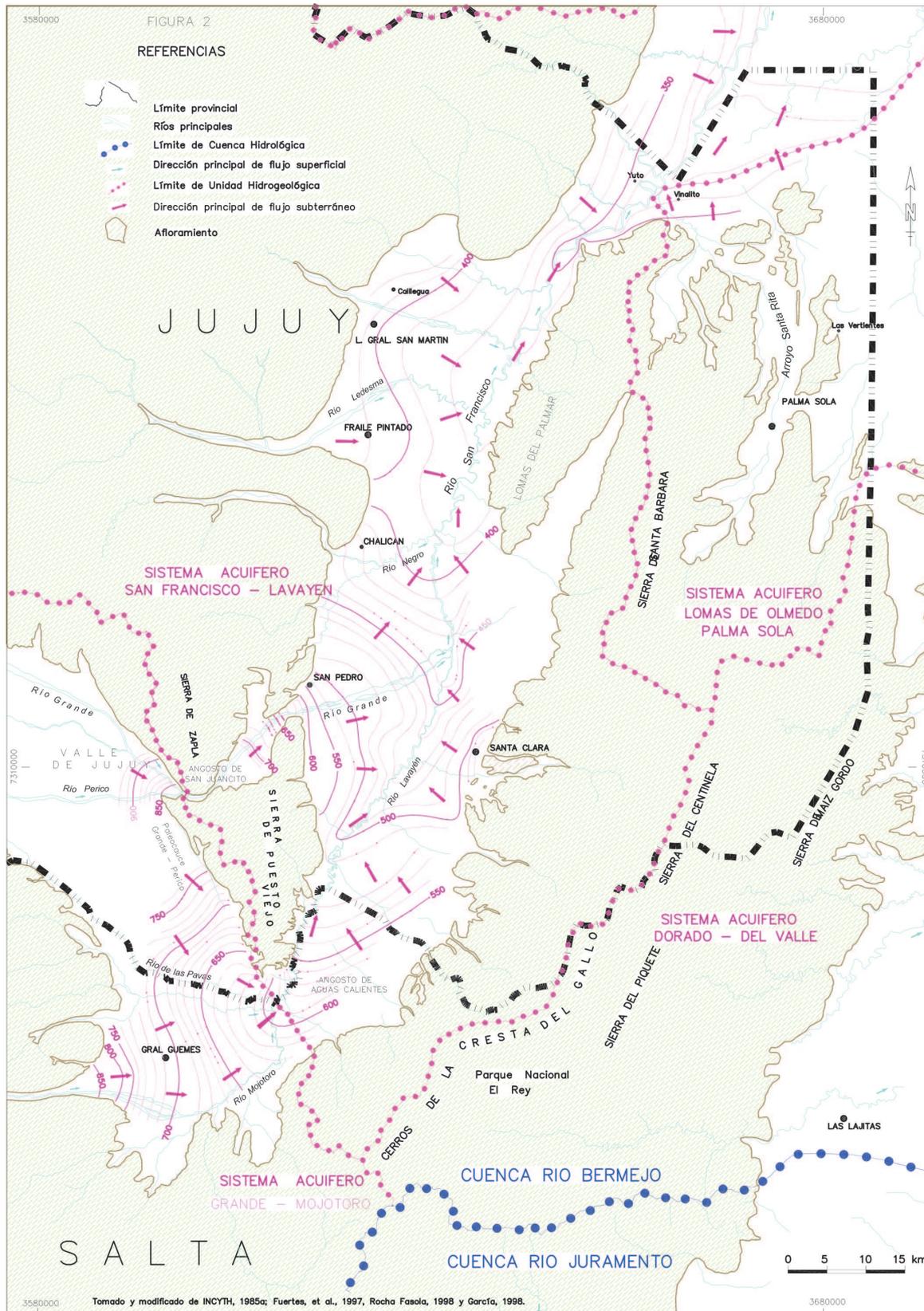
nocen aspectos muy significativos de esta unidad de estudio.

