

CAPITULO V-1

RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS Y AGUAS TERMALES

JORGE A. PAZOS, JOSE L. BESSONE, JUAN A. VIVAS, ALEJANDRO VACA, CRISTIAN WETTEN
Y CARLOS E. VALERO

Centro Regional de Agua Subterránea, San Juan

LAS PROVINCIAS HIDROGEOLOGICAS
(por Jorge A. Pazos)*Consideraciones generales*

Sobre la base de los rasgos que hacen a la presencia, distribución y otras características del agua subterránea, es posible realizar subdivisiones en regiones con rasgos hidrogeológicos similares. Para tales regiones se propone el nombre de provincias hidrogeológicas.

Las provincias hidrogeológicas comprenden áreas llanas, montañosas y valles intermontanos. En el territorio mendocino, la extensa llanura oriental presenta sectores con distintas características respecto al agua subterránea, si bien no pueden diferenciarse cuencas propiamente dichas, sino áreas con diferencias en la litología, condiciones de recarga, mineralización del agua, etc. A estas áreas se aplica el nombre de regiones hidrogeológicas.

En los valles intermontanos, donde los acuíferos están separados por afloramiento de terrenos consolidados e impermeables, o donde estas rocas están próximas a la superficie y separan los acuíferos lateralmente, es donde se diferencian cuencas de agua subterránea.

Existen además en Mendoza regiones montañosas que sirven de borde de cuenca de agua subterránea o contienen localmente acuíferos de forma irregular y extensión areal restringida, generalmente en zonas frac-

turadas, donde se forman reservorios con permeabilidad secundaria. También en estas áreas montañosas existen acumulaciones de sedimentos permeables de distribución localizada, que casi siempre sirven de vías de conducción de agua a las cuencas vecinas, pero que localmente pueden contener acuíferos utilizables: son sedimentos de origen glacial, periglacial, fluvio-glacial, o detritos del faldeo.

La figura 1 muestra las provincias hidrogeológicas que hasta el momento se han reconocido en el territorio mendocino. La figura 2 presenta la distribución areal de los sedimentos cuaternarios de la provincia de Mendoza, que son portadores de los principales acuíferos hallados hasta el momento en la misma (Zambrano, 1985).

Llanura oriental

En esta gran llanura pueden distinguirse cuatro regiones hidrogeológicas (figura 1), cuyos límites no están totalmente determinados, pero que muestran diferencias en la distribución de cuerpos permeables, tanto verticales como laterales, así como en las fuentes de recarga. Por ello, en muchos casos los límites no son líneas sino más bien fajas de varios kilómetros de ancho. Inclusive algunos límites verticales y laterales entre cuerpos permeables e impermeables son graduales desde el punto de vista sedimentológico. De norte a sur estas regiones son las siguientes:



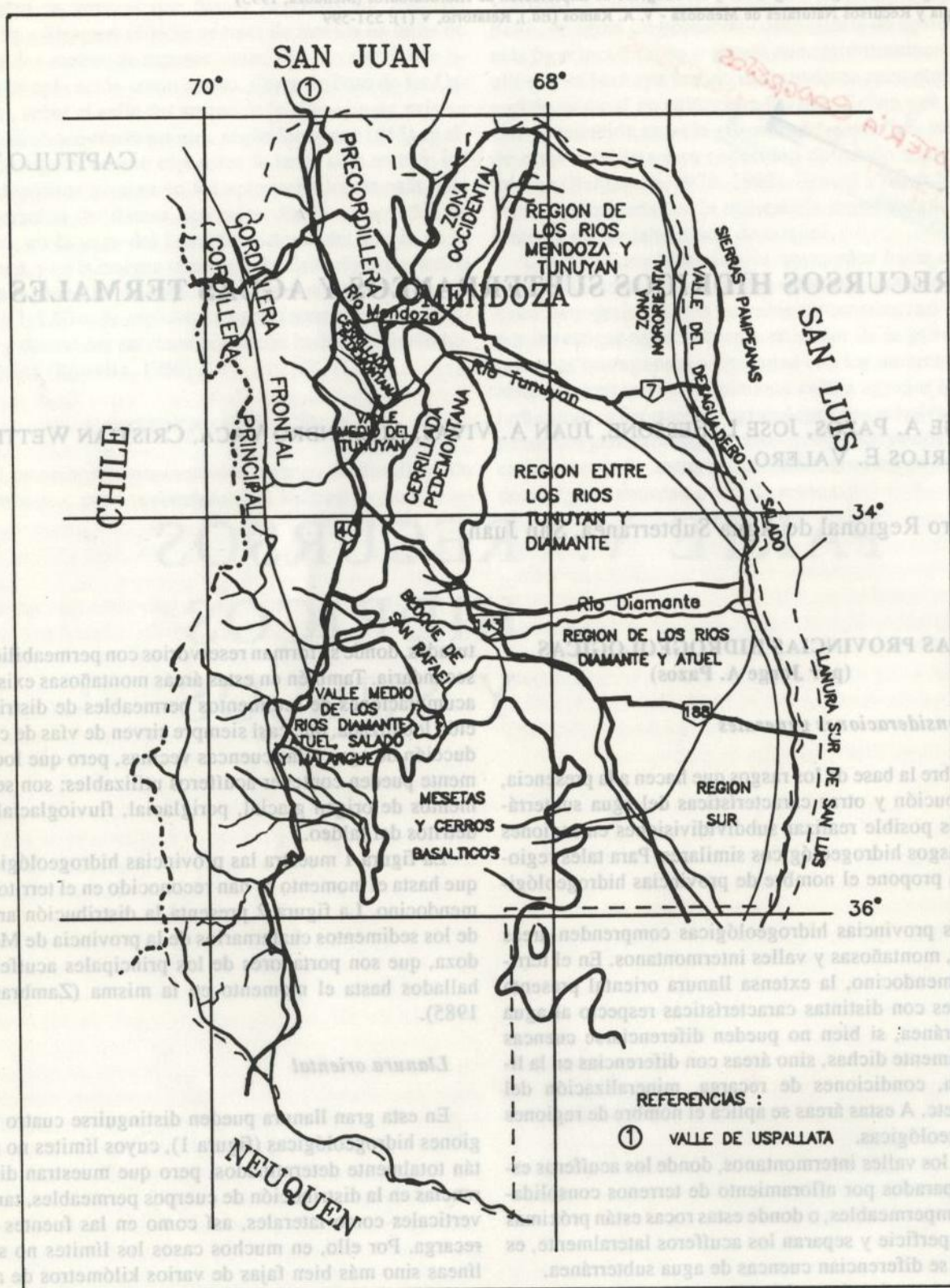


Figura 1: Provincias hidrogeológicas.

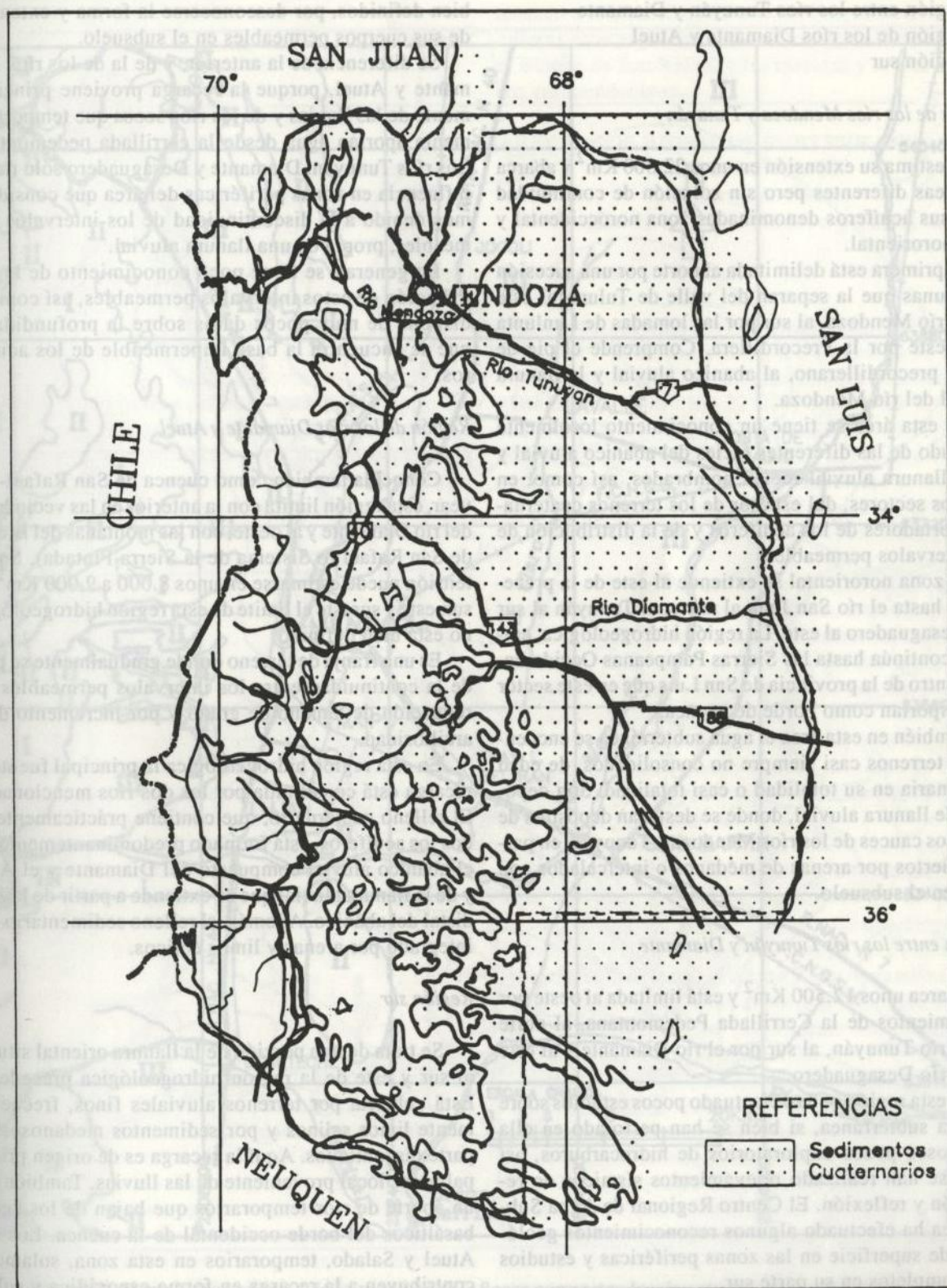


Figura 2: Distribución areal de los sedimentos cuaternarios.

- Región de los ríos Mendoza y Tunuyán
- Región entre los ríos Tunuyán y Diamante
- Región de los ríos Diamante y Atuel
- Región sur

Región de los ríos Mendoza y Tunuyán

Se estima su extensión en unos 22.800 Km² y abarca dos áreas diferentes pero sin solución de continuidad entre sus acuíferos denominadas zona noroccidental y zona nororiental.

La primera está delimitada al norte por una sucesión de lagunas que la separan del valle de Tulum, al este por el río Mendoza, al sur por las lomadas de Lunlunta y al oeste por la Precordillera. Comprende el pie de monte precordillerano, al abanico aluvial y la llanura aluvial del río Mendoza.

De esta área se tiene un conocimiento localmente detallado de las diferentes facies del abanico aluvial y de la llanura aluvial recién nombrados, así como, en algunos sectores, del espesor de los terrenos cuaternarios portadores de los acuíferos y de la distribución de los intervalos permeables.

La zona nororiental se extiende al este de la precedente, hasta el río San Juan al norte, el Tunuyán al sur y el Desaguadero al este. La región hidrogeológica, empero, continúa hasta las Sierras Pampeanas Occidentales, dentro de la provincia de San Luis que en este sector se comportan como borde de cuenca.

También en esta área el agua subterránea se encuentra en terrenos casi siempre no consolidados, de edad cuaternaria en su totalidad o casi totalidad. Son depósitos de llanura aluvial, donde se destacan depósitos de antiguos cauces de los ríos Mendoza y Tunuyán, en parte cubiertos por arenas de médanos o intercalados con éstas en el subsuelo.

Región entre los ríos Tunuyán y Diamante

Abarca unos 12.500 Km² y está limitada al oeste por afloramientos de la Cerrillada Pedemontana, al norte por el río Tunuyán, al sur por el río Diamante y al este por el río Desaguadero.

En esta región se han efectuado pocos estudios sobre el agua subterránea, si bien se han perforado en ella numerosos pozos exploratorios de hidrocarburos, así como se han realizado relevamientos sísmicos de refracción y reflexión. El Centro Regional de Agua Subterránea ha efectuado algunos reconocimientos geológicos de superficie en las zonas periféricas y estudios más completos en su parte sur.

También se conoce poco del borde de cuenca occidental, formado por terrenos terciarios aflorantes que generalmente mineralizan el agua que circula por ellos.

Esta región no presenta sus límites norte, sur y este bien definidos, por desconocerse la forma y extensión de sus cuerpos permeables en el subsuelo.

Se diferencia de la anterior, y de la de los ríos Diamante y Atuel, porque la recarga proviene principalmente de las lluvias y de los ríos secos que temporariamente aportan agua desde la cerrillada pedemontana. Los ríos Tunuyán, Diamante y Desaguadero sólo tienen influencia en zonas periféricas del área que consideramos debido a la discontinuidad de los intervalos permeables, propia de una llanura aluvial.

En general, se tiene poco conocimiento de la distribución de estos intervalos permeables, así como se dispone de muy pocos datos sobre la profundidad a que se encuentra la base impermeable de los acuíferos.

Región de los ríos Diamante y Atuel

Conocida también como cuenca de San Rafael-Alvear, esta región limita con la anterior en las vecindades del río Diamante y al oeste, con las montañas del Bloque de San Rafael (o Sistema de la Sierra Pintada). Su extensión puede estimarse en unos 8.000 a 9.000 Km². Al sur, este y sureste el límite de esta región hidrogeológica no está bien definido.

Es una franja de terreno donde gradualmente se pierde la continuidad entre los intervalos permeables por reducción de tamaño de grano y por incremento de la arcillosidad.

En esta región hidrogeológica la principal fuente de recarga está constituida por los dos ríos mencionados. El relleno cuaternario, que contiene prácticamente todos los acuíferos, está formado predominantemente por el abanico aluvial compuesto del Diamante y el Atuel y de la llanura aluvial que se extiende a partir de la zona distal del abanico. Además, el relleno sedimentario está integrado por arenas y limos eólicos.

Región sur

Se trata de una porción de la llanura oriental situada al sur y este de la región hidrogeológica precedente. Está cubierta por terrenos aluviales finos, frecuentemente limos salinos y por sedimentos medanosos, en parte discontinuos. Aquí la recarga es de origen principalmente local proveniente de las lluvias. También hay un aporte de ríos temporarios que bajan de los cerros basálticos del borde occidental de la cuenca. Los ríos Atuel y Salado, temporarios en esta zona, solamente contribuyen a la recarga en forma esporádica y subordinada. Esto lo demuestra la composición y concentración salina del agua, muy variables de uno a otro pozo perforado o excavado en esta región.

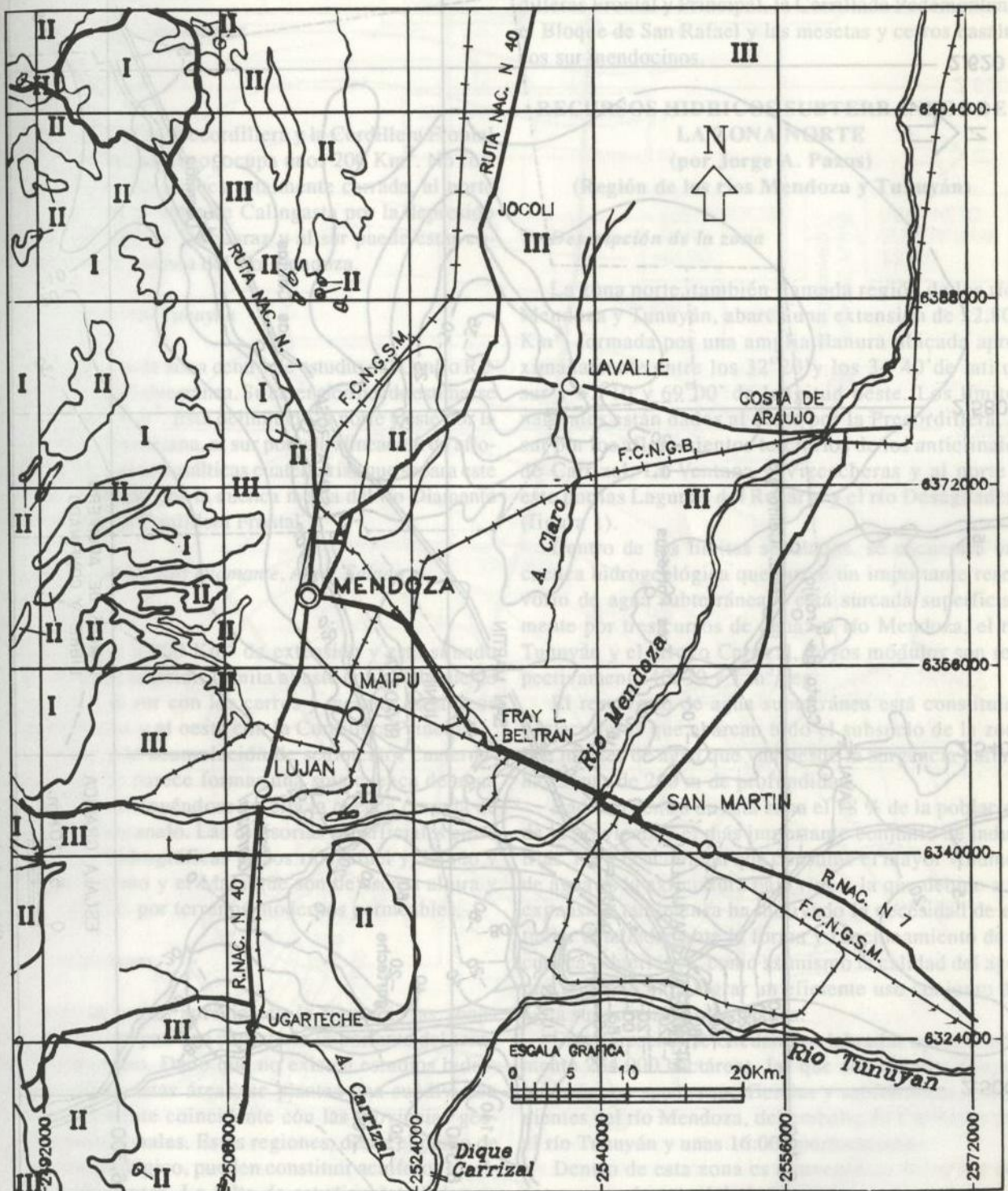


Figura 3: Mapa hidrogeológico de la zona norte. I: Rocas compactas localmente con permeabilidad secundaria por fracturación o disolución (generalmente no acuífero o con acuíferos pobres). II: Sedimentitas y escasas rocas ígneas impermeables o poco permeables con poca agua mineralizada. III: Cubierta sedimentaria generalmente permeable que contiene los principales acuíferos.

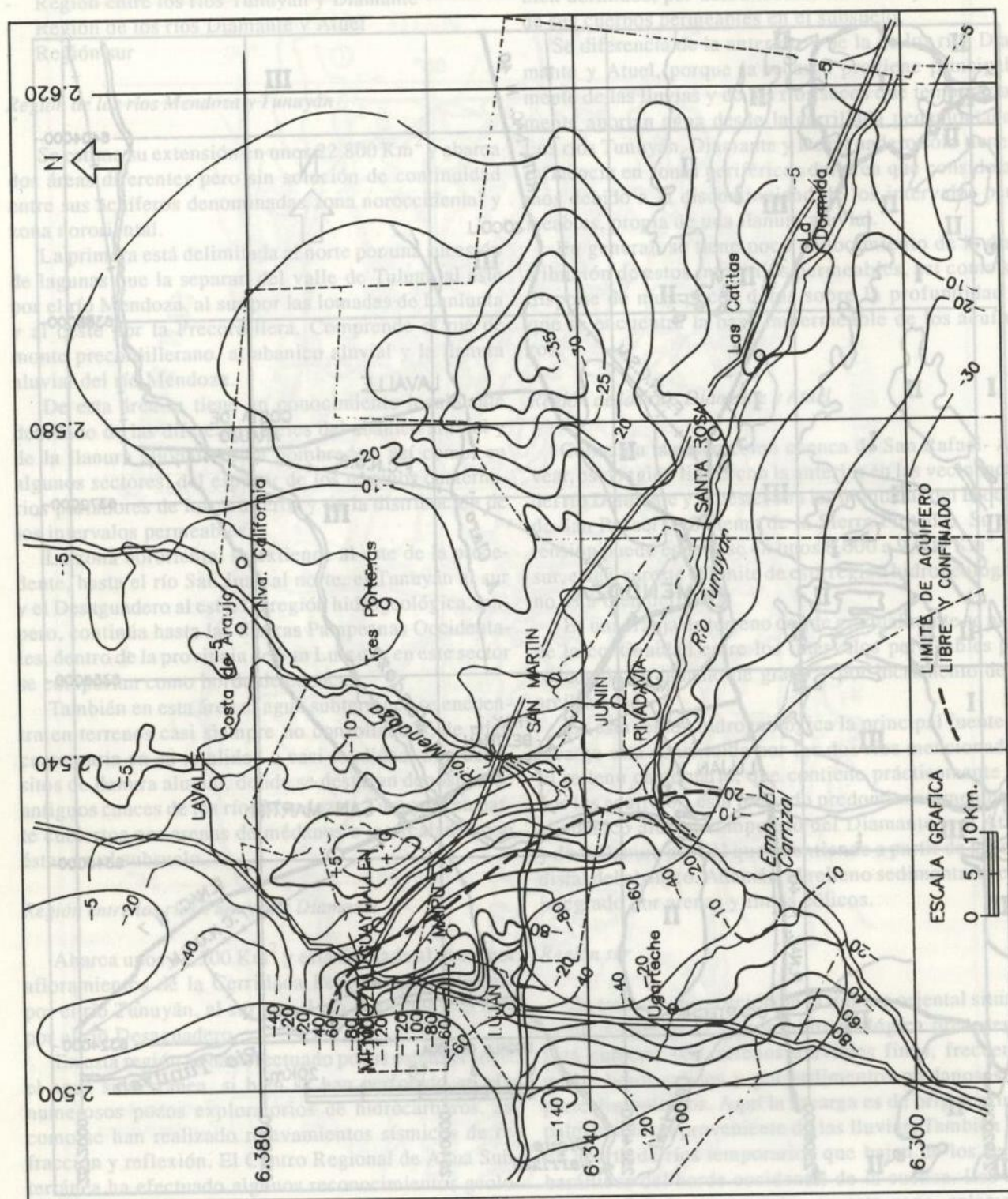


Figura 4: Igual profundidad del agua subterránea de la zona norte.