REFERENCIAS

- Agostini, M.A., 1995. Hidrogeología y Geotecnia. Sistemas de riego Arroyo Colorado, Santa Clara y San José del Bordo. Provincia de Jujuy. (PROSAP) Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. MeyOSP. Inédito.
- Fuertes, A., 1972. Levantamiento Geológico Zona Embalse Las Lajitas-San Juancito, con Mención de Cambios Regionales. Provincia de Jujuy. Consejo Federal de Inversiones (CFI).
- Fuertes, A., García, R.F., Baudino, G.A. y Moya Ruíz, F.A., 1987. Proyecto CUHINOA Caracterización de las Cuencas y Regiones Hídricas del NOA (Primera Parte). Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta-Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT). Inédito.
- Fuertes, A., García, R.F., Baudino, G.A., Moya Ruíz, F.A., Rocha, V., Abraham, C., Dib Azur, P., 1997. Hoja Hidrogeológica Salta. Proyecto de Investigación N° 471. Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- García, R.F., 1993. Estudio de Fuentes de Provisión de Agua. Chalicán, Colonia Agrícola 8 de Septiembre, Fraile Pintado, Calilegua, La Lucrecia, El Bananal-Yuto. Zona Ramal Jujeño. Provincia de Jujuy. Consejo Federal de Inversiones. Programa APAPC (Agua Potable a Pequeñas Comunidades). Inédito.
- García, R.F., 1995. Estudio de Fuentes de Provisión de Agua en el Departamento de Santa Bárbara, Provincia de Jujuy. Ojo de Agua, El Olvido, Las Vertientes, Cerro El Alumbre, Siete Aguas, El Canal-Puente Lavayén, Km 82, Km 83 y Km 84; Sauce Guacho-Las Paltas, El Molino, Madrejones, Punta de Agua y Las Moras-Bella Vista. Consejo Federal de Inversiones. Programa APAPC (Agua Potable a Pequeñas Comunidades). Inédito.
- García, R.F. y Moya Ruíz, F.A., 1997. Dirección Técnica de Batería de Pozos en Central Térmica Termoandes. Torzalito. Departamento General Güemes. Salta. Inédito.
- García, R.F., 1998. Hidrogeología del Chaco Boreal Salteño. Tesis Doctoral. Escuela del Doctorado en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- García, R.F., Moya Ruíz, F.A., Rocha, M.V. y Talamo, E., 2007. Diagnóstico Hidrogeológico Finca Santa Isabel. Departamento San Pedro. Provincia de Jujuy. Conhidro SRL. Inédito.
- García, R.F., Moya Ruíz, F.A., Rocha, M.V. y Talamo, E., 2007. Diagnóstico Hidrogeológico Lote Don David. Departamento San Pedro. Provincia de Jujuy. Conhidro SRL. Inédito.
- García, R.F., Moya Ruíz, F.A., Rocha, M.V. y Talamo, E., 2007. Diagnóstico Hidrogeológico Escuela Ojo de Agua. Departamento Santa Bárbara. Provincia de Jujuy. Conhidro SRL. Inédito.
- Instituto de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCYTH), 1985a. Estudio Hidrometeorológico, Hidrológico e Hidrogeológico de la Subcuenca del río San Francisco. Inventario Hidrogeológico del Área de Estudios de Subcuenca del Río San Francisco en la Provincia de Jujuy. Juan Lago, Miguel Agostini y Roberto Meloni.
- Instituto de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCYTH), 1985b. Estudio Hidrometeorológico, Hidrológico e Hidrogeológico de la Subcuenca del río San Francisco. Provincia de Jujuy. República Argentina.
- Instituto de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCYTH), 1985c. Estudio Hidrometeorológico, Hidrológico e Hidrogeológico de la Subcuenca del río San Francisco. Estudio Geoeléctrico del Subsuelo de la Subcuenca del Río San Francisco en la Provincia de Jujuy. Juan Herro Ducloux y Néstor Werner.
- Instituto de Ciencias y Técnicas Hídricas (INCYTH), 1987. Estudio Hidrometeorológico, Hidrológico e Hidrogeológico de la Subcuenca del río San Francisco. Caracteres Hidrogeoquímicos de las Aguas Subterráneas de la Zona de Estudios de la Subcuenca del Río San Francisco en la Provincia de Jujuy. Juan Lago, Miguel Agostini y Roberto Meloni.
- Issar, A. y Passchier, R., 1990. Regional hydrogeological concepts. En: Lerner, D., Issar, A. e Simmers, I. (Eds.): Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge. International Contributions to Hydrogeology, 8. International Association of Hydrogeologist Heisse. Hannover.
- Moya Ruíz, F., 1995. Hidrogeología del Área de Riego del Río Mojotoro. Provincia de Salta. (PROSAP) Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. MeyOSP. Inédito.
- Rocha Fasola, M.V., 1998. Hidrogeología de la Cuenca del Río Lavayén. Provincias de Salta y Jujuy. Tesis Profesional. Escuela de Geología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Inédito.

LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DEL SECTOR VALLES INTERMONTANOS DE LA PROVINCIA DE JUJUY

Rodolfo F. GARCÍA, María V. ROCHA FASOLA y Federico A. MOYA RUIZ



Mapa de isopiezas de los sistemas acuíferos San Francisco-Lavayén y Grande-Mojó Toro