La extensión de esta región sur en territorio mendocino es de unos 6.000 a 7.000 Km².

Cuencas intermontanas

Valle de Uspallata

Situado entre la Precordillera y la Cordillera Frontal en territorio mendocino, ocupa unos 200 Km². No forma este valle una cuenca totalmente cerrada, al norte está unido con el valle de Calingasta por la depresión llamada ciénaga de Yalguaraz y al sur puede estar conectado con la cuenca del río Mendoza.

Valle medio del río Tunuyán

Coincide con la zona centro de estudio del Centro Regional de Agua Subterránea. Su extensión puede estimarse en unos 7.600 Km². Está delimitado al norte y este por la cerrillada pedemontana, al sur por una alineación de afloramientos de rocas basálticas cuaternarias que separa este valle del ocupado por la cuenca media del río Diamante y al oeste por la Cordillera Frontal.

Valle medio de los ríos Diamante, Atuel, Salado y Malargüe

Tiene unos 8.800 Km² de extensión y está situado al sur del área anterior. Limita al este con el Bloque de San Rafael, al sur con los cerros y mesetas basálticos surmendocinos y al oeste con la Cordillera Principal.

Esta zona de acumulación de sedimentos cuaternarios (figura 2) parece formar una sola cuenca de agua subterránea, incluyéndose en ella la cuenca cerrada de la laguna Llanquanelo. Las divisorias superficiales entre las cuencas hidrográficas de los ríos Atuel y Salado y entre este último y el Malargüe son de escasa altura y están cubiertas por terrenos modernos permeables.

Zonas montañosas

Como se puede apreciar en la figura 1, las zonas montañosas ocupan una superficie importante del territorio mendocino. Dado que no existen estudios hidrogeológicos de estas áreas, se plantea una subdivisión aproximadamente coincidente con las provincias geológicas tradicionales. Estas regiones, desde el punto de vista hidrogeológico, pueden constituir acuíferos localmente importantes. La falta de estudios detallados en las mismas puede atribuirse a la presencia en Mendoza de importantísimos acuíferos en sus valles intermontanos y en la llanura oriental, lo que ha relegado a segundo plano a las áreas montañosas como potenciales reservorios de agua subterránea.

Las regiones identificadas en la figura 1 y que pertenecen a esta subdivisión son la Precordillera, las Cordilleras Frontal y Principal, la Cerrillada Pedemontana, el Bloque de San Rafael y las mesetas y cerros basálticos sur mendocinos.

RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS DE LA ZONA NORTE

(por Jorge A. Pazos)

(Región de los ríos Mendoza y Tunuyán)

Descripción de la zona

La zona norte, también llamada región de los ríos Mendoza y Tunuyán, abarca una extensión de 22.800 Km², formada por una amplia llanura ubicada aproximadamente entre los 32°20' y los 34°40' de latitud sur y 67°10' y 69°00' de longitud oeste. Los límites naturales están dados al oeste por la Precordillera, al sur por los afloramientos terciarios de los anticlinales de Carrizal, La Ventana y Vizcacheras y al norte y este por las Lagunas del Rosario y el río Desaguadero (figura 1).

Dentro de los límites señalados, se encuentra una cuenca hidrogeológica que posee un importante reservorio de agua subterránea y está surcada superficialmente por tres cursos de agua: el río Mendoza, el río Tunuyán y el arroyo Carrizal, cuyos módulos son respectivamente 40, 30 y 1 m³/seg.

El reservorio de agua subterránea está constituido por acuíferos que abarcan todo el subsuelo de la zona con niveles de agua que van desde la surgencia natural hasta más de 200 m de profundidad.

Radican dentro de esta zona el 78 % de la población de la provincia y el más importante conjunto de industrias. Pero la actividad que consume el mayor volumen de agua es la agricultura bajo riego, la que debido a su expansión tan intensa ha motivado la necesidad de estudiar detalladamente la forma y funcionamiento de la cuenca subterránea, como asimismo la calidad del agua que contiene para lograr un eficiente uso conjunto del agua superficial y subterránea.

En el presente se encuentran labradas aproximadamente 254.000 hectáreas, las que son regadas conjuntamente con aguas superficiales y subterráneas, provenientes del río Mendoza, del embalse El Carrizal sobre el río Tunuyán y unas 16.000 perforaciones.

Dentro de esta zona es conveniente delimitar dos áreas, una al oeste del río Mendoza y zona aledaña al río Tunuyán inferior (zona noroccidental) y otra al este y norte de la anterior (zona nororiental) (figura 1). En la primera el uso principal de agua subterránea es para agricultura y en la segunda su uso es para ganadería.

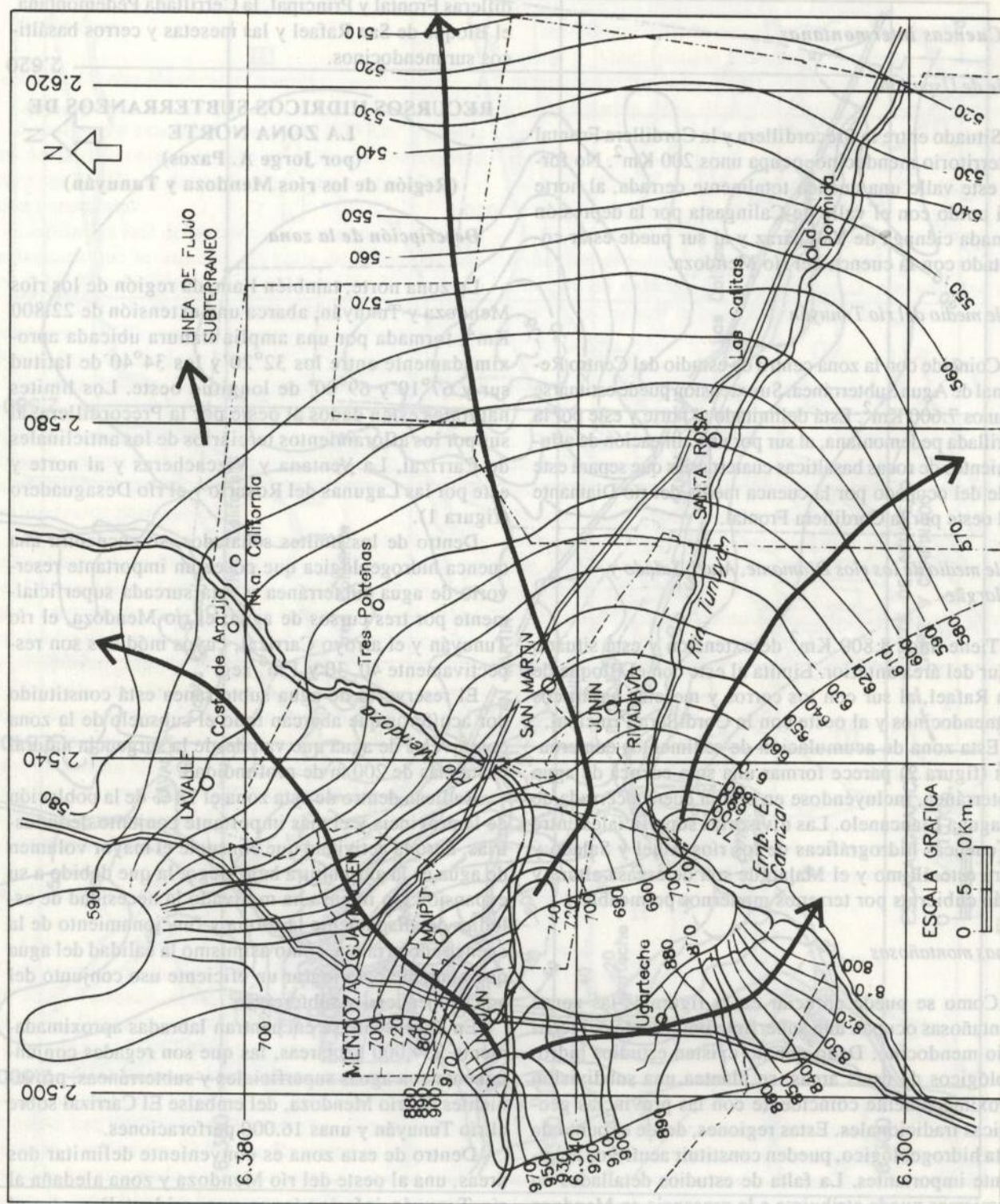


Figura 5: Curvas isopiezas de la zona norte.

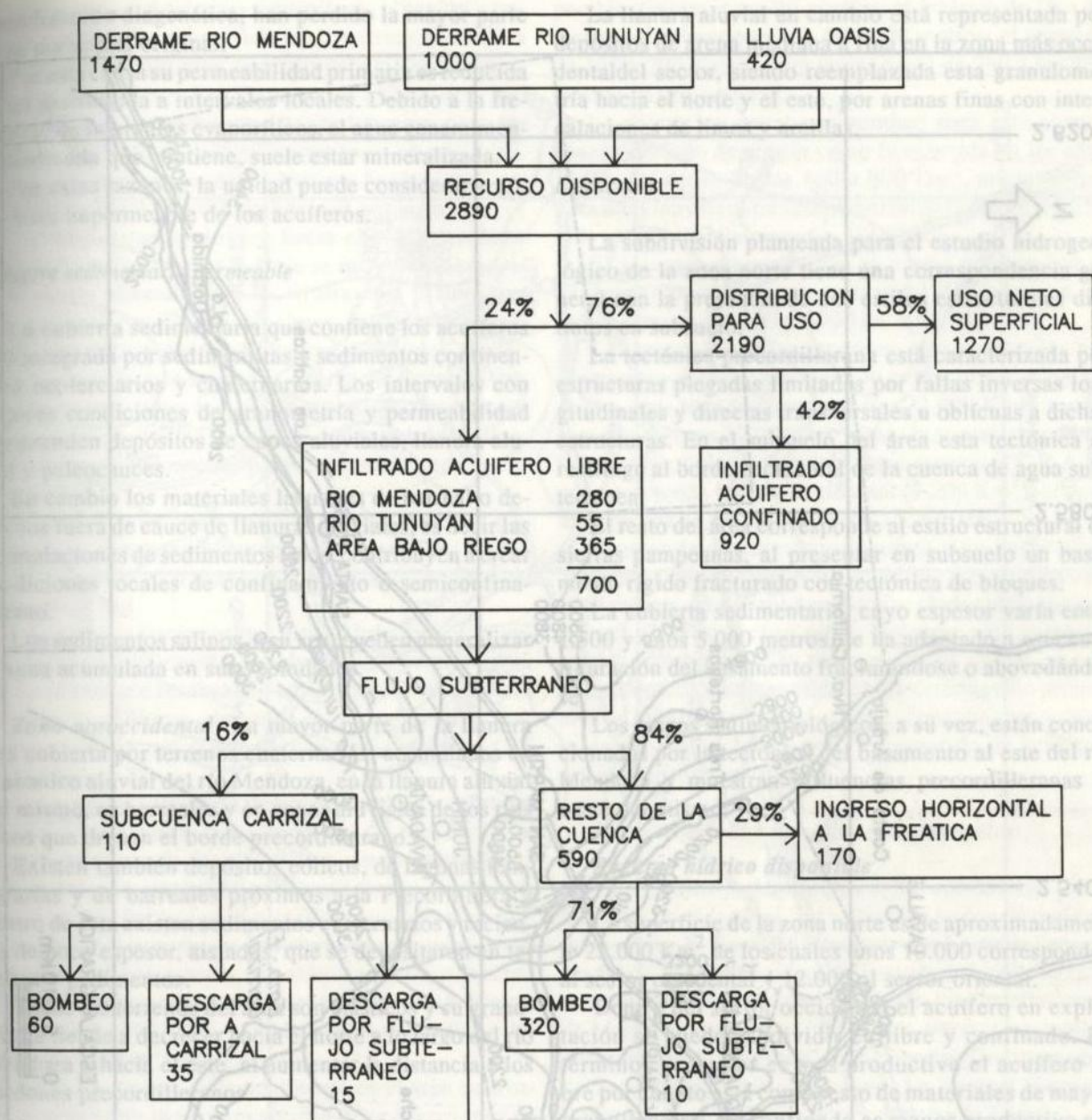


Figura 6: Distribución global del recurso hídrico para valores medios ($Hm^3/año$) de la zona norte.

Marco hidrogeológico

Desde el punto de vista hidrogeológico las unidades litoestratigráficas aflorantes o subsuperficiales del área pueden agruparse en tres grandes conjuntos: basamento, cubierta sedimentaria impermeable y cubierta sedimentaria permeable (figura 3).

Basamento

Se denomina basamento al conjunto de rocas precámbricas y paleozoicas del área, las que pueden alcan-

zar varios kilómetros de espesor y cuya consolidación diagenética o metamorfismo han destruido la porosidad primaria. Las rocas del basamento, por ende, son impermeables o poseen localmente permeabilidad secundaria por disolución o fractura.

Cubierta sedimentaria impermeable

Se denomina así al conjunto de sedimentitas continentales de edades triásica, posiblemente jurásica o cretácica y terciaria, que por su litología, compactación o

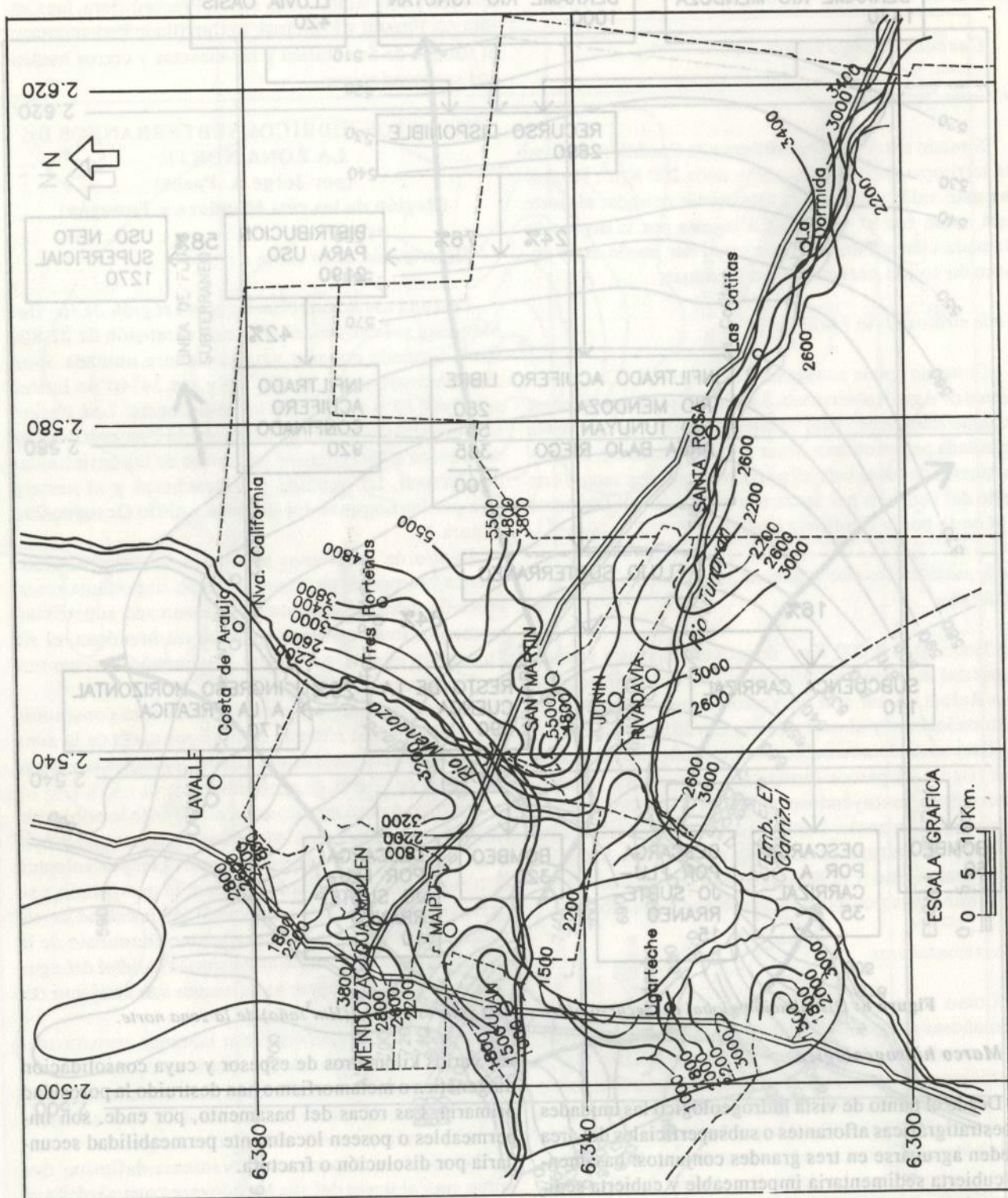


Figura 7: Conductividad eléctrica - Primer nivel de explotación.

consolidación diagenética, han perdido la mayor parte de su porosidad original.

Por esta causa su permeabilidad primaria es reducida o está restringida a intervalos locales. Debido a la frecuencia de intervalos evaporíticos, el agua generalmente confinada que contiene, suele estar mineralizada.

Por estas razones, la unidad puede considerarse como base impermeable de los acuíferos.

Cubierta sedimentaria permeable

La cubierta sedimentaria que contiene los acuíferos está integrada por sedimentitas y sedimentos continentales neoterciarios y cuaternarios. Los intervalos con mejores condiciones de granulometría y permeabilidad comprenden depósitos de conos aluviales, llanura aluvial y paleocauces.

En cambio los materiales lacustres de barreal o depósitos fuera de cauce de llanuras aluviales, es decir las acumulaciones de sedimentos finos, contribuyen a crear condiciones locales de confinamiento o semiconfinamiento.

Los sedimentos salinos, a su vez, pueden mineralizar el agua acumulada en sus vecindades.

Zona noroccidental: La mayor parte de la llanura está cubierta por terrenos cuaternarios, acumulados en el abanico aluvial del río Mendoza, en la llanura aluvial del mismo, en barreales y en conos aluviales de los ríos secos que drenan el borde precordillerano.

Existen también depósitos eólicos, de lagunas temporarias y de barreales próximos a la Precordillera y dentro de ésta existen sedimentos cuaternarios y recientes de poco espesor, aislados, que se depositaron en terrazas y pedimentos.

Todos los terrenos del área son clásticos y su granulometría tiende a decrecer hacia el norte a lo largo del río Mendoza y hacia el este, al aumentar la distancia a los cordones precordilleranos.

Zona Nororiental: De los depósitos de abanico aluvial y llanura aluvial de transición del sector occidental pasamos aquí a llanura aluvial distal, de relieve más llano que la anterior. Su superficie se presenta cubierta casi totalmente por limos y otras fracciones finas. La pendiente también es norte o noreste y no sobrepasa, salvo localmente, el uno por mil.

En el subsuelo de este sector los perfiles litológicos en la zona de sedimentos lacustres y barreales muestran una sucesión monótona de arcillas plásticas y semi plásticas con algunas intercalaciones de arena fina. El yeso se encuentra presente en todas las columnas. Todo ello demuestra que la colmatación de este sector fue lenta y tranquila.

La llanura aluvial en cambio está representada por depósitos de arena mediana a fina en la zona más occidental del sector, siendo reemplazada esta granulometría hacia el norte y el este, por arenas finas con intercalaciones de limos y arcillas.

Estructura

La subdivisión planteada para el estudio hidrogeológico de la zona norte tiene una correspondencia general con la presencia de dos estilos estructurales distintos en subsuelo.

La tectónica precordillerana está caracterizada por estructuras plegadas limitadas por fallas inversas longitudinales y directas transversales u oblicuas a dichas estructuras. En el subsuelo del área esta tectónica se restringe al borde occidental de la cuenca de agua subterránea.

El resto del área corresponde al estilo estructural de sierras pampeanas, al presentar en subsuelo un basamento rígido fracturado con tectónica de bloques.

La cubierta sedimentaria, cuyo espesor varía entre 1.500 y unos 5.000 metros, se ha adaptado a esta configuración del basamento fracturándose o abovedándose.

Los rasgos sedimentológicos, a su vez, están condicionados por la tectónica del basamento al este del río Mendoza y muestran influencias precordilleranas al oeste del mismo.

Recurso hídrico disponible

La superficie de la zona norte es de aproximadamente 22.000 Km² de los cuales unos 10.000 corresponden al sector occidental y 12.000 al sector oriental.

Dentro del sector occidental el acuífero en explotación se puede subdividir en libre y confinado. En términos generales es más productivo el acuífero libre por cuanto está compuesto de materiales de mayor granulometría. El confinado es menos productivo pero tiene a su favor el hecho de que en general el nivel piezométrico está relativamente cercano a la superficie (figura 4).

Los niveles estáticos o profundidad del agua subterránea varían desde la zona de recarga, con valores máximos de 180 metros al oeste de la destilería de Luján de Cuyo y 20 metros en el área de recarga del río Tunuyán, para disminuir progresivamente hacia el este, alcanzando valores de 5 metros y menos en el área de acuífero confinado.

En la zona de transición entre el acuífero libre y confinado, se encuentra un área de surgencia, con una superficie de 250 Km², que presenta valores máximos de 10 metros sobre el nivel del terreno.

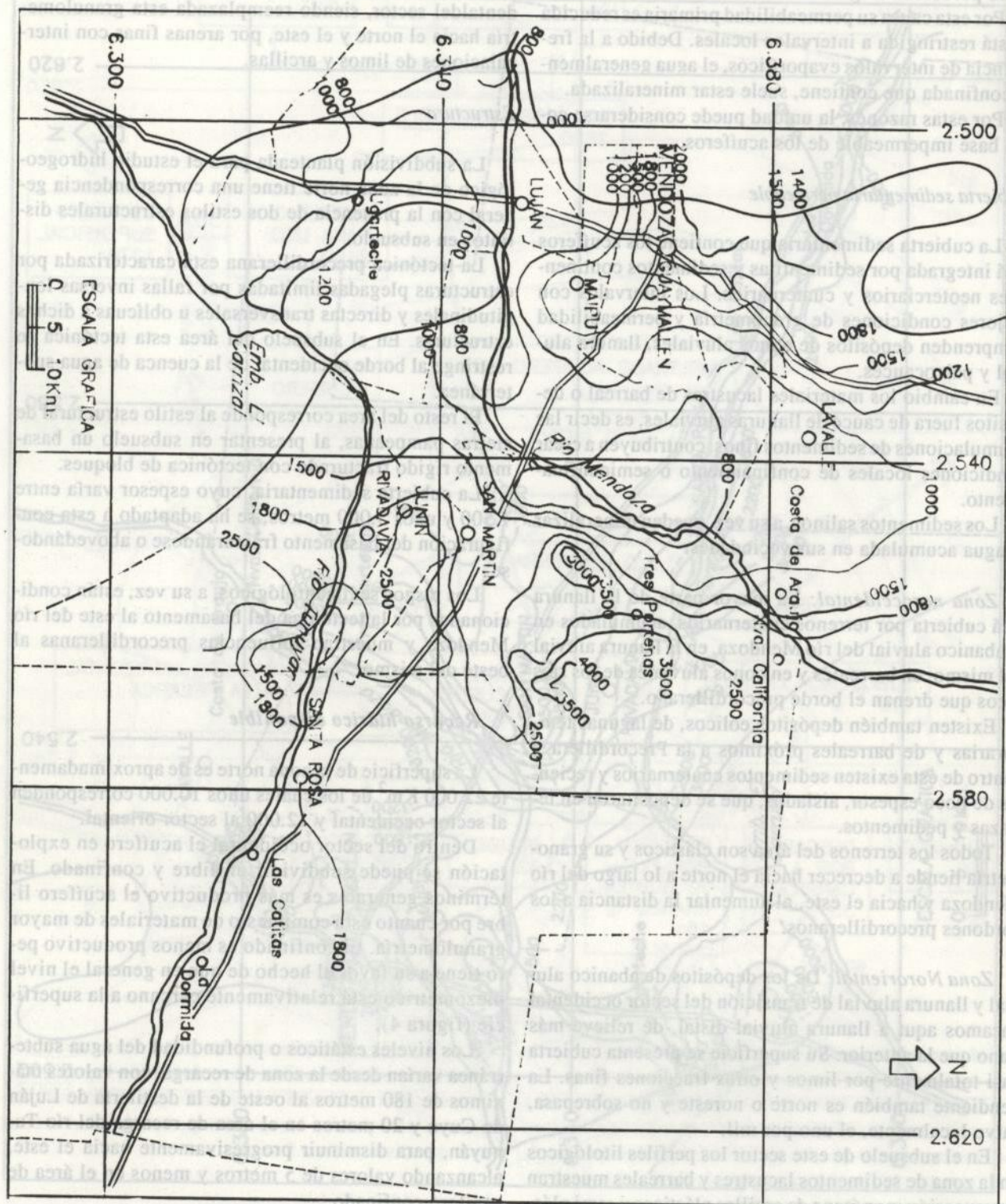


Figura 8: Conductividad eléctrica - Segundo nivel de explotación.

El movimiento del agua subterránea, obtenido a través del análisis de la superficie piezométrica, se verifica desde su punto más alto, ubicado debajo del río Mendoza entre los diques Las Compuertas y Cipolletti, justamente donde se produce la principal recarga, en todas las direcciones, habiendo predominancia en tres sentidos de circulación bien definidos: uno hacia el sudeste, otro hacia el este y el último hacia el nordeste.

Los flujos que se dirigen hacia el este y nordeste tienen un gradiente del 4 ‰ que se incrementa bruscamente hasta valores del 55 ‰ al atravesar la línea que une Lunlunta con Chacras de Coria, debido a la perturbación producida por las fallas que flanquean el anticlinal asimétrico de Lunlunta-Barrancas-Carrizal. Sobre pasada esta zona los gradientes disminuyen hasta donde se inicia el confinamiento, donde aumentan ligeramente, para permanecer constantes en la zona confinada (1 ‰).

El flujo que se dirige hacia el sudeste presenta gradientes que van disminuyendo hasta Ugarteche (1,2 ‰) donde se produce un aumento hasta descargar en el río Tunuyán (4 ‰).

En las inmediaciones del dique Gobernador Benegas, sobre el río Tunuyán, se advierte una pequeña área donde se produce recarga. En consecuencia los gradientes de esta zona son algo más elevados (5 ‰) y van disminuyendo hacia el este hasta hacerse uniforme (1,5 a 1 ‰) (figura 5).

Los mejores valores de transmisividad se encuentran cerca del vértice del cono aluvial del río Mendoza con valores máximos de 20.000 m³/d y rendimientos específicos del orden de los 50 m³/hora x metro. Ambos parámetros van decreciendo a medida que nos alejamos de la zona de recarga, ya que como se mencionó anteriormente los sedimentos se vuelven más finos, encontrándose valores mínimos de transmisividad en la zona confinada de 100 m²/d y rendimientos específicos del orden de los 5 m³/hora x metro.

En la zona norte, principalmente en el área cultivada, se concentra la mayor cantidad de perforaciones de la provincia, aproximadamente 16.000 pozos con una densidad promedio de 6 pozos por Km² para una superficie cultivada de 254.000 hectáreas.

Dentro de esta área la mayor densidad (que supera ampliamente el promedio anterior) se halla en los departamentos de Maipú, San Martín y Guaymallén, donde en la zona de Rodeo del Medio se registra una perforación cada 100 metros lineales que riegan parcelas de 3 a 7 hectáreas.

La profundidad de las perforaciones varía en su mayoría entre los 70 y 250 metros y alcanza profundidades de explotación máxima de 350 metros.

Los niveles de explotación fluctúan en el área libre de los 30 a los 200 metros y en el área confinada es

posible distinguir cuatro niveles: el freático de 10 a 40 metros, el primer nivel de 60 a 120 metros, el segundo de 150 a 200 metros y un tercer nivel de 240 a los 350 metros de profundidad.

La extracción anual por bombeo para esta cuenca fue, en período de sequía como la ocurrida en los años 71/72, del orden de los 560 a 600 Hm³, mientras que para años muy ricos en agua superficial (como el 84/85), esta extracción disminuyó a 100 Hm³.

El volumen promedio que se extrae por bombeo se hallaría aproximadamente en los 380 Hm³/año, con valores extremos de 100 y 600 Hm³/año (figura 6).

La reserva hídrica subterránea está constituida por el volumen de agua almacenado en la cubeta sedimentaria y para toda la cuenca norte (22.000 Km²) supera seguramente los 30.000 Hm³. Bajo la superficie cubierta por los modelos matemáticos que maneja el C.R.A.S., que comprende la zona occidental (9.200 Km²), el agua almacenada es del orden de los 15.000 Hm³.

A pesar de contar con volúmenes muy importantes de reserva, hay que tener en cuenta que ésta se convierte en el recurso amortiguador de los períodos hidrológicos pobres. Por ello, su uso debe reservarse para casos extremos y planificarse su manejo. De no ser así, se producirían efectos indeseables, como disminución progresiva de los niveles estáticos, con el consiguiente aumento de los costos de bombeo, salinización de acuíferos por sobreexplotación, etc.

Características hidroquímicas generales

Para facilitar la descripción de las condiciones hidroquímicas de cada nivel de explotación se consideran cuatro sectores: El Carrizal (Departamento Luján de Cuyo, al sur del río Mendoza hasta el río Tunuyán); occidental (norte y oeste del río Mendoza abarcando los Departamentos de Maipú, Godoy Cruz, Capital, Las Heras, Guaymallén, oeste de Lavalle y norte de Luján); central (Departamentos de San Martín, Junín y Rivadavia) y oriental (Departamentos de Santa Rosa, La Paz y sudeste de Lavalle).

Esta división no representa una sectorización hidroquímica puesto que existe continuidad acuífera lateral en cada nivel de explotación; no obstante en ocasiones se comprueban efectos hidroquímicos diferenciados en dichos sectores.

El aporte hídrico de los ríos Cuevas, Tupungato y de las Vacas, define el carácter químico del agua del río Mendoza y por ende del agua de los acuíferos de la zona norte. Así el agua del río Mendoza se presenta cálcica-sulfatada predominantemente y eventualmente sulfatada-cálcica y sulfatada-cálcica-sódica, dependiendo de los caudales erogados.

Para el río Tunuyán en cambio, el agua es sulfatada-cálcica predominante y eventualmente cálcica-sulfatada.

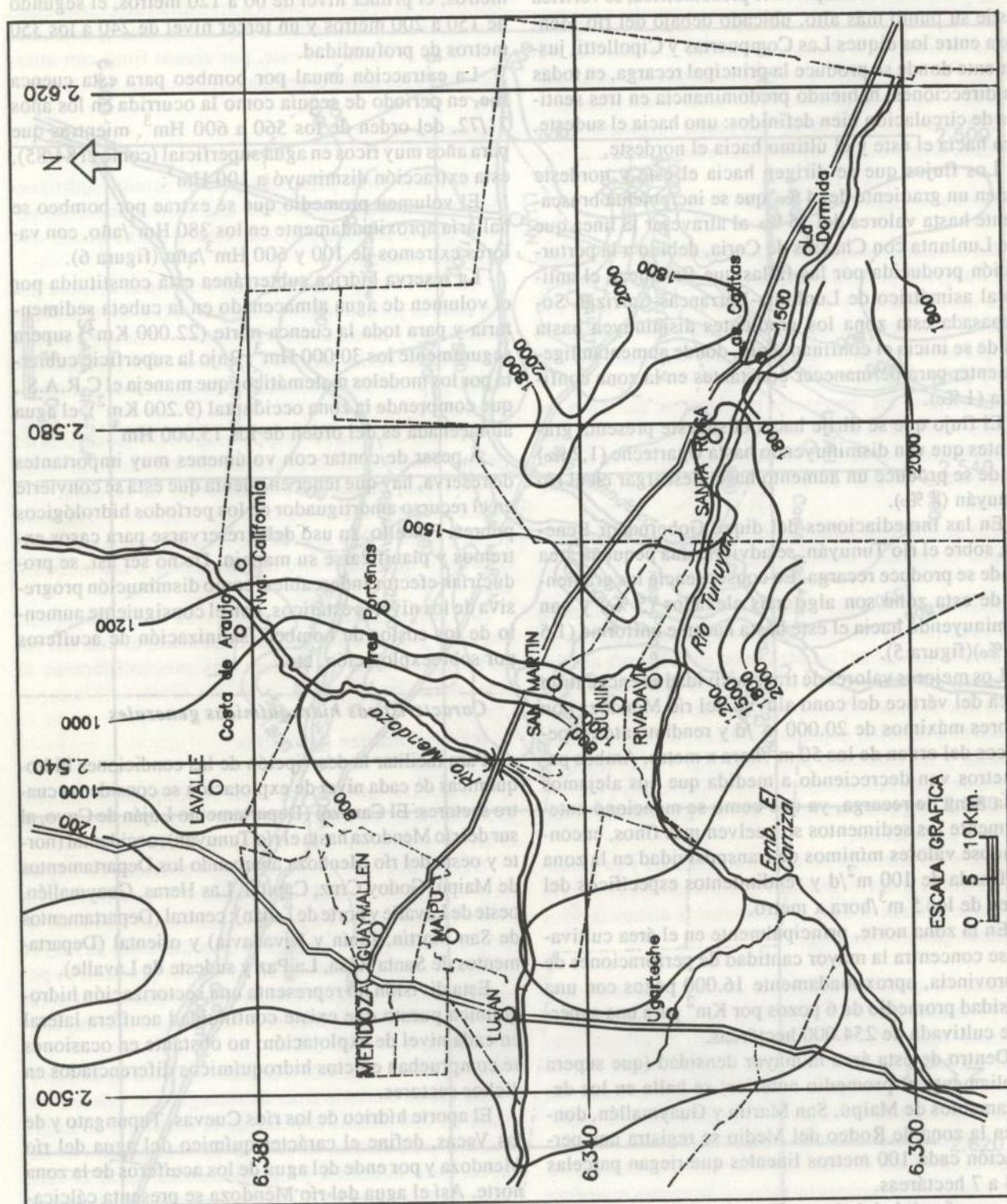


Figura 9: Conductividad eléctrica - Tercer nivel de explotación.

Primer nivel de explotación

El agua subterránea del primer nivel de explotación, que varía entre 0 y 80 metros, es la más próxima a la superficie del terreno, por lo cual se encuentra sometida a efectos modificadores de su composición química que, en general, se hacen más notables que en el resto del espesor saturado. El retorno del agua utilizada para riego a los acuíferos subyacentes por ejemplo, trae como consecuencia un deterioro de la calidad del mismo.

En el área se observa que la salinidad total del agua (medida como conductividad eléctrica específica) del primer nivel de explotación supera los 800 micromho/cm, quedando comprendida entre este valor y 6.000 micromho/cm. En general, los tenores de salinidad son muy elevados, lo cual ha incidido en un paulatino abandono de las perforaciones que tienen sus filtros en dicho nivel, reemplazándose las por otras más profundas con la finalidad de extraer agua de mejor calidad (figura 7).

Sector El Carrizal: Al norte de este sector existe un área de acuífero libre donde, junto al lecho del río Mendoza, se produce la máxima recarga.

La salinidad del agua, en líneas generales, aumenta de noroeste a sur-sureste y de oeste a este con un mínimo de 814 micromho/cm y un máximo de 3.570 micromho/cm, en el extremo sureste del sector y un promedio de 1.860 micromho/cm.

Sector occidental: Pese a la continuidad acuífera vertical en dicha área, el agua de riego percolada se queda en la parte superior del acuífero ya que los fenómenos de mezcla por dispersión y difusión molecular son muy lentos y menores que la velocidad horizontal del agua. Este fenómeno explica la estratificación química vertical en el área de acuífero libre.

En este primer nivel se observa que la salinidad del agua subterránea varía desde 1.000 a 1.200 micromho/cm en las proximidades del río Mendoza hacia el norte y noreste, aumentando en el sentido del flujo hasta 4.500 micromho/cm, como valor máximo determinado en este sector (figura 7).

Sector central: La salinidad de este primer nivel de explotación en este sector varía de 2.140 a 6.210 micromho/cm, con un valor promedio de 3.490 micromho/cm. Los tenores más elevados se han determinado al noreste de San Martín y al este de Tres Portañas con valores máximos de 5.000 micromho/cm y al sureste de Palmira donde la salinidad supera los 6.000 micromho/cm. El 80% de la superficie del sector presenta valores que son superiores al promedio.

Sector oriental: Las curvas de isosalinidad indican valores muy variables que van desde 2.300 a 4.830 micromho/cm, siendo el promedio de 3.250 micromho/cm. Estas curvas no muestran una tendencia definida de mineralización según el flujo subterráneo (oeste-este). Los pozos que presentan menor salinidad se encuentran ubicados en las proximidades de la zona de recarga del curso del río Tunuyán.

Segundo nivel de explotación

Este nivel, con profundidades de explotación entre 100 a 180 metros, se encuentra menos sometido a efectos de contaminación vertical que el primer nivel. No obstante se observan zonas que presentan un elevado grado de mineralización que en algunos casos se manifiesta como una tendencia que pone en peligro de degradar el agua para uso agrícola.

La salinidad del agua varía en este nivel de 700 micromho/cm, en el área de máxima recarga, a 3.030 micromho/cm en el sector central (figura 8).

Sector El Carrizal: Las salinidades de este sector varían de 700 a 1.270 micromho/cm, aumentando en el sentido del flujo subterráneo de norte a sureste.

Sector occidental: En este sector la salinidad varía de 713 a 2.150 micromho/cm con promedio de 1077 micromho/cm. Las curvas de salinidad parecen indicar una línea de flujo preferencial suroeste-noreste, probablemente debido a la existencia de material más permeable y con menor capacidad mineralizante. Comparando la salinidad del río Mendoza en el área de máxima recarga con el agua subterránea de dicha zona, se pudo determinar que la mineralización que se produce es mínima.

Sector central: La salinidad del agua del segundo nivel de explotación está comprendida entre 746 y 3.030 micromho/cm con un promedio de 1.601 micromho/cm. Solo un 34% de los pozos analizados sobrepasan el valor promedio de salinidad.

En el plano de isosalinidad se observa que la mineralización en líneas generales aumenta en el sentido del flujo.

Sector oriental: Los pozos que explotan este nivel en el sector oriental se presentan en dos grupos bien diferenciados. El primero se ubica principalmente al oeste de la localidad de Santa Rosa y el segundo en el Departamento de La Paz, en áreas incultas. El agua explotada por los pozos del primer grupo tiene una salinidad variable entre 1.390 y 2.600 micromho/cm con un promedio de 1.806 micromho/cm, mientras que para

el segundo grupo la conductividad eléctrica del agua varía entre 2.050 y 5.050 micromho/cm.

Tercer nivel de explotación

Este nivel, de más de 200 metros de profundidad, es el menos expuesto a los efectos de contaminación vertical, por lo que mantiene condiciones hidroquímicas propias de una evolución natural del agua en las formaciones acuíferas desde las áreas de recarga.

Las curvas de isosalinidad (figura 9) muestran que el agua de este nivel es menos mineralizada que la de los dos anteriores variando desde 778 micromho/cm al oeste de Maipú, a 2.080 micromho/cm en el este.

Sector El Carrizal: La salinidad en este sector fluctúa entre 700 y 750 micromho/cm, pero solamente hay tres perforaciones que explotan este nivel. De todas maneras la calidad del agua para este área es excelente.

Sector occidental: El agua en este sector varía de 778 a 1.390 micromho/cm con promedio de 1.020 micromho/cm.

Sector central: En este sector las conductividades varían entre 791 y 1.740 micromho/cm con un promedio de 1.188 micromho/cm. Las curvas de isosalinidad nos muestran que la misma aumenta de oeste a este, observándose en el área las curvas de 800, 900, 1.000, 1.200 y 1.500 micromho/cm aproximadamente paralelas al río Mendoza. Comparando este plano con los del primer y segundo nivel (figuras 7 y 8) se puede apreciar para éste un menor grado de mineralización y ausencia de notorias anomalías en el comportamiento hidroquímico.

Sector oriental: La salinidad del agua en esta zona está comprendida entre 1.250 y 2.000 micromho/cm como máximo, siendo el promedio de 1.633 micromho/cm. La mayoría de las perforaciones de este sector explotan el tercer nivel cuyas profundidades alcanzan los 350 metros.

RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS DE LA ZONA CENTRO

(por Jorge A. Pazos)

(Valle medio del río Tunuyán)

Descripción del área

La denominada zona centro de la provincia de Mendoza abarca una superficie de aproximadamente 7.600 Km², comprendiendo parte de los Departamentos de Tupungato, Tunuyán, San Carlos y Rivadavia. La zona está

delimitada por los 33°03' y 34°28' latitud sur y 69°29' y 68°42' longitud oeste.

Los límites naturales son los siguientes: al norte, los afloramientos terciarios de la Cerrillada Pedemontana que, desde la Estación Zapata se manifiestan hacia el oeste, al sur las elevaciones que determinan la divisoria de aguas superficiales que discurren ya sea al río Tunuyán o al Diamante, al este forman el límite de la cuenca las Huayquerías y al oeste, la Cordillera Frontal.

El río Tunuyán actúa como colector general de una serie de arroyos y constituye el único egreso superficial de la cuenca Centro con un caudal medio de 33,7 m³/seg.

Esta área forma parte de una gran depresión de origen tectónico, conocida como Depresión de los Huarpe.

Red de drenaje

El área de concentración o recepción de las aguas (cuenca alta) se encuentra ubicada al oeste de la misma. Está constituida por los afloramientos de las Cordillera Frontal y Principal, donde las acumulaciones en forma de nieve pasan al estado líquido originando cursos superficiales de características permanentes y estacionales. Los más importantes son el río Tunuyán y de las Tunas, arroyos de la Carrera, Anchayuyo, Chupasangral, Villegas, Olmo, Grande, Manzano, Yaucha y Aguanda.

El área de infiltración se inicia en la misma cuenca alta en aquellos lugares donde existen fracturas, pero es más importante a partir de la zona pedemontana debido a la acumulación de elementos clásticos permeables.

Los cursos más importantes tienen su origen en la cuenca alta; otros tienen su nacimiento a partir de vertientes existentes tanto en el flanco occidental como en el oriental del área.

Geología superficial

La diferenciación de las distintas unidades geológicas presentes en el área, se realizó teniendo en cuenta las características litológicas y morfológicas y su influencia en el movimiento y retención del agua (figura 10).

Unidad I

Se agrupan en la misma a los afloramientos constituidos por volcanitas y plutonitas del ciclo eruptivo varisco y sedimentitas del Carbonífero, Devónico y metamorfitas de la zona montañosa que están en contacto con los sedimentos de pie de monte. Por sus características litológicas

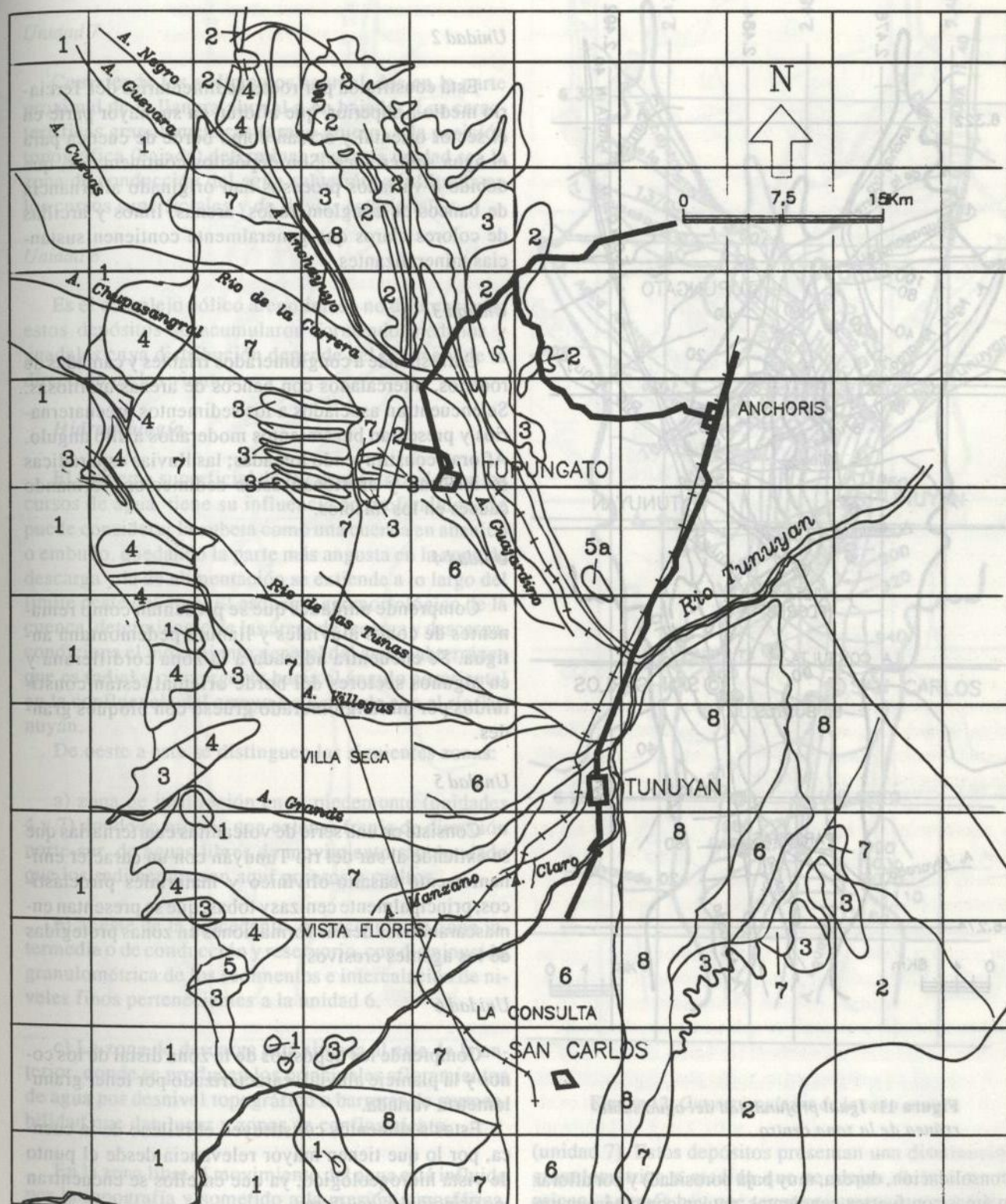


Figura 10: Mapa hidrogeológico de la zona centro.

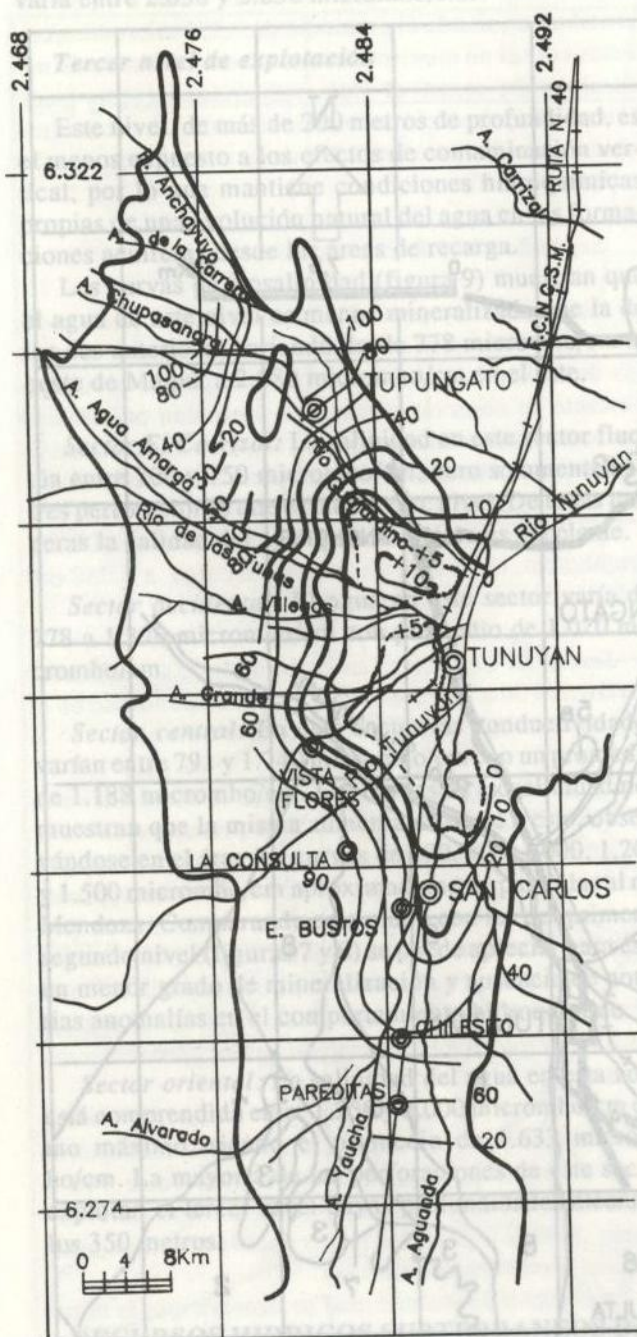


Figura 11: Igual profundidad del agua subterránea de la zona centro.

(consolidación, dureza, muy baja porosidad) y por aflorar en áreas con fuertes pendientes, actúan como basamento impermeable en el que la infiltración es casi nula. Existen excepciones en los lugares donde la roca ha sufrido fracturaciones adquiriendo porosidad y permeabilidad secundarias que influyen en el movimiento del agua permitiendo la infiltración.

daria que influyen en el movimiento del agua permitiendo la infiltración.

Unidad 2

Está constituida por rocas sedimentarias del Terciario medio a superior, que afloran en su mayor parte en el sector oriental y actúan como borde de cuenca para el agua subterránea. Son depósitos continentales, que debido a variados procesos han originado alternancia de bancos de conglomerados, arenas, limos y arcillas de colores claros que generalmente contienen sustancias mineralizantes.

Unidad 3

Corresponde a conglomerados friables y camadas de rodados, intercalados con bancos de arenas arcillosas. Se encuentran asociados a los sedimentos precuaternarios y presentan buzamientos moderados a alto ángulo. Afloran constituyendo lomadas; las lluvias esporádicas se infiltran y erosionan estos sedimentos, formando cauces en los mismos.

Unidad 4

Comprende unidades que se presentan como remanentes de conos aluviales y llanura pedemontana antigua. Se encuentra adosada a la zona cordillerana y en algunos sectores del borde oriental, están constituidos por un fanglomerado grueso con bloques grandes.

Unidad 5

Consiste en una serie de volcanitas cuaternarias que se extiende al sur del río Tunuyán con un carácter eminentemente basalto-olivínico y materiales piroclásticos, principalmente cenizas y tobas, que se presentan enmascarando las demás formaciones en zonas protegidas de los agentes erosivos.

Unidad 6

Comprende los depósitos de la zona distal de los conos y la planicie aluvial, caracterizado por tener granulometría variada.

Estos sedimentos constituyen el relleno de la cuenca, por lo que tienen mayor relevancia desde el punto de vista hidrogeológico, ya que en ellos se encuentran los principales acuíferos.

Las variaciones horizontales y cambios de facies producen acunamientos de las capas permeables y relaciones complejas de interdigitación con aquellas caren-

Unidad 7

Unidad 8

Hidrogeología

De oeste a este se distinguen las siguientes zonas:

c) La zona de descarga está situada al este de la anterior, donde se producen los principales afloramientos de agua por desnivel topográfico o barreras de permeabilidad que dan lugar a zonas de confinamiento.

En la zona libre el movimiento del agua está influido por la topografía y sometido a la presión atmosférica. El medio de circulación está constituido por sedimentos porosos, generalmente fanglomerados y conglomerados, con clastos del tamaño de bloques, gravas y arenas



Figura 12: *Curvas isopiezas de la zona centro.*

(unidad 7). Estos depósitos presentan una disminución granulométrica a medida que se alejan de la zona de origen. Además hay que tener en cuenta la posibilidad de la alternancia de sedimentos finos y gruesos, por los desplazamientos laterales de los cauces de los ríos de régimen torrencial.

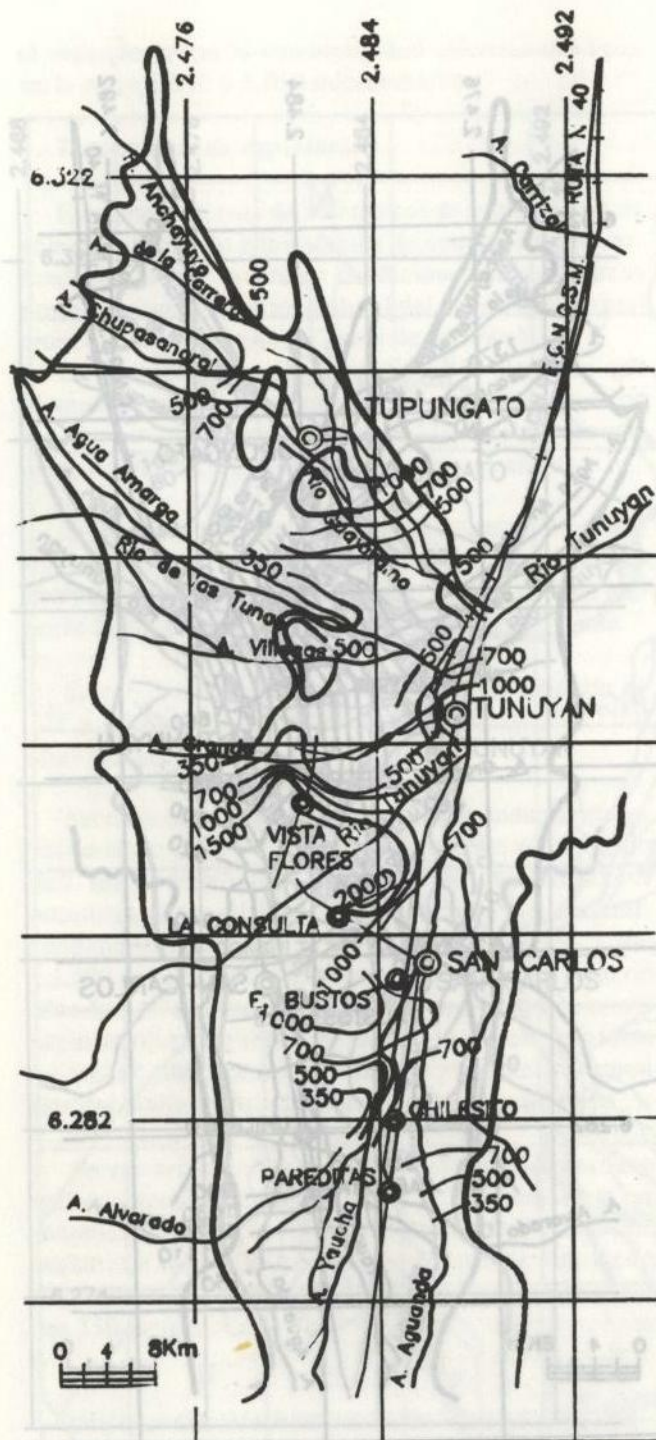


Figura 13: Curvas de isoconductividad eléctrica del acuífero superior (< 80 m) de la zona centro.

La zona confinada se produce fundamentalmente por esta alternancia de gravas, arenas, limos y arcillas y se ubica principalmente en el centro-este de la cuenca.

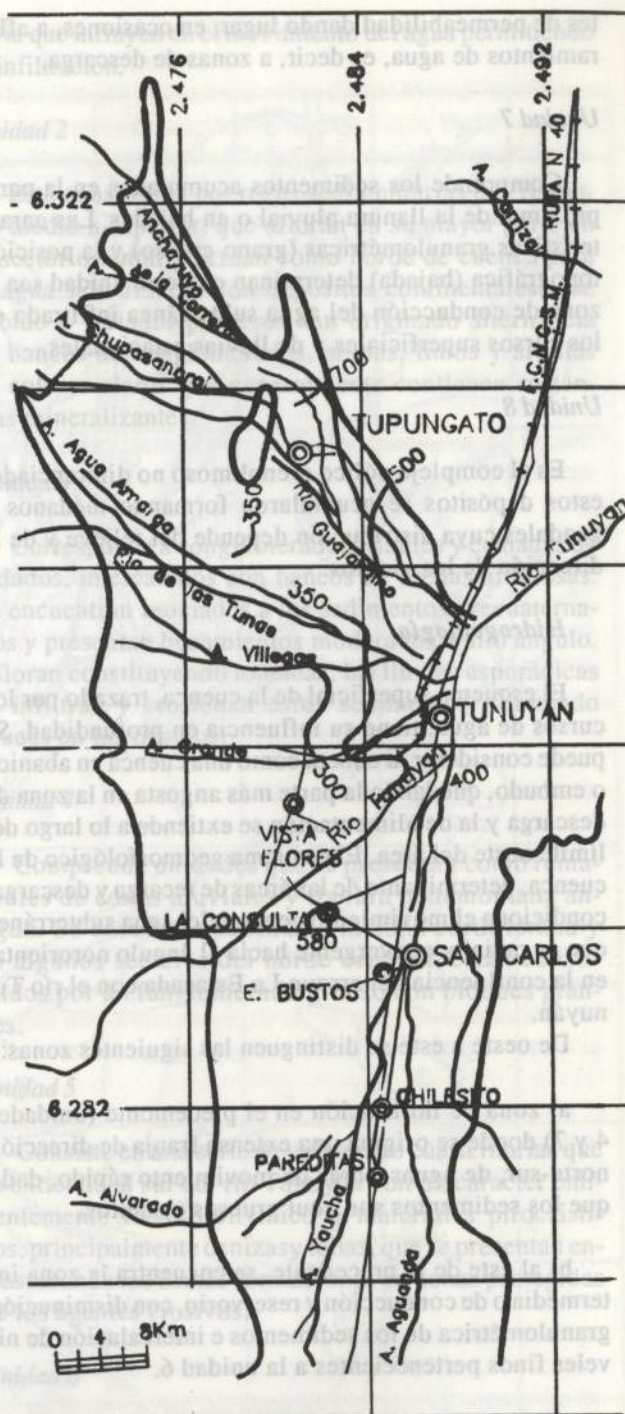


Figura 14: Curvas de isoconductividad eléctrica del acuífero inferior (> 80 m) de la zona centro.

Recurso hídrico disponible

La denominada zona centro está explotada por más de 2.000 pozos, la mayoría de ellos con profundidades

entre los 80 y 250 metros. Existen en ella dos paquetes hidráulicos importantes, el primero hasta los 80 metros (acuífero libre) y otro desde los 85 a 250 metros que es confinado con surgencia (niveles promedios de +15 mts). Se han registrado en algunas zonas perforaciones con profundidades mayores a los 250 metros con surgencias más elevadas, que en casos superan los +60 metros, lo que habla de un tercer acuífero confinado con grandes presiones (figura 11).

A partir del plano de curvas de isopiezas (figura 12) y teniendo en cuenta las recargas y el sentido del flujo subterráneo, se ha creído conveniente dividir el área en tres subzonas, la norte, la media y la sur. La primera va desde el río Las Tunas hasta el borde norte de la cuenca, la media que comprende el área entre los ríos Las Tunas y Tunuyán y por último la subzona sur que se extiende desde el río Tunuyán hasta el borde sur de la cuenca.

Subzona sur

En esta parte de la cuenca, ubicada en el Departamento de San Carlos, las líneas de flujo tienen dirección sur-norte, notándose la recarga proveniente de los caudales infiltrados del arroyo Yaucha, y de otros pequeños cursos, al abandonar los mismos su garganta de erosión y penetrar en el área pedemontana. En esta subzona los mayores gradientes de la superficie piezométrica se registran a la altura de la localidad de Pareditas donde alcanzan valores de 2,35. Hacia el norte la pendiente disminuye al 0,25.

En las proximidades de su límite norte, las líneas de flujo ponen de manifiesto la influencia de la recarga del río Tunuyán.

Subzona media

Se pone aquí de manifiesto la influencia preponderante del río Tunuyán al sur de la subzona y el arroyo Las Tunas en la porción norte. Con excepción del río Tunuyán, los demás ríos y arroyos se infiltran totalmente en el área de piedemonte a poco de abandonar sus cuencas imbríferas.

El agua de estos arroyos, que se infiltra y recarga los acuíferos, emerge en las áreas más bajas de la cuenca, dando origen a un acuífero freático y a una serie de nuevos arroyos que vuelcan sus aguas al río Tunuyán. Estos arroyos, ordenados de norte a sur, que drenan el primer paquete hidráulico son el Guiñazú, Salas, Caroca y Claro.

Los gradientes al oeste son del orden de 1% incrementándose en la parte central al 2% para nuevamente bajar, próximo a la ciudad de Tunuyán, al 0,5. En general el flujo subterráneo tiene dirección oeste-este.

Subzona norte

Esta subzona está recargada por una serie de arroyos que tienen sus nacientes en el Cordón del Plata y por el

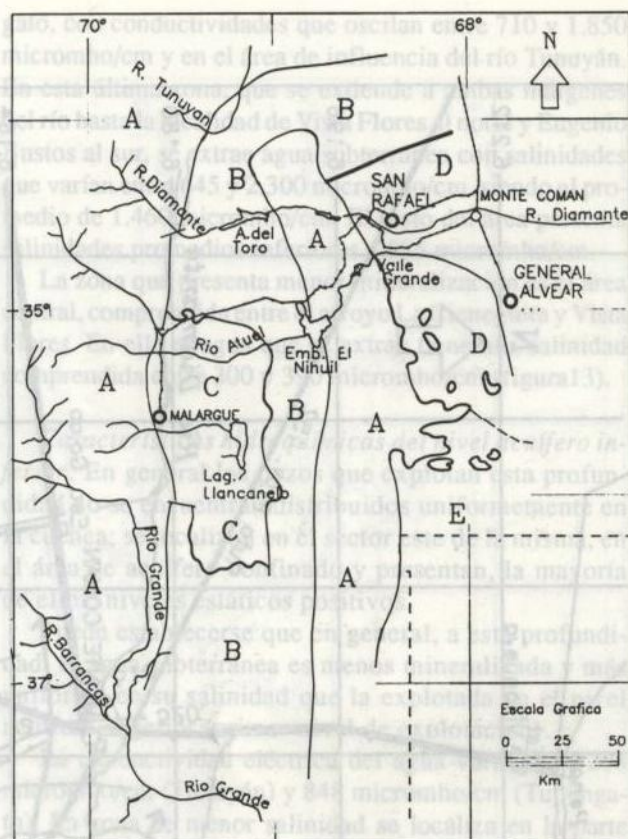


Figura 15: Plano hidrogeológico de la zona sur.

río Las Tunas. Todos estos ríos y arroyos son aprovechados en parte para riego, pero un gran caudal se infiltra a poco de discurrir por la bajada pedemontana.

Las líneas de flujo tienen una dirección general noroeste-sureste y convergen al área de salida del río Tunuyán de la cuenca. Los gradientes fluctúan desde el 0,5% al noroeste hasta el 2% al sureste.

Los sistemas acuíferos de la zona centro en general presentan una gran heterogeneidad, especialmente en el sentido vertical; la alternancia de capas conductoras de agua, semipermeables e impermeables, produce importantes variaciones de transmisividad y del coeficiente de almacenamiento en sentido vertical.

En términos generales la transmisividad disminuye de oeste a este, como así también de sur a norte; es decir que los valores más bajos se encuentran en la zona donde se registra confinamiento. En las proximidades de la localidad de San Carlos, los valores de transmisividad promedio son de $1.000 \text{ m}^2/\text{d}$; el coeficiente de almacenamiento es de 2×10^{-4} y los rendimientos específicos del orden de $18 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$.

Al oeste, tenemos valores de transmisividad que fluctúan entre 2.500 y $9.000 \text{ m}^2/\text{d}$; el coeficiente de almacenamiento es de 1×10^{-3} con rendimientos especí-

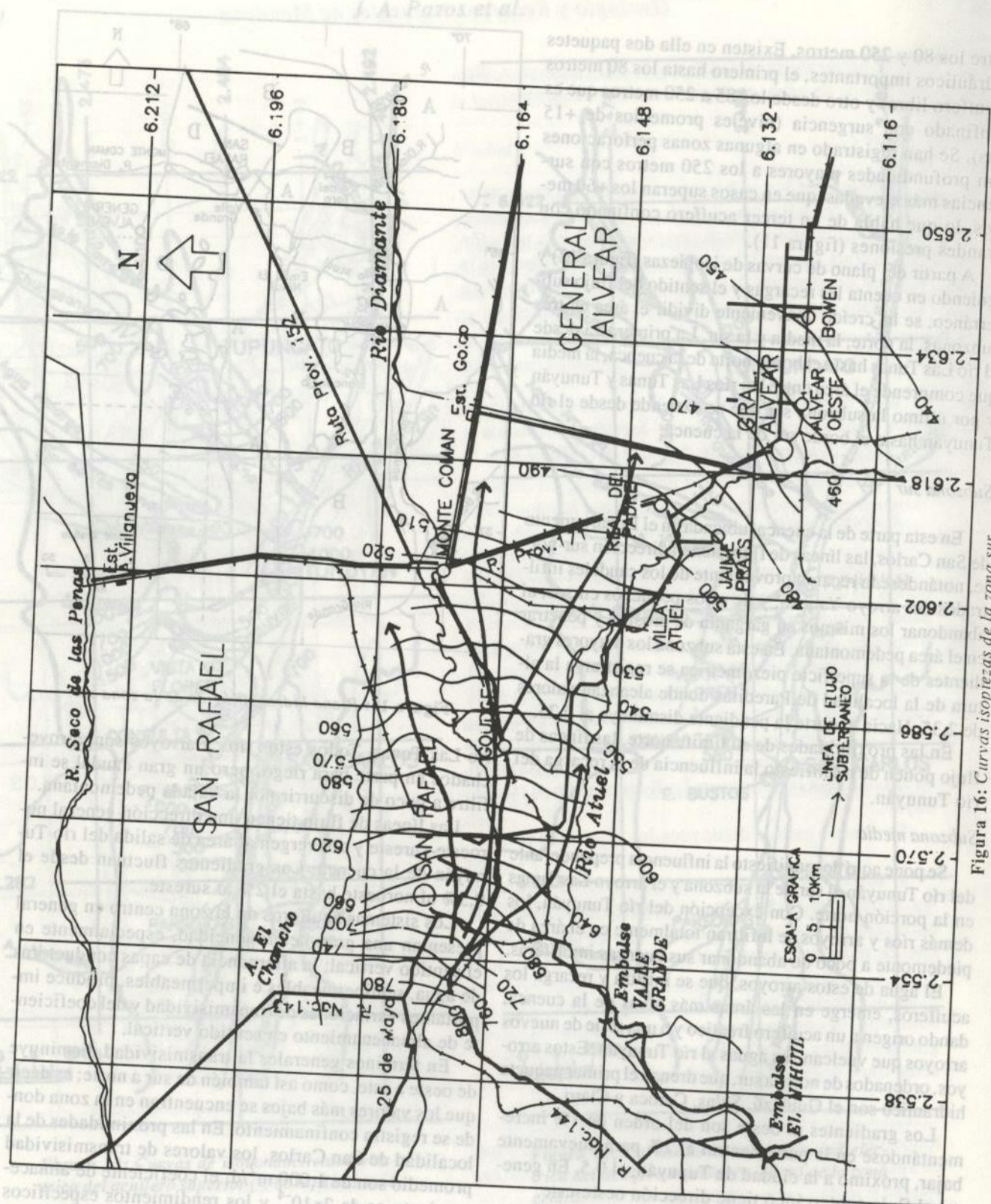


Figura 16: Curvas isopiezas de la zona sur.

ficos de $30 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$. En cambio en la parte este y norte, estos valores bajan a $200 \text{ m}^2/\text{d}$ de transmisividad; 2×10 el coeficiente de almacenamiento y los rendimientos específicos promedio son de $8 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$.

Como se puede apreciar, la zona centro tiene 21 cauces de caudal permanente que erogan anualmente unos 380 Hm^3 y por consiguiente, debido a los materiales permeables por los que corren producen una abundante recarga de los acuíferos. Los caudales que se obtienen de estos acuíferos son muy importantes, las perforaciones realizadas en el acuífero libre sobrepasan los 150.000 litros/h de caudal promedio, aumentando en la zona confinada a valores superiores a los 300.000 litros/h.

Características hidroquímicas generales

Agua superficial

Existen en el área diferentes fuentes de agua superficial y cada una de ellas ejerce un efecto hidroquímico importante sobre las características del agua subterránea. El río Tunuyán tiene un módulo de $33,7 \text{ m}^3/\text{seg}$ y su salinidad varía de 992 a 1.520 micromho/cm. Los máximos valores de salinidad determinados coinciden con los menores caudales medidos. Las salinidades mayores de 1.360 micromho/cm corresponden a caudales del río menores a $16 \text{ m}^3/\text{seg}$; en cambio salinidades inferiores a 1.100 micromho/cm, se obtuvieron para caudales superiores a $22,5 \text{ m}^3/\text{seg}$.

El carácter hidroquímico de las aguas del río Tunuyán, por lo tanto, cambia según las condiciones hidrológicas imperantes para el momento del muestreo, desde sulfatada cálcica (predominante) a sulfatada cálcica sódica. Este cambio de carácter incide a su vez en la composición química del agua subterránea en el área de influencia de dicho río.

En los demás ríos y arroyos de esta región, se observa en general que cuanto mayor es el contenido salino, también lo es la concentración relativa de sulfato y calcio y menor la de bicarbonato. La salinidad total de estos cauces varía entre 105 micromho/cm, que es el valor mínimo determinado para el arroyo El Manzano y 660 micromho/cm que corresponde al valor máximo medido para el arroyo La Carrera.

Agua subterránea

Existe una estratificación hidroquímica vertical en por lo menos dos niveles bien definidos y que coinciden con el esquema hidrogeológico mencionado anteriormente.

Características hidroquímicas del nivel acuífero superior: La salinidad del agua subterránea para este nivel varía entre 300 y 2.300 micromho/cm. Los valores más altos se observan en la zona próxima a la Villa de Tupungato,

con conductividades que oscilan entre 710 y 1.850 micromho/cm y en el área de influencia del río Tunuyán. En esta última zona, que se extiende a ambos márgenes del río hasta la localidad de Vista Flores al norte y Eugenio Bustos al sur, se extrae agua subterránea con salinidades que varían entre 645 y 2.300 micromho/cm, siendo el promedio de 1.460 micromho/cm. El resto del área presenta salinidades promedios inferiores a 585 micromho/cm.

La zona que presenta menor mineralización es el área central, comprendida entre el arroyo La Cieneguita y Vista Flores. En ella el agua que se extrae tiene una salinidad comprendida entre 300 y 390 micromho/cm (figura 13).

Características hidroquímicas del nivel acuífero inferior: En general los pozos que explotan esta profundidad no se encuentran distribuidos uniformemente en la cuenca; se localizan en el sector este de la misma, en el área de acuífero confinado y presentan, la mayoría de ellos, niveles estáticos positivos.

Puede establecerse que en general, a esta profundidad, el agua subterránea es menos mineralizada y más uniforme en su salinidad que la explotada en el nivel acuífero superior (primer nivel de explotación).

La conductividad eléctrica del agua varía entre 208 micromho/cm (Tunuyán) y 848 micromho/cm (Tupungato). La zona de menor salinidad se localiza en la parte central de la cuenca, con valores de conductividad eléctrica inferiores a los 400 micromho/cm. En cambio, al norte de la Villa de Tupungato se han determinado las mayores salinidades para este nivel, entre 590 y 848 micromho/cm.

En general puede establecerse que la salinidad del agua subterránea de este nivel aumenta en la dirección del flujo (figura 14). Para los dos acuíferos, la variación de la salinidad en su recorrido está acompañada de un aumento en la concentración de sulfato y de sodio. La calidad del agua subterránea para riego del acuífero superior es de Clase II y III, buena a regular y la del acuífero inferior es clase II, buena.

RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS DE LA ZONA SUR

(por José L. Bessone, Jorge A. Pazos y Juan A. Vivas)

(Valle Medio de los ríos Diamante, Atuel, Salado y Malargüe; Región de los ríos Diamante- Atuel y Región sur)

Descripción de la zona

Se define como zona sur de Mendoza a la que se encuentra ubicada al sur del paralelo $34^{\circ}20'$ de latitud sur, enmarcada por los siguientes rasgos geográficos principales: por el oeste la Cordillera Frontal y Princi-

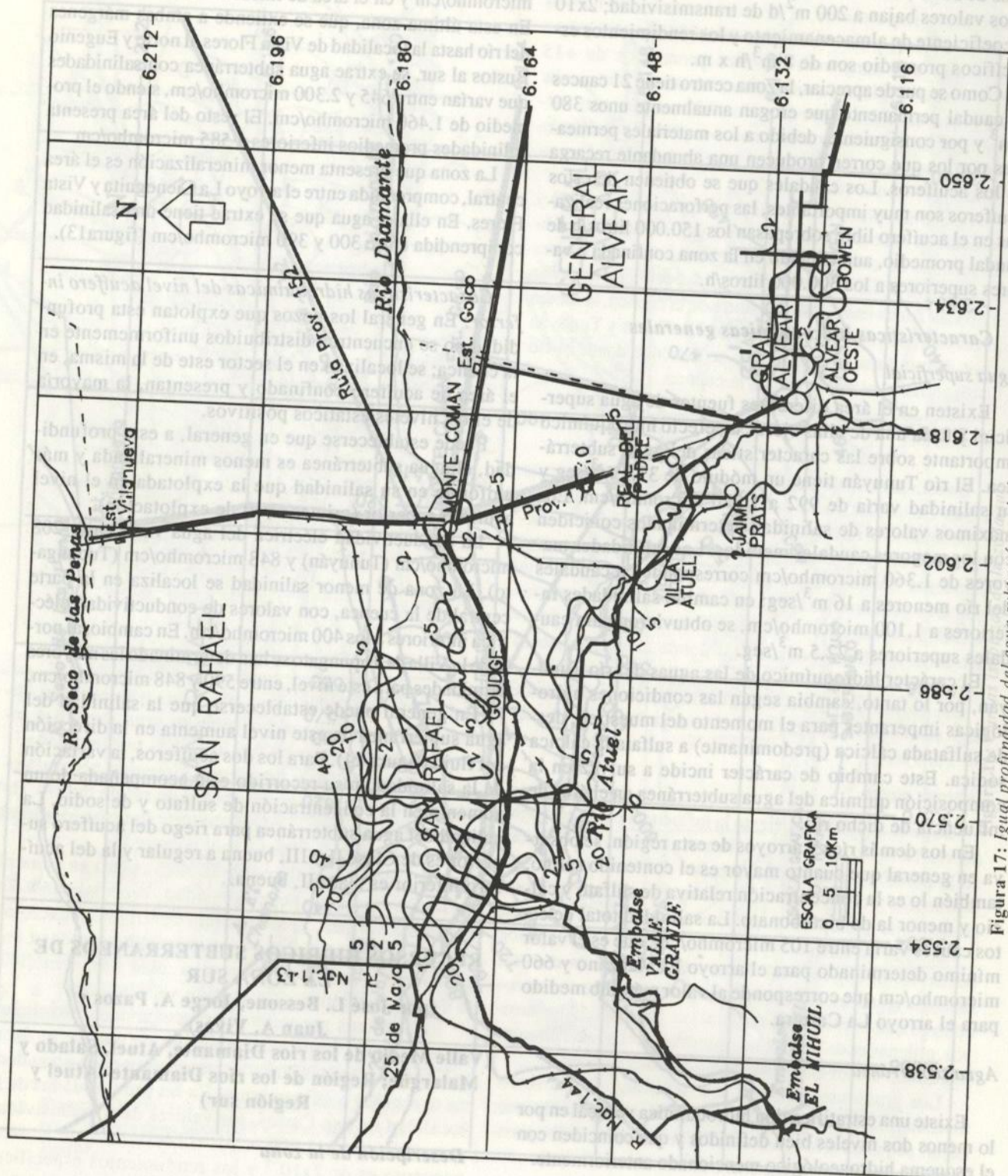


Figura 17: Igual profundidad del agua subterránea de la zona sur.

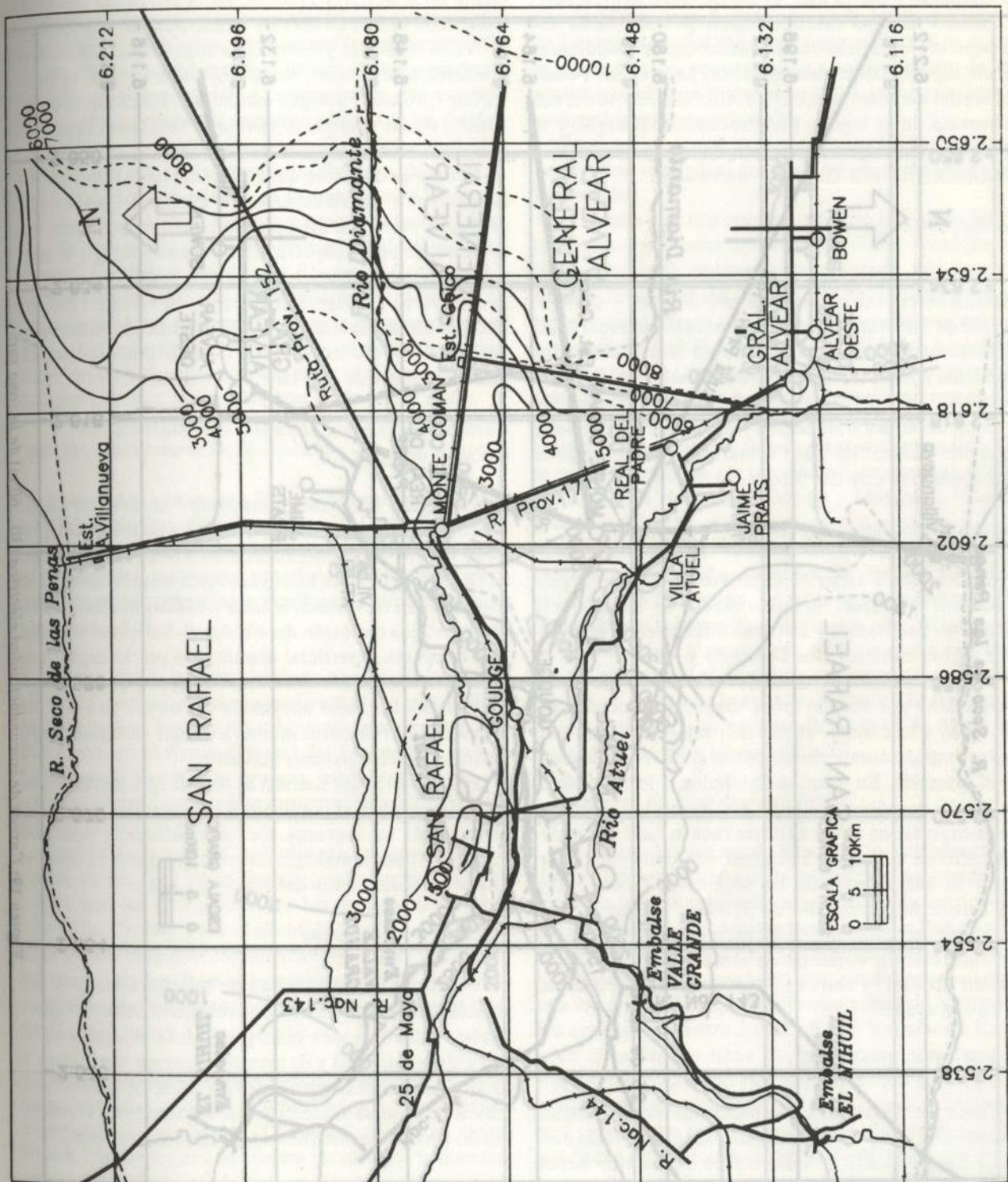


Figura 18: Curvas de isoconductividad eléctrica (0 - 30 m) de la zona sur.

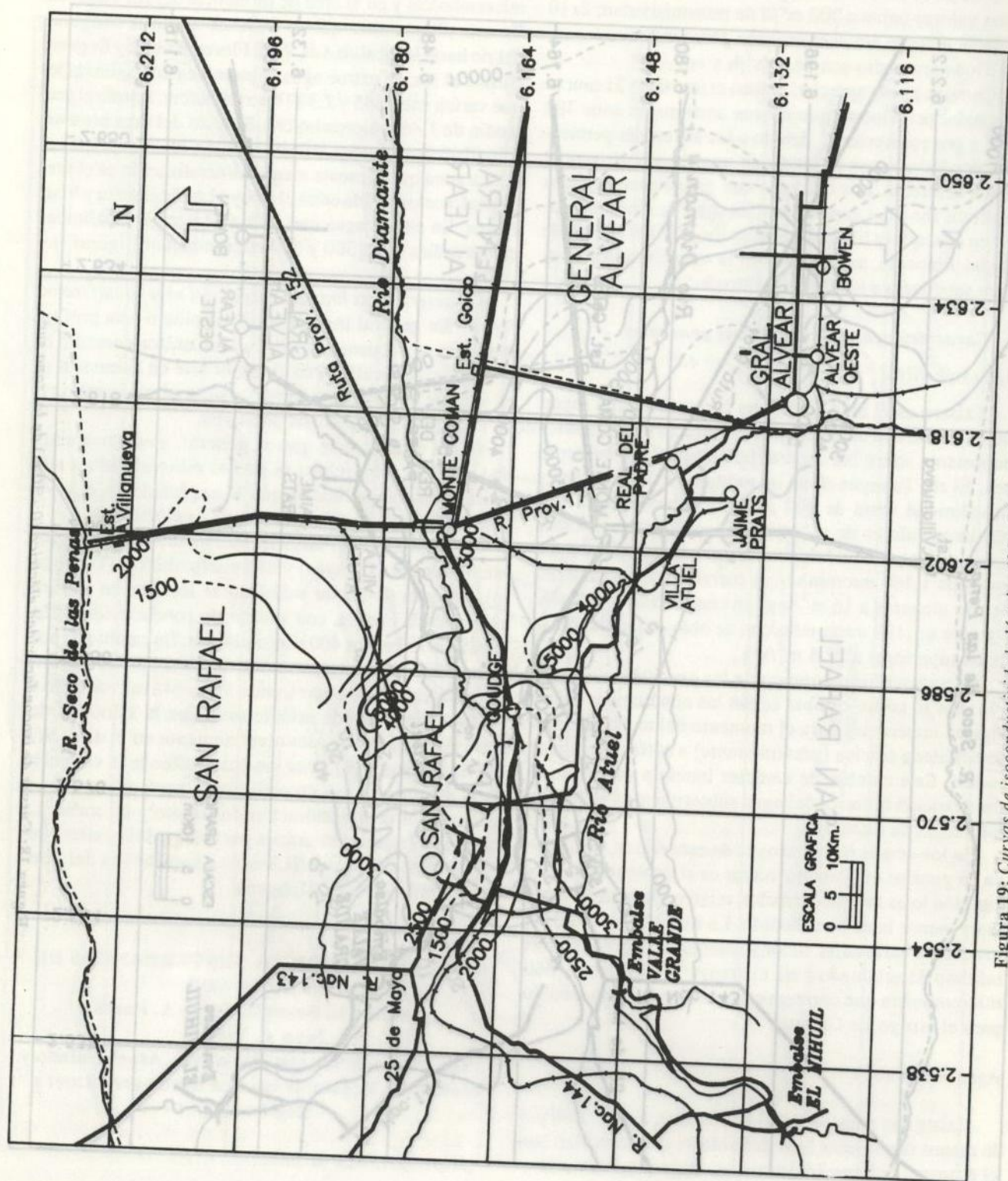


Figura 19: Curvas de isoconductividad eléctrica (30 - 60 m) de la zona sur.

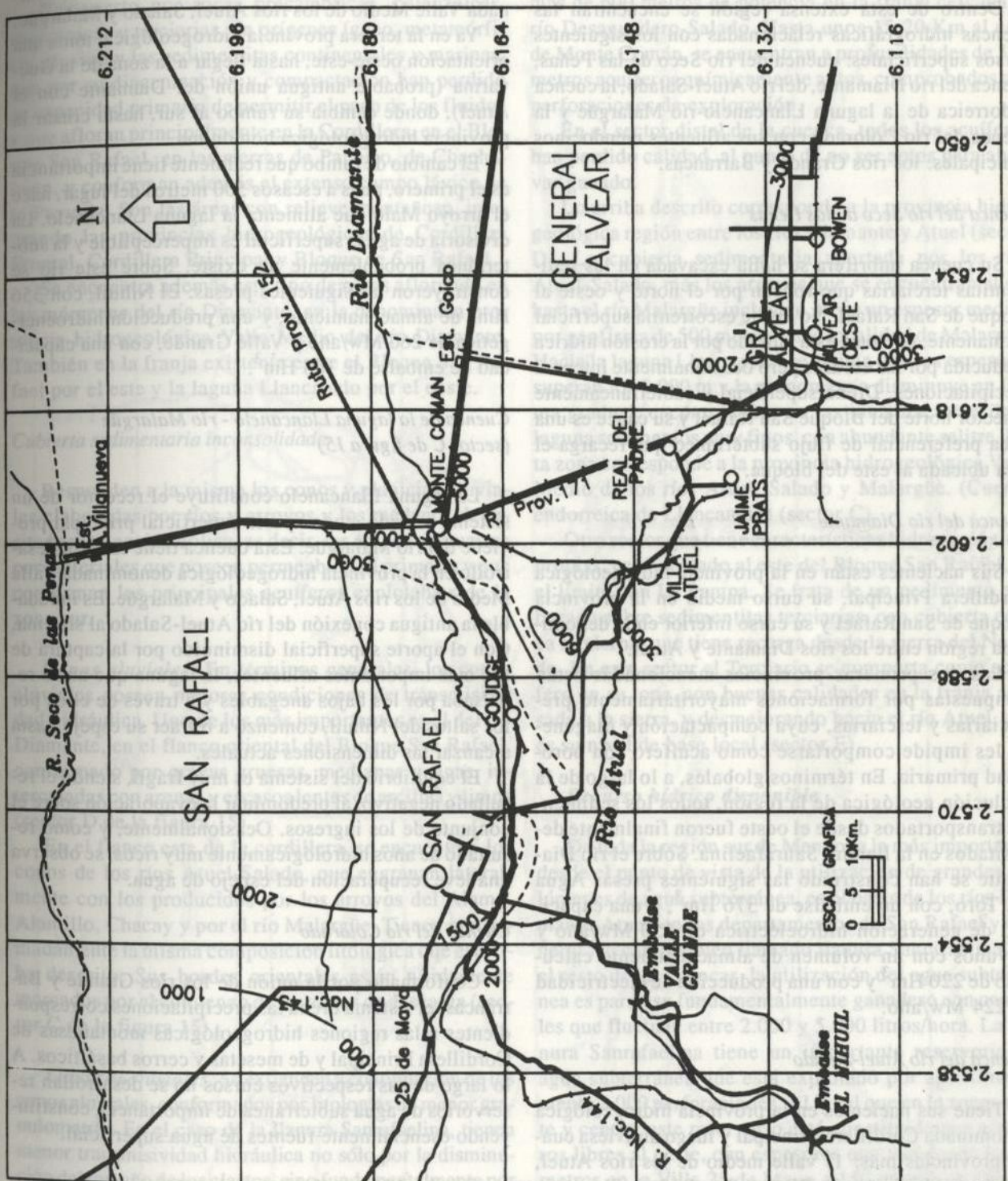


Figura 20: Curvas de isoconductividad eléctrica (60 - 100 m) de la zona sur.

pal, por el norte, el río Seco de las Peñas, por el sur, el río Colorado y por el este, el río Desaguadero-Salado.

Dentro de esta extensa región se encuentran las cuencas hidrográficas relacionadas con los siguientes cursos superficiales: cuenca del río Seco de las Peñas, cuenca del río Diamante, del río Atuel-Salado, la cuenca endorreica de la laguna Llanquanelo-río Malargüe y la cuenca del río Colorado con sus afluentes mendocinos principales: los ríos Grande y Barrancas.

Cuenca del río Seco de las Peñas

Su cuenca imbrífera se halla excavada en las sedimentitas terciarias que rodean por el norte y oeste al Bloque de San Rafael. No existe escorrentía superficial permanente; su cauce está labrado por la erosión hídrica producida por las escasas pero ocasionalmente intensas precipitaciones. Drena superficial y subterráneamente el sector norte del Bloque San Rafael y su cauce es una línea preferencial de flujo subterráneo que recarga el área ubicada al este del bloque.

Cuenca del río Diamante

Sus nacientes están en la provincia hidrogeológica Cordillera Principal, su curso medio en la provincia Bloque de San Rafael y su curso inferior en la denominada región entre los ríos Diamante y Atuel.

Las dos primeras provincias mencionadas están compuestas por formaciones mayoritariamente preterciarias y terciarias, cuya compactación y diagénesis les impide comportarse como acuífero con porosidad primaria. En términos globales, a lo largo de la evolución geológica de la región, todos los sedimentos transportados desde el oeste fueron finalmente depositados en la llanura Sanrafaelina. Sobre el río Diamante se han construido las siguientes presas Agua del Toro, con un embalse de 376 Hm^3 , y una capacidad de generación hidroeléctrica de 150 Mw/año y Reyunos con un volumen de almacenamiento calculado de 220 Hm^3 y con una producción de electricidad de 224 Mw/año .

Cuenca del río Atuel-Salado

Tiene sus nacientes en la provincia hidrogeológica denominada Cordillera Principal y luego atraviesa cuatro provincias más: 1) valle medio de los ríos Atuel, Salado y Malargüe; 2) Bloque San Rafael; 3) región entre los ríos Diamante y Atuel y finalmente la región sur.

Los productos de la erosión realizada por ambos ríos y sus afluentes en la primera de las provincias, son depositados al salir de la montaña, elaborando un amplio

cono de deyección cuya composición es fundamentalmente de materiales gruesos, en la provincia denominada Valle Medio de los ríos Atuel, Salado y Malargüe.

Ya en la tercera provincia hidrogeológica, toma una orientación oeste-este, hasta llegar a la zona de la Guevarina (probable antigua unión del Diamante con el Atuel), donde cambia su rumbo al sur, hasta cruzar la provincia hidrogeológica homónima.

El cambio de rumbo que realmente tiene importancia es el primero, pues a escasos 500 metros del lugar, nace el arroyo Malo que alimenta la laguna Llanquanelo. La divisoria de aguas superficial es imperceptible y la subterránea probablemente no existe. Sobre este río se construyeron las siguientes presas: El Nihuil, con 356 Hm^3 de almacenamiento, y una producción hidroenergética de 260 Mw/año y Valle Grande, con una capacidad de embalse de 168 Hm^3 .

Cuenca de la laguna Llanquanelo - río Malargüe (sector C de figura 15)

La laguna Llanquanelo constituye el receptor de un sistema cerrado, cuyo aporte superficial principal proviene del río Malargüe. Esta cuenca tiene todo su desarrollo en la provincia hidrogeológica denominada Valle Medio de los ríos Atuel, Salado y Malargüe. Es indudable la antigua conexión del río Atuel-Salado al sistema. Con el aporte superficial disminuido por la captura de sus más importantes afluentes, la laguna que antes rebalsaba por los bajos anegables y a través de ellos por los saltos del Nihuil, comenzó a retraer su espejo hasta alcanzar las dimensiones actuales.

El equilibrio del sistema es muy frágil, siendo el resultado negativo, al predominar la evaporación sobre el conjunto de los ingresos. Ocasionalmente, y como resultado de años hidrológicamente muy ricos, se observa una leve recuperación del espejo de agua.

Cuenca del río Colorado

Conformado por la unión de los ríos Grande y Barrancas, el sistema drena las precipitaciones correspondientes a las regiones hidrogeológicas montañosas de Cordillera Principal y de mesetas y cerros basálticos. A lo largo de sus respectivos cursos no se desarrollan reservorios de agua subterránea de importancia, constituyendo esencialmente fuentes de agua superficial.

Cuadro hidrogeológico regional

Se pueden diferenciar dos grandes grupos de unidades litoestratigráficas según su comportamiento hidrogeológico, el basamento y la cubierta sedimentaria inconsolidada.

Basamento (A + B de figura 15)

Compuesto por rocas precámbricas, paleozoicas, mesozoicas y terciarias, de orígenes ígneo, metamórfico, efusivo y las sedimentitas continentales y marinas, que por su diagenización y compactación han perdido su capacidad primaria de permitir el paso de los fluidos y que afloran principalmente en la Cordillera, en el Bloque San Rafael, en las sierras de Palauco, de Chachahuén, y conforman además el extenso campo lávico de la Payunia. Son las áreas con relieve montañoso, integrando las provincias hidrogeológicas de Cordillera Frontal, Cordillera Principal y Bloque de San Rafael.

Se encuentra además este tipo de rocas aflorando en las márgenes del río Diamante, en la denominada provincia hidrogeológica Valle Medio del río Diamante. También en la franja existente entre el Bloque San Rafael por el este y la laguna Llanquanelo por el oeste.

Cubierta sedimentaria inconsolidada

Responden a la misma los conos y planicies aluviales elaboradas por ríos y arroyos y los médanos depositados por acción eólica, es decir, las áreas compuestas por materiales que poseen permeabilidad primaria y que conforman los principales acuíferos explotables de la zona sur.

Conos aluviales: En términos generales, los conos aluviales poseen mejores condiciones de transmisividad hidráulica. Uno de los más importantes es el del río Diamante, en el flanco oriental del Bloque San Rafael, conformado por gravas gruesas, medianas y finas, intercaladas con arenas y escasos lentes de arcillas y limos (sector D de la figura 15).

En el flanco este de la cordillera, se encuentran los conos de los ríos Atuel-Salado, que engranan lateralmente con los producidos por los arroyos del Alamo, Alamillo, Chacay y por el río Malargüe. Tienen aproximadamente la misma composición litológica que el arriba descrito. Sus bordes orientales están nítidamente marcados por el comienzo de las zonas de descarga (sector C de la figura 15).

Llanuras aluviales: Se extienden a continuación de los conos aluviales, conformados por litologías de menor granulometría. En el caso de la llanura Sanrafaelina, tienen menor transmisividad hidráulica no sólo por la disminución del tamaño de los clastos, sino fundamentalmente por la menor selección de los depósitos. Hacia el este, la gradación se puede seguir por los datos aportados por cerca de 2.000 perforaciones que se hallan en la zona cultivada, a lo que se debe sumar la información indirecta aportada por unos 2.500 sondeos eléctricos verticales.

Con espesores de 12 metros en la Villa 25 de Mayo y aumentando paulatinamente hacia el este, llega a tener más de 600 metros de potencia en la franja cercana al río Desaguadero-Salado. Hasta unos 15-20 Km al este de Monte Comán, se encuentran a profundidades de 350 metros acuíferos químicamente aptos, comprobados por perforaciones de exploración.

En el sector distal de la cuenca, todos los acuíferos han perdido calidad, al punto de no ser aptos para abreviar ganado.

Lo arriba descrito corresponde a la provincia hidrogeológica región entre los ríos Diamante y Atuel (sector D). La cubierta sedimentaria aportada por los ríos Atuel-Salado, más los arroyos que se encuentran al sur hasta el río Malargüe inclusive, tiene un espesor medido por geofísica de 500 metros en la localidad de Malargüe. Hacia la laguna Llanquanelo, se estima que los espesores superan los 1.000 m y la granometría disminuye en forma gradual, encontrándose en las inmediaciones de la laguna sedimentos muy finos, con abundante salitre. Esta zona corresponde a la provincia hidrogeológica Valle Medio de los ríos Atuel, Salado y Malargüe. (Cuenca endorreica de Llanquanelo) (sector C).

Otro sector que tiene características hidrogeológicas propias, es el ubicado al este del Bloque San Rafael, en el límite con La Pampa. Se trata de un pedimento elaborado sobre sedimentitas terciarias, con cubierta eólica moderna, que tiene recarga desde la sierra del Nevado. En este sector el Terciario se comporta como acuífero en su tope, con buenas calidades en la franja adosada a la sierra, y desmejorando hacia el río Atuel, que es su nivel de base local (sector E).

Recurso hídrico disponible

De toda la región sur de Mendoza la más importante, desde el punto de vista de la utilización de grandes volúmenes de agua subterránea, es el oasis de los ríos Diamante-Atuel, en los departamentos de San Rafael y General Alvear, también llamado llanura Sanrafaelina. En el resto de las cuencas, la utilización del agua subterránea es para uso fundamentalmente ganadero con caudales que fluctúan entre 2.000 y 5.000 litros/hora. La llanura Sanrafaelina tiene un importante reservorio de agua subterránea que está explotado por aproximadamente 2.000 perforaciones. Al igual que en la zonas norte y centro, este reservorio está constituido por acuíferos libres al oeste, con espesores que van desde los 12 metros en la Villa 25 de Mayo a 150 metros en Cuadro Nacional y semiconfinados a confinados al este, donde tenemos espesores que llegan a los 400 metros. El agua se mueve en forma radial divergente desde la entrada del río Diamante, a la cuenca, hacia el noreste, el este y el sudeste.

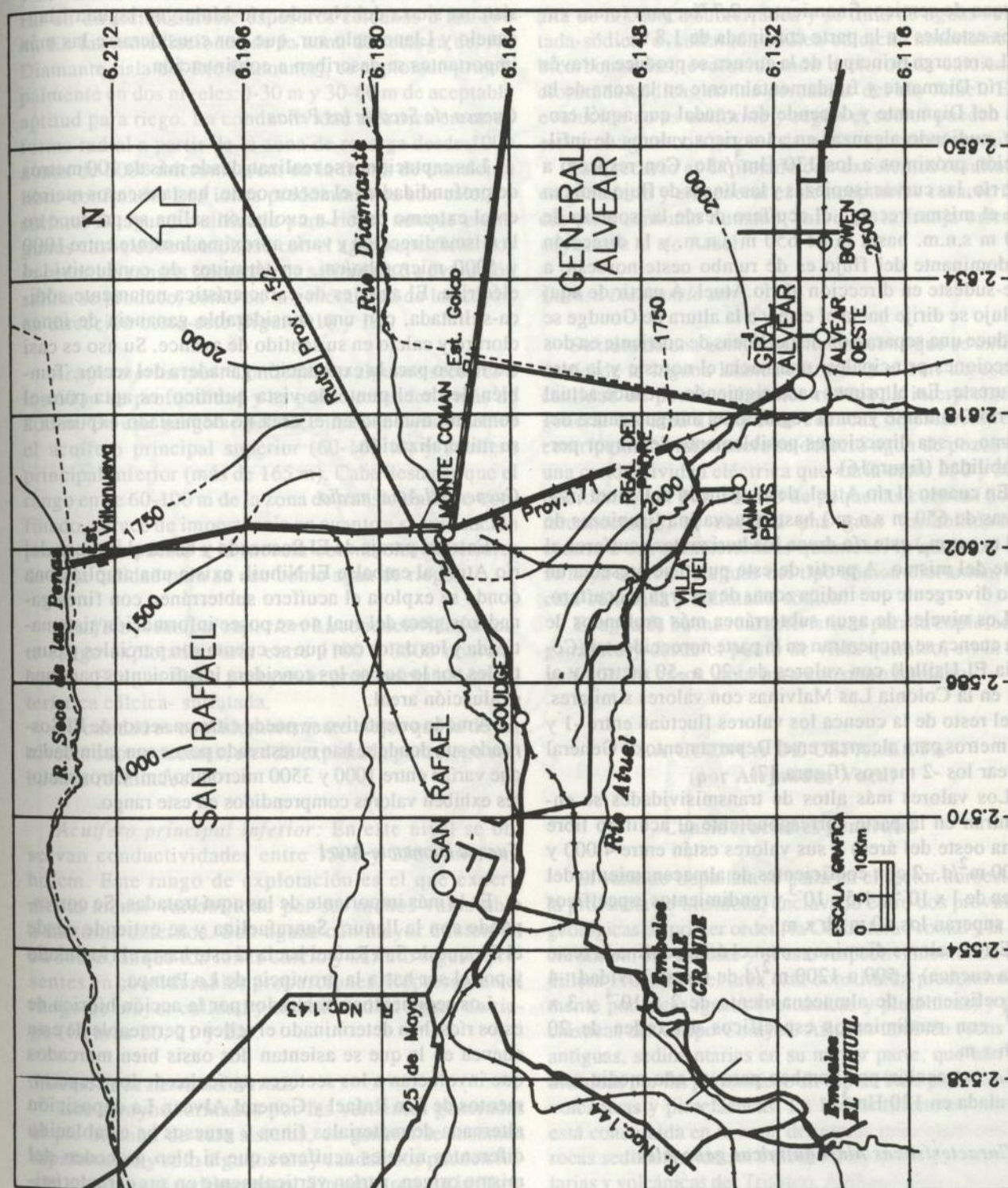


Figura 22: Curvas de isoconductividad eléctrica (165 - 200 m) de la zona sur.

Las líneas de flujo tienen, en el área de acuífero libre, gradientes que varían entre el 7 y el 12, pasando en la zona de semiconfinamiento a 2,7 ‰, para tomar valores estables en la parte confinada de 1,8 ‰.

La recarga principal de la cuenca se produce a través del río Diamante y fundamentalmente en la zona de la isla del Diamante y depende del caudal que aquél eroga, pudiendo alcanzar en años ricos valores de infiltración próximos a los 130 $\text{Hm}^3/\text{año}$. Con respecto a este río, las curvas isopiezas y las líneas de flujo indican que el mismo recarga el acuífero desde la isopieza de 760 m s.n.m. hasta la de 650 m s.n.m. y la dirección predominante del flujo es de rumbo oeste-noroeste a este-sudeste en dirección al río Atuel. A partir de aquí el flujo se dirige hacia el este y a la altura de Goudge se produce una separación de las líneas de corriente en dos direcciones principales: una hacia el noreste y la otra al sureste. En el primer caso siguiendo el cauce actual del río Diamante y en el segundo, el antiguo cauce del mismo, o sea direcciones posiblemente de mayor permeabilidad (figura 16).

En cuanto al río Atuel, desde Rincón del Atuel (isopiezas de 650 m s.n.m.) hasta Guevarina (isopiezas de 530 m s.n.m.) este río drena los horizontes acuíferos al norte del mismo. A partir de este punto se presenta un flujo divergente que indica zonas de recarga al acuífero.

Los niveles de agua subterránea más profundos de esta cuenca se encuentran en la parte noroccidental (Colonia El Usillal) con valores de -20 a -50 metros y al sur, en la Colonia Las Malvinas con valores similares. En el resto de la cuenca los valores fluctúan entre -1 y -10 metros para alcanzar en el Departamento de General Alvear los -2 metros (figura 17).

Los valores más altos de transmisividades se encuentran en la parte correspondiente al acuífero libre (zona oeste del área) y sus valores están entre 4.000 y 2.000 m^2/d , -2 con coeficientes de almacenamiento del orden de 1×10^{-2} a $1,5 \times 10^{-3}$ y rendimientos específicos que superan los 40 $\text{m}^3/\text{h} \times \text{m}$.

Estos valores disminuyen en el área confinada (este de la cuenca) a 500 a 1200 m^2/d de transmisividad, -4 -5 coeficientes de almacenamiento de 2×10^{-4} y 3×10^{-5} , con rendimientos específicos del orden de 20 $\text{m}^3/\text{h} \times \text{m}$.

La extracción por bombeo para un año medio está calculada en 120 Hm^3 .

Características hidroquímicas generales

A partir del río Seco de las Peñas hacia el sur, el escurrimiento de un sinnúmero de ríos y arroyos de distinta magnitud provenientes de la zona de serranía, dan origen a diversas cuencas de agua subterránea de características propias y diferente importancia. De tal manera

y en dirección norte-sur, se presentan las cuencas del río Seco de Las Peñas, Atuel Medio, Diamante-Atuel, sistema sierra del Nevado, río Malargüe-laguna Llan-canelo y Llan-canelo sur, que por considerarse las más importantes se describen a continuación.

Cuenca río Seco de las Peñas

Las captaciones se realizan desde más de 100 metros de profundidad en el sector oeste, hasta escasos metros en el extremo este. La evolución salina se produce en la misma dirección y varía aproximadamente entre 1000 y 5000 micromho/cm, en términos de conductividad eléctrica. El agua es de característica netamente sódica-sulfatada, con una considerable ganancia de iones cloruro y calcio en su sentido de avance. Su uso es casi exclusivo para la explotación ganadera del sector. También desde el punto de vista químico, es apta para el consumo humano en el área no demasiado expuesta a su mineralización.

Cuenca del Atuel medio

Entre el paraje de El Sosneado y hasta el ingreso del río Atuel al embalse El Nihuil, existe una amplia zona donde se explota el acuífero subterráneo con fines ganaderos, pero del cual no se posee información sistematizada y los datos con que se cuenta son parciales y puntuales por lo que se los considera insuficientes para una evaluación areal.

A modo orientativo se puede citar un sector de El Sosneado sur, donde se han muestreado pozos con salinidades que varían entre 1000 y 3500 micromho/cm. Otros sectores exhiben valores comprendidos en este rango.

Cuenca Diamante-Atuel

Es la más importante de las aquí tratadas. Se corresponde con la llanura Sanrafaelina y se extiende desde el Bloque de San Rafael hacia el este hasta el río Salado y por el sur hasta la provincia de La Pampa.

Los sedimentos arrastrados por la acción hídrica de estos ríos, han determinado el relleno permeable de esta cuenca en la que se asientan dos oasis bien marcados que involucran a los sectores agrícolas de los Departamentos de San Rafael y General Alvear. La deposición alternada de materiales finos y gruesos ha establecido diferentes niveles acuíferos que si bien proceden del mismo origen, varían verticalmente en sus características químicas y calidad. Estudios geofísicos realizados en distintos sectores, corroborados hidroquímicamente han permitido identificar dos horizontes acuíferos y uno no acuífero a los que se denominó acuífero superior, acuífero principal y horizonte conductor profundo.

Acuífero superior: Su espesor varía entre 30-40 m y 60-70 m a la altura de Monte Comán, pudiendo alcanzar en dirección sureste espesores cercanos a los 100 m. En las inmediaciones de la zona de recarga del río Diamante (isla del Río Diamante), es explotado principalmente en dos niveles: 0-30 m y 30-60 m de aceptable aptitud para riego. La conductividad eléctrica crece en forma radial a partir de la zona de recarga desde 1000 a más de 5000 micromho/cm en la franja de transición libre-confinado. Los iones predominantes son calcio y sulfato. El agua es utilizada para riego, aunque en algunos casos debe mezclarse con el agua superficial por exceder los rangos tolerados de salinidad. Su evolución salina se produce, como en la generalidad de los casos, en dirección oeste-este (figuras 18 y 19).

Acuífero principal: Comienza en algunos sectores a los 60 m de profundidad y se puede extender a más de 200 m. En este rango se produce una subdivisión entre el acuífero principal superior (60-165 m) y acuífero principal inferior (más de 165 m). Cabe destacar que el rango entre 60-100 m de la zona de transición libre-confinado, carece de importancia en cuanto a su utilización por estar expuesto a la mezcla con niveles superiores de baja calidad para su uso como agua de riego.

Acuífero principal superior: La conductividad de este rango explotado varía entre 1100 y 3500 micromho/cm. El agua sigue poseyendo preponderante característica cálcica-sulfatada.

Su calidad es considerablemente mejor que la de los niveles suprayacentes, siendo explotada para riego con buenos resultados.

Acuífero principal inferior: En este nivel se observan conductividades entre 1500 y 2500 micromho/cm. Este rango de explotación es el que experimenta menor variabilidad por ser menos vulnerable a factores externos. Son aguas con mayor contenido en sodio, aunque los iones calcio y sulfato siguen presentes en considerables proporciones. Representan el rango de mayor calidad y estabilidad de aguas de riego (figuras 20, 21 y 22).

Sistema de la sierra del Nevado

Los arroyos formados por las vertientes generadas al pie oriental de este sistema, en general se insumen rápidamente y sólo algunos muy caudalosos pueden llegar a la llanura pedemontana. Sin embargo, su infiltración da origen al importante recurso subterráneo explotado en la región.

El agua extraída de los pozos posee una conductividad eléctrica que varía entre 800 y más de 5000 micromho/cm en pozos cercanos al río Atuel, al sureste de la

localidad de Punta del Agua. Sus características químicas son similares a la del agua superficial en la parte alta de la cuenca subterránea y se trata de aguas sulfatada-sódica o sulfatada-sódica-cálcica, notoriamente bicarbonatadas, evolucionando a clorurada-cálcicas o clorurada-sódicas en las cercanías del río Atuel. Esta evolución no es uniforme y según el sector pueden observarse aguas con tenores de sulfato y calcio elevados.

Este recurso es explotado con excelentes resultados en ganadería y en general es de aceptables características para consumo humano, salvo en la franja oriental adyacente al río Atuel.

Cuenca Llanquanelo sur

Se trata de una zona bastante estrecha que se extiende desde la laguna Llanquanelo hacia el sur. La escasa cantidad de pozos existentes reduce la interpretación general del área a pequeñas cuencas de escurrimiento centrípeto. De tal manera se detectó agua de pozos con una conductividad eléctrica que varía entre 350 y 3200 micromho/cm. Por tratarse de pequeñas cuencas no interconectadas, se observa una gran variabilidad en cuanto a sus características químicas, lo que hace que se haya detectado aguas del tipo sódica-clorurada, cálcica-sulfatada y sulfatada-sódica.

Es agua de buenas características para la explotación ganadera y desde el punto de vista químico, en la mayoría de los casos, apta para consumo humano.

LA CUENCA DE USPALLATA (por Alejandro Vaca)

Consideraciones generales

El valle de Uspallata se halla en el sector noroeste de la provincia de Mendoza, enclavado entre dos provincias geológicas de primer orden, la Cordillera Frontal y la Precordillera, por el oeste y el este respectivamente. La Cordillera Frontal en el área está constituida predominantemente por rocas ígneas (volcánicas y plutónicas) y piroclásticas del Grupo Choiyoi. Afloran también rocas más antiguas, sedimentarias en su mayor parte, que han sido intruidas por las plutonitas o sirven de base para las rocas volcánicas y piroclásticas. La Precordillera, en cambio, está constituida en la zona de interés principalmente por rocas sedimentarias del Paleozoico y por rocas sedimentarias y volcánicas del Triásico. Ambas cadenas montañosas pueden considerarse, en su conformación actual, producto de la orogenia Andica, acaecida en el Terciario. Entre ambas se desarrolló la depresión tectónica que constituye actualmente el Valle de Uspallata. Esta depresión fue rellenada con sedimentos durante el Terciario los que, una

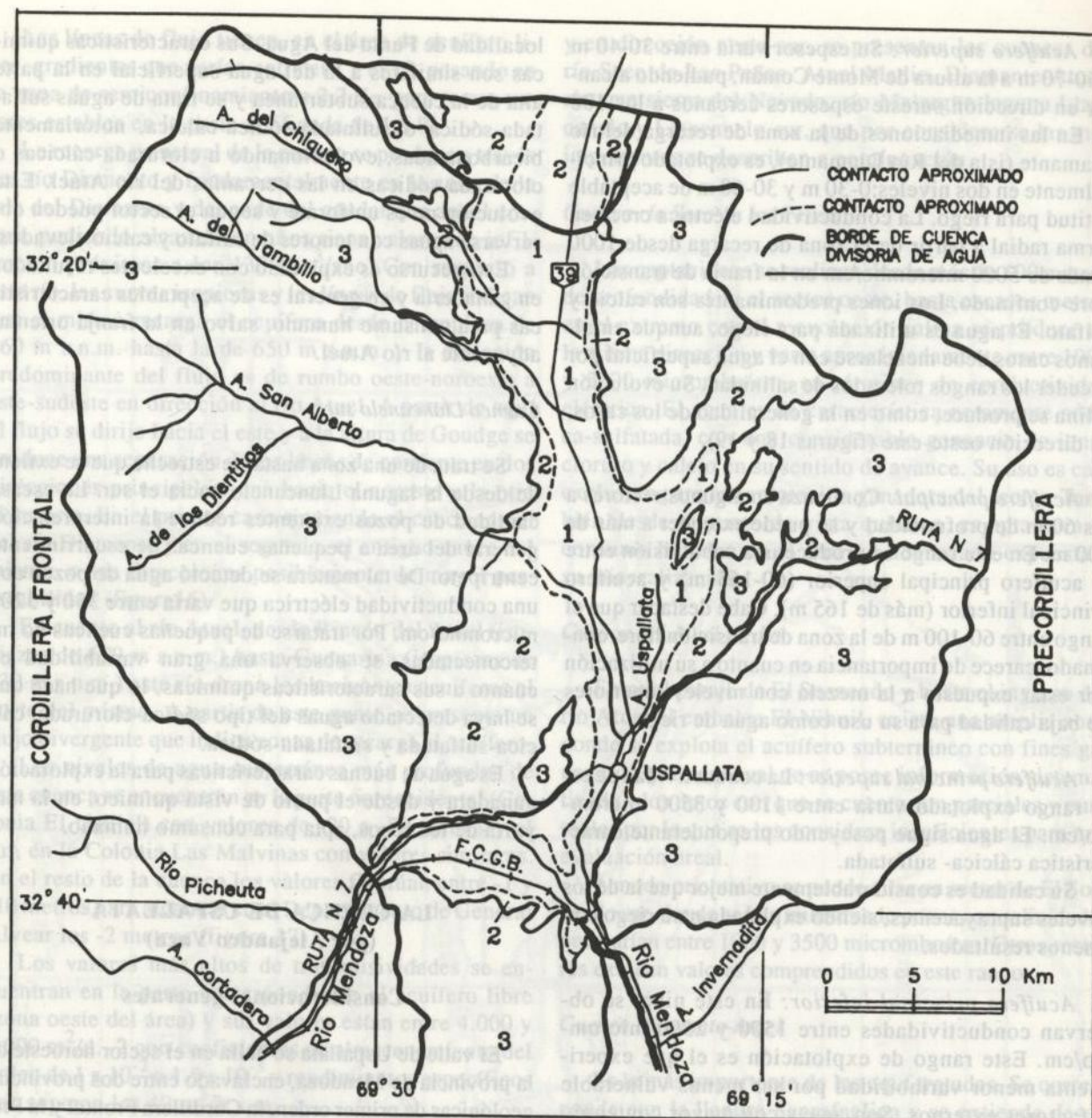


Figura 23: Mapa hidrogeológico preliminar - Uspallata. Referencias: 1: medios porosos, material suelto poroso y permeable. 2: medios porosos, material suelto o poco consolidado, en posición topográfica elevada. 3: medios fisurados, material consolidado, con porosidad y permeabilidad secundaria

vez consolidados, fueron afectados por la continuación de los procesos tectónicos de levantamiento y actualmente son visibles al oeste de los arroyos San Alberto - Uspallata, conformando lomadas cuya altura máxima es de 2.620 m s.n.m.

También parte de los sedimentos acumulados ya en el Cuaternario por encima de las rocas terciarias han sufrido procesos de ascenso. Esto ha ocurrido en ambos flancos del valle, pero con mayor intensidad sobre el occidental, al pie de la Cordillera Frontal. Los procesos

descriptos rápidamente han continuado hasta épocas muy recientes, e indican un paulatino estrechamiento del valle como cuenca sedimentaria en sentido este-oeste. En consecuencia, la cuenca de agua subterránea desarrollada en el relleno sedimentario inconsolidado o del Cuaternario moderno debe buscarse en un corredor alargado en sentido norte-sur y relativamente estrecho en el sentido transversal.

Este corredor, al que denominamos Cuenca de Uspallata, se desarrolla a lo largo de unos 40 Km, con anchuras

máximas de 8-9 Km y mínimas de 2-3 Km en sentido oeste-este. El área superficial de la cuenca resulta de unos 200 Km². La pendiente general norte-sur de la superficie del terreno es de unos 15 m por Km. Esta superficie inclina al este, por lo que la línea de talweg del valle se recuesta hacia el borde oriental o precordillerano.

La información fisiográfica descripta se ilustra en el mapa hidrogeológico preliminar de la figura 23.

Cuadro hidrogeológico preliminar

Desde el punto de vista hidrogeológico se distinguen entre medios fisurados y medios porosos.

Medios fisurados

Agrupar a todas las rocas consolidadas, las que pueden contener y transmitir agua por porosidad y permeabilidad secundarias. En esta categoría se incluye a todas las unidades geológicas de edad anterior al Cuaternario. En función de los bajos rendimientos que se pueden esperar si se pretendiera explotar el agua que contienen estas rocas mediante perforaciones, se las puede catalogar como acuíferos pobres.

Medios porosos

Como tales se distingue a los depósitos de sedimentos sueltos y para el caso se los ha subdividido en acuíferos pobres y buenos acuíferos.

En la categoría de acuíferos pobres en los medios clasificados como porosos se han agrupado sedimentos cuaternarios y algunos quizás de edad terciaria superior (Lomadas de San Alberto), puesto que, o bien forman cubierta de sedimentos presumiblemente con escaso desarrollo vertical, o bien se los encuentra en posiciones topográficamente elevadas, o también por lo empinado de su pendiente topográfica, o cualquier combinación entre estos elementos. En cualquiera de estos casos puede considerarse que la formación geológica involucrada se comporta como área de recarga y/o transmisión de agua hacia las regiones inferiores del valle.

En la categoría de buenos acuíferos se ha clasificado al relleno cuaternario de la parte central del valle. Allí es de esperar que el relleno adquiera su mayor desarrollo vertical, manteniendo probablemente una granulometría media a gruesa, lo que implica buenas condiciones de porosidad y permeabilidad y por ende de explotabilidad del recurso.

El aporte hídrico superficial

El mapa anexo muestra la extensión de la cuenca superficial que drena hacia el valle de Uspallata. Inclu-

yendo el área de influencia del río Mendoza en el extremo sur del valle, la superficie de esta cuenca es de unos 200 Km².

El principal curso de agua permanente que ingresa al valle es el río Mendoza, que lo hace por su extremo suroeste y sale del valle por el sudeste luego de describir una amplia curva. No obstante y dada la particular distribución de las unidades hidrogeológicas y las características altimétricas de su superficie, el río Mendoza no parece tener influencia en la cuenca de agua subterránea más allá de las adyacencias de su cauce.

Otro rasgo hidrográfico importante es el del arroyo Uspallata, eje de drenaje del valle que se desarrolla de norte a sur en toda la extensión de aquel.

La margen izquierda del arroyo Uspallata es la receptora de los aportes precordilleranos. Todos los cauces que bajan de la sierra de Uspallata y cordones menores son cursos temporarios.

Por el contrario, sobre la margen derecha del arroyo Uspallata existe una serie de cauces clasificados, al menos en parte de su recorrido, como cursos permanentes. Entre éstos se destaca el arroyo San Alberto, que individualmente considerado es el de mayor cuenca imbrífera. El rasgo común entre todos estos cursos superficiales es el hecho que el agua se insume en el subsuelo a poco de emerger del frente montañoso.

Recarga y descarga de la cuenca

Es posible decir entonces a priori que la principal fuente de recarga para los acuíferos de la cuenca de agua subterránea de Uspallata son precisamente los arroyos que bajan del flanco oriental de la Cordillera del Tigre. Consecuentemente, el área principal de recarga natural coincide con la zona de sedimentos cuaternarios antiguos que bordea el pie oriental de la Cordillera del Tigre. El piedemonte occidental de la Precordillera tiene una importancia mucho menor en este sentido. Esto se debe a la mayor altura de la cordillera y al hecho que seguramente ésta recibe mayores precipitaciones.

Con relación a la descarga natural de la cuenca, la configuración topográfica y geológica de la misma indica que aquella se efectúa hacia su extremo sur. En efecto, ya en el área cultivada al sur de la villa de Uspallata existen problemas de drenaje de la freática, y el arroyo Uspallata comienza a actuar como efluente hasta poco antes de su descarga en el río Mendoza. Esta descarga se aproxima a los 2 m³/seg en épocas de verano y representa en parte un egreso superficial y en parte un egreso del acuífero freático, incluyendo el retorno del riego.

Debe mencionarse el hecho que la perforación del Hotel Uspallata se comporta como surgente, evidenciando la existencia de confinamiento de acuíferos en

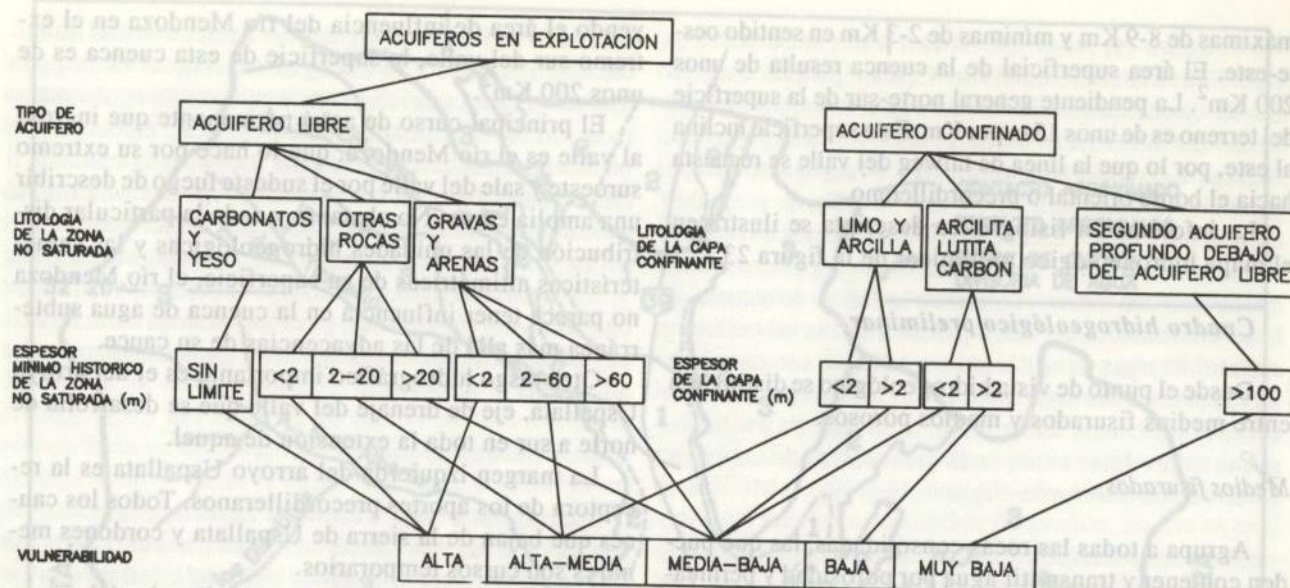


Figura 24: Vulnerabilidad del agua subterránea. Clasificación de la vulnerabilidad del agua subterránea en función del tipo de acuífero y de su protección contra la contaminación proveniente de la superficie (según Wetten, 1985).

subsuelo. Se desconoce toda otra característica relativa al agua confinada.

Hidroquímica

En este aspecto se cuenta con muy escasos datos, pero que permiten apreciar expeditivamente la buena calidad de los recursos hídricos de la cuenca de Uspallata.

Los valores de pH, fluctuantes entre 7,7 a 8,1 indican aguas normales a ligeramente alcalinas, lo que es propio de aguas meteóricas. En cuanto a la salinidad, expresada en conductividad eléctrica, se encontraron variaciones entre un mínimo de 77 micromho/cm en el aporte cordillerano y un máximo de 437 micromho/cm, que corresponde al arroyo Uspallata inmediatamente antes de su unión con el río Mendoza. Se justifican los bajos valores encontrados en función de tratarse de agua de deshielo muy cercana a sus fuentes. Las muestras de los arroyos y canales de riego, denotan un leve incremento de conductividad de norte a sur, siempre dentro de valores que pueden calificarse en principio como aptos para todo uso. Este es el caso también del agua proveniente de los dos pozos muestreados, que se encuentran en el mismo orden de valores que los recursos superficiales.

Movimiento del agua subterránea

En función de todo lo expuesto, la dirección del movimiento del agua subterránea en la cuenca de Uspallata debe esperarse que presente una fuerte com-

ponente norte-sur, siguiendo el eje de la cuenca. En el sector noroccidental el movimiento probablemente sigue la pendiente local, en sentido noroeste-sureste. Desde el punto de vista de la preservación de la calidad de los recursos hídricos de la cuenca de Uspallata, debe tomarse especialmente en cuenta que la conformación geológica y topográfica del valle, la disposición de su red hidrográfica y la relación áreas de recarga - áreas de descarga de la cuenca de agua subterránea, no ofrecen dudas en cuanto a que el destino final de todo el agua en el valle es su descarga al río Mendoza.

Ello significa que la planificación de toda actividad humana debe incluir una clara reglamentación relativa a la composición de sus eventuales efluentes, así como las disposiciones necesarias para el control de su cumplimiento.

VULNERABILIDAD DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACION (por Cristian Wetten)

Se presenta un ensayo de delimitación de las áreas de distinta vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación proveniente de la superficie para las cuencas de agua subterránea estudiadas en la provincia de Mendoza.

En la clasificación de áreas con distinta vulnerabilidad a la contaminación no intervienen características extremadamente variables de los distintos tipos de efluentes,

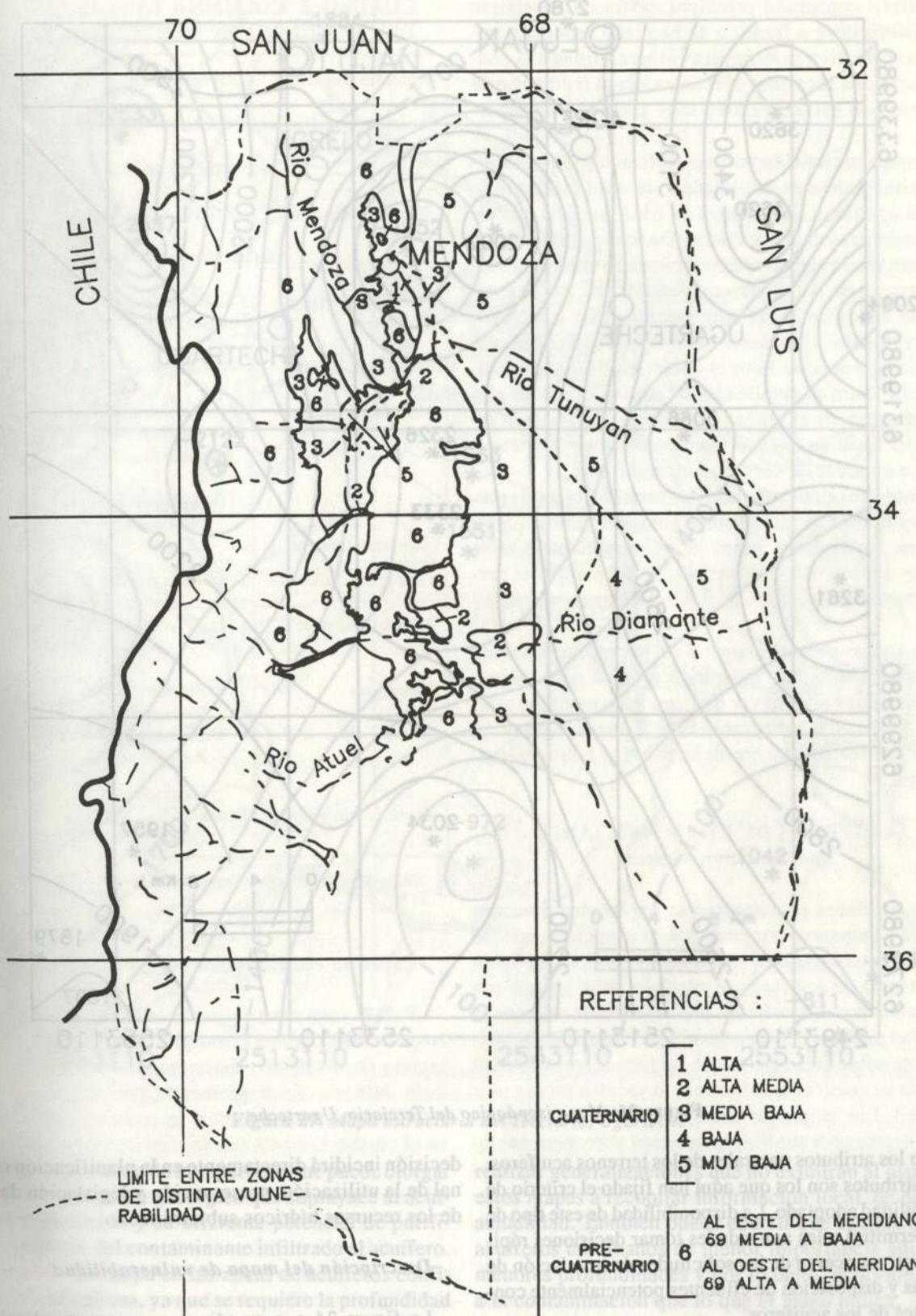


Figura 25: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea.

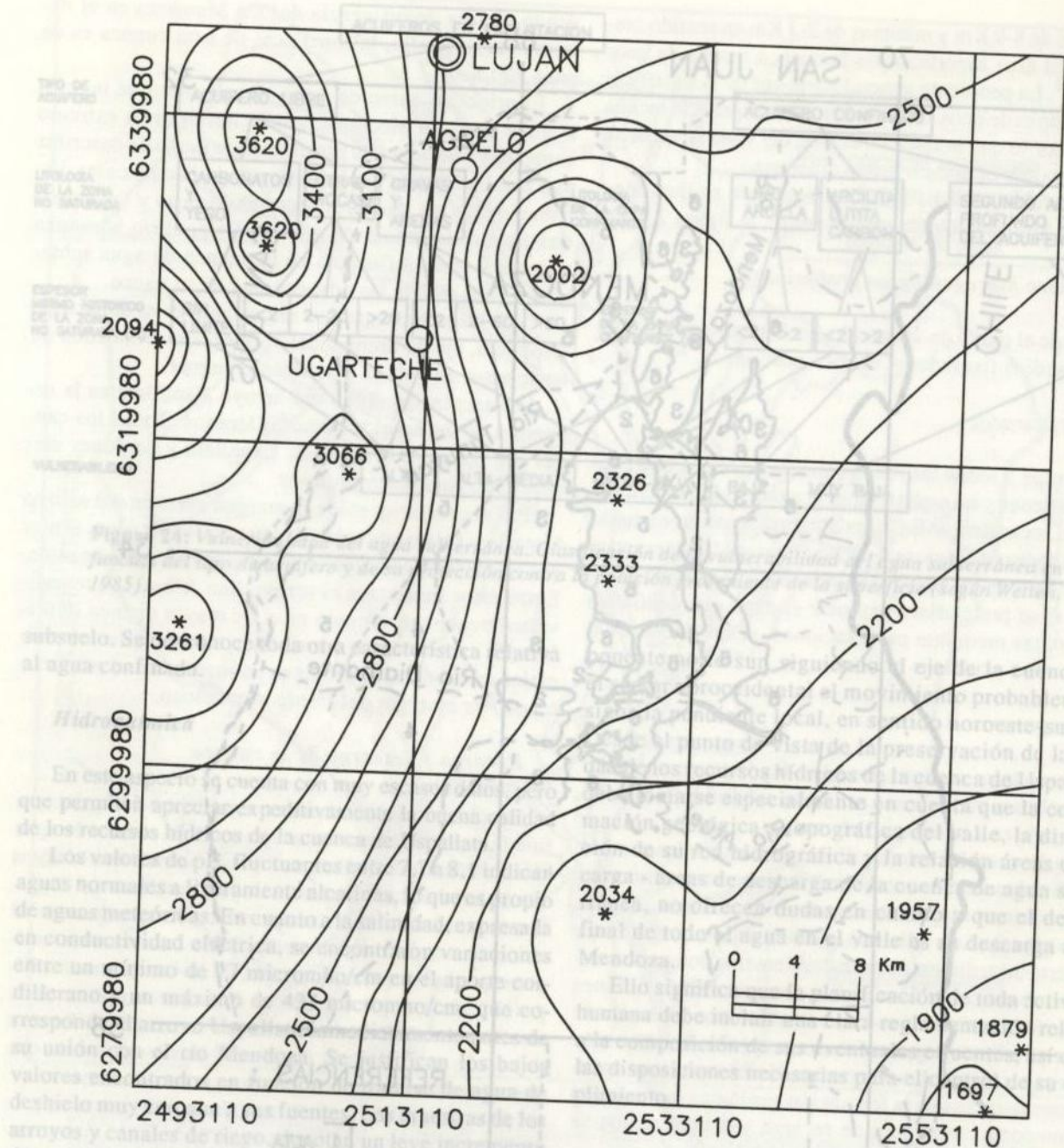


Figura 26: Mapa isopáquico del Terciario, Ugarteche.

sino sólo los atributos naturales de los terrenos acuíferos. Dichos atributos son los que aquí han fijado el criterio de vulnerabilidad adoptado. La disponibilidad de este tipo de mapas permitirá a las autoridades tomar decisiones rápidas y efectivas acerca de las solicitudes de instalación de industrias y disposición de efluentes potencialmente contaminantes de los acuíferos.

Se está convencido además que el brindar un mapa de vulnerabilidad del agua subterránea a los poderes de

decisión incidirá directamente en la planificación regional de la utilización, preservación y legislación del uso de los recursos hídricos subterráneos.

Descripción del mapa de vulnerabilidad

La figura 24 que se adjunta, representa el criterio para la confección del citado mapa. El principal aspecto considerado es el grado de protección contra la conta-

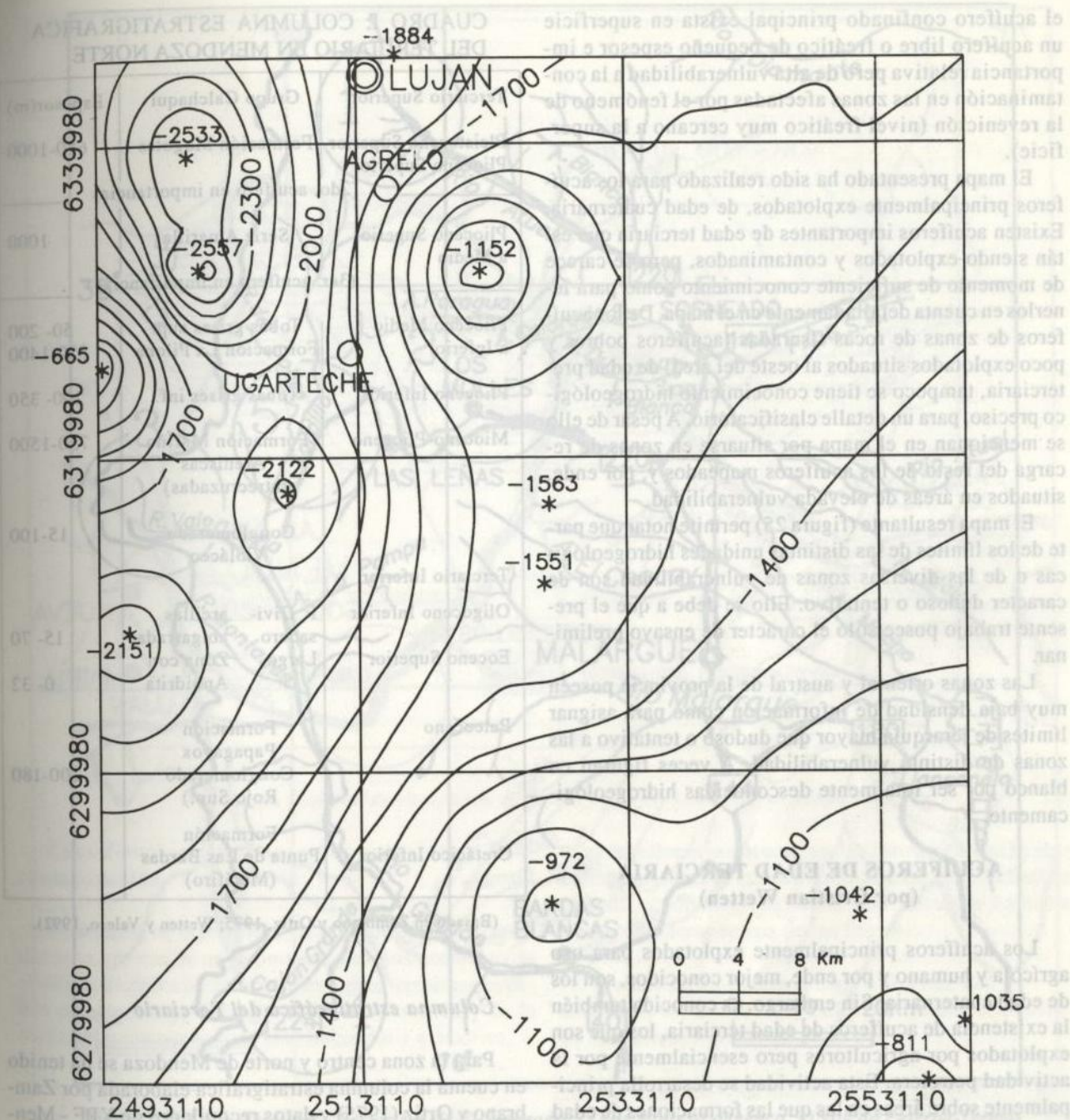


Figura 27: Mapa estructural del Terciario, Ugarteche.

minación proveniente de la superficie que puede otorgar el estrato o formación geológica que suprayace al acuífero en explotación y su diferente potencial de purificación respecto del contaminante infiltrado al acuífero. La ejecución del mapa en las zonas de acuíferos confinados fue dificultosa, ya que se requiere la profundidad del segundo acuífero debajo del acuífero libre. Dado que en general se trata de sedimentos de origen fluvial, dicha profundidad no es constante y ello ha obligado a

realizar generalizaciones que no eximirán al usuario de estos mapas a recopilar información local, de detalle y actualidad. También puede ocurrir que existan algunos acuíferos confinados de menor importancia situados a menores profundidades y por lo tanto, más vulnerables a la contaminación que lo que el mapa indica.

Al utilizarse el mapa aquí presentado en las zonas de acuíferos confinados, puede ocurrir que en la zona determinada como de muy baja vulnerabilidad para

el acuífero confinado principal exista en superficie un acuífero libre o freático de pequeño espesor e importancia relativa pero de alta vulnerabilidad a la contaminación en las zonas afectadas por el fenómeno de la revenición (nivel freático muy cercano a la superficie).

El mapa presentado ha sido realizado para los acuíferos principalmente explotados, de edad cuaternaria. Existen acuíferos importantes de edad terciaria que están siendo explotados y contaminados, pero se carece de momento de suficiente conocimiento como para tenerlos en cuenta detalladamente en el mapa. De los acuíferos de zonas de rocas fisuradas (acuíferos pobres y poco explotados situados al oeste del área) de edad terciaria, tampoco se tiene conocimiento hidrogeológico preciso, para un detalle clasificatorio. A pesar de ello se mencionan en el mapa por situarse en zonas de recarga del resto de los acuíferos mapeados y, por ende, situados en áreas de elevada vulnerabilidad.

El mapa resultante (figura 25) permite notar que parte de los límites de las distintas unidades hidrogeológicas o de las diversas zonas de vulnerabilidad son de carácter dudoso o tentativo. Ello se debe a que el presente trabajo posee sólo el carácter de ensayo preliminar.

Las zonas oriental y austral de la provincia poseen muy baja densidad de información como para asignar límites de jerarquía mayor que dudoso o tentativo a las zonas de distinta vulnerabilidad. A veces figuran en blanco por ser totalmente desconocidas hidrogeológicamente.

ACUÍFEROS DE EDAD TERCIARIA (por Cristian Wetten)

Los acuíferos principalmente explotados para uso agrícola y humano y por ende, mejor conocidos, son los de edad cuaternaria. Sin embargo, es conocida también la existencia de acuíferos de edad terciaria, los que son explotados por agricultores pero esencialmente por la actividad petrolera. Esta actividad se desarrolla principalmente sobre áreas en las que las formaciones de edad terciaria se encuentran aflorando o yacen a escasa profundidad. Las empresas petroleras no tienen generalmente asesoramiento hidrogeológico y las perforaciones para extracción de agua para uso humano e industrial se realizan en zonas aisladas, alejadas de la autoridad de aplicación de las leyes referidas al recurso hídrico.

Por lo precedentemente expresado resulta muy difícil la recopilación de datos referidos a la hidrogeología de las formaciones de esta edad.

En este ensayo preliminar sólo se tratará el área denominada centro y norte de Mendoza.

CUADRO I: COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL TERCIARIO EN MENDOZA NORTE

Terciario Superior	Grupo Calchaquí	Espesor(m)
Pleistoceno Superior Plioceno Superior	Formación Mogotes	650-1000
(2do. acuífero en importancia)		
Plioceno Superior a Medio	Serie Amarilla	1000
(3er. acuífero en importancia)		
Plioceno Medio a Inferior	Tobas grises sup. Formación La Pizona	50- 200 550-1400
Plioceno Inferior	Tobas grises inf.	200- 350
Mioceno-Plioceno	Formación Mariño (Areniscas entrecruzadas)	750-1500
Terciario Inferior	Conglomerado Violáceo	15-100
Oligoceno Inferior	F. Divi- arcillas sadero abigarradas	15- 70
Eoceno Superior	Largo Zona con Anhídrita	0- 32
Paleoceno	Formación Papagayos Conglomerado Rojo Sup.)	100-180
Cretácico Inferior	Formación Punta de Las Bardas (Meláfiro)	

(Basado en Zambrano y Ortiz, 1975; Wetten y Valero, 1992).

Columna estratigráfica del Terciario

Para la zona centro y norte de Mendoza se ha tenido en cuenta la columna estratigráfica elaborada por Zambrano y Ortiz (1975) y datos recopilados de YPF - Mendoza Minería de Explotación por Wetten y Valero (1992). Dicha información se muestra sintéticamente en el cuadro I.

Formaciones de interés hidrogeológico

El C.R.A.S. califica a la Formación Conglomerado de Los Mogotes (o Formación Mogotes) y al Terciario del Oligoceno al Plioceno como las unidades geológicas que alojan a los acuíferos de segundo y tercer orden de importancia, respectivamente, luego del acuífero principal de edad cuaternaria.

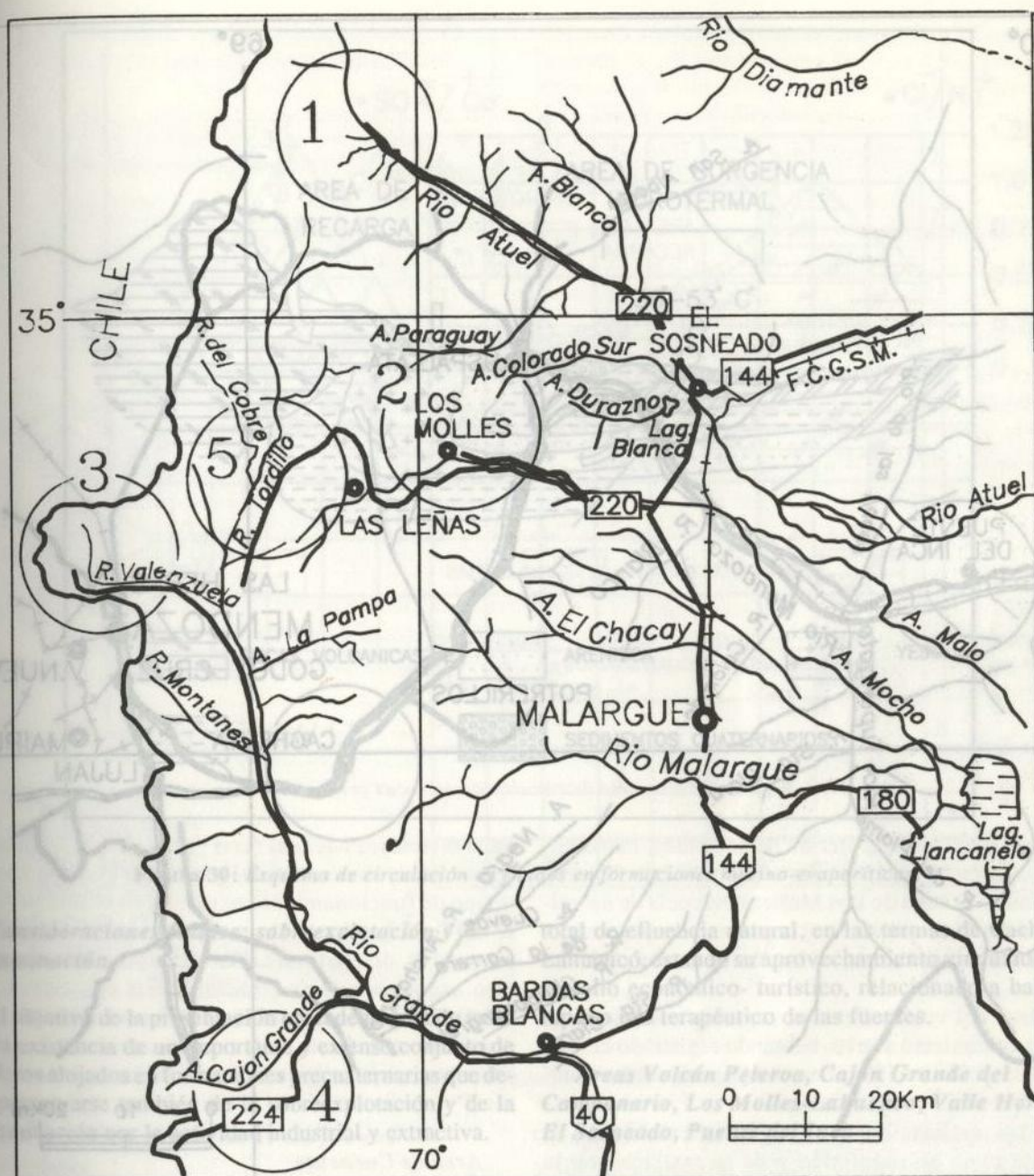


Figura 28: Áreas Termales - Sector sur. 1) El Sosneado. 2) Los Molles-Lahuenco. 3) Volcán Peteroa-Termas El Azufre. 4) Cajón del Campanario. 5) Valle Hermoso.

Formación Conglomerado de Los Mogotes (Plio-Pleistoceno)

Esta unidad hidrogeológica está integrada por intercalaciones de espesor variable de grava, arena, limo y arcilla. Las intercalaciones granométricamente más gruesas disminuyen hacia la base del perfil, en transición a la Formación Serie Amarilla, infrayacente.

Su espesor varía entre 0 m sobre la culminación de las estructuras petroleras del área, hasta más de 1000 m

en el pozo YPF PSx1, situado en la Pampa del Sebo. El pozo RMP10 del PAS (1972) determinó una permeabilidad de 13 m/d para esta formación; la décima parte - o menos - de la permeabilidad de los acuíferos del Cuaternario suprayacente.

Formación Serie Amarilla e inferiores

La Formación Serie Amarilla ha sido perforada por el PAS (1972) en los pozos RTR1-2-3-6 y 7, al sur de

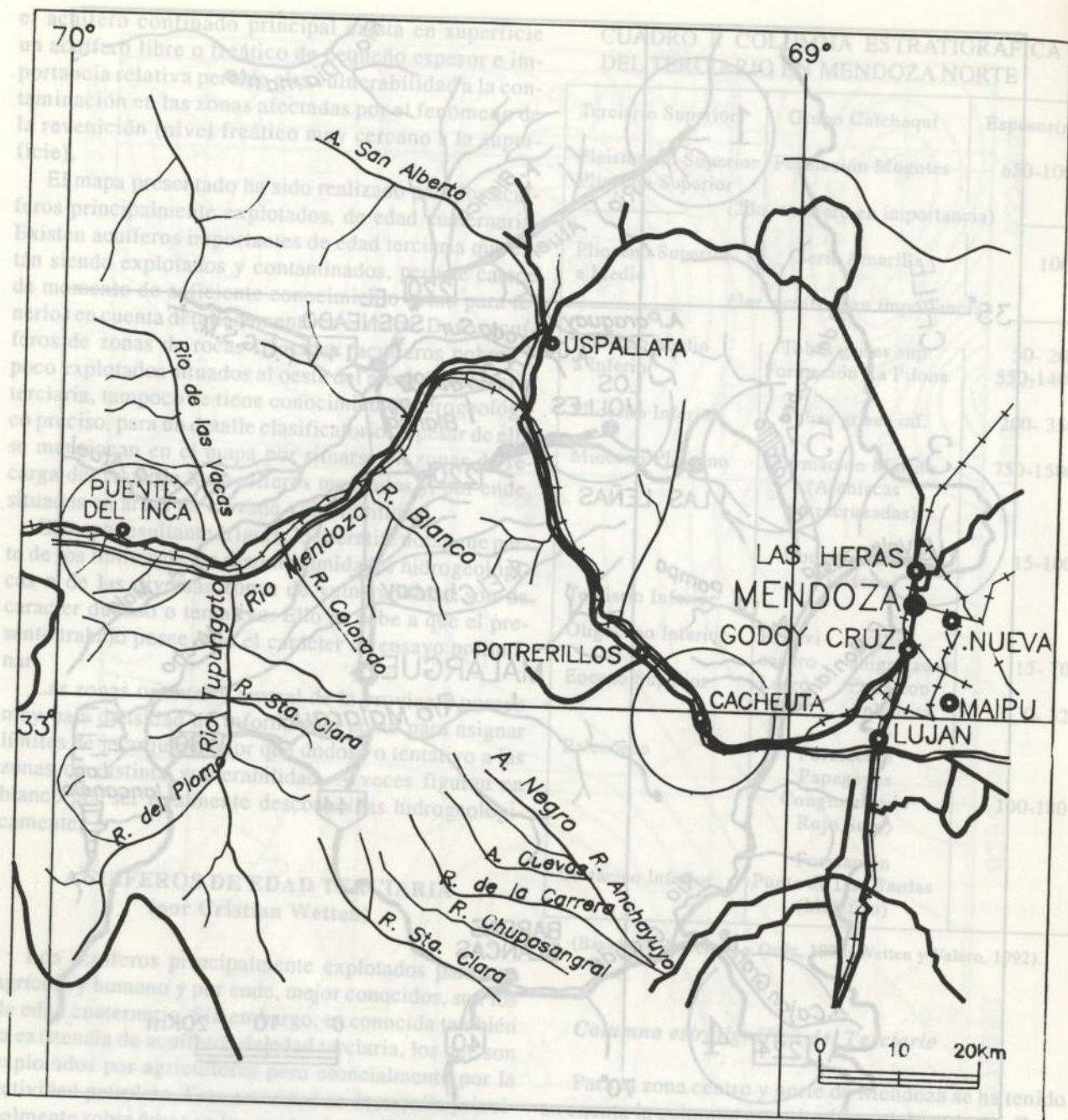


Figura 29: Áreas Termales - Sector norte.

la Pampa del Sebo. Allí se integra por un 90% - 70% de arcillas (arcilitas), un 10 - 30% de arenas y gravas, estas últimas en bancos de 15 m de espesor máximo. La permeabilidad de los materiales más gruesos varía entre 4 y 17 m/d mientras que el coeficiente de almacenamiento se determinó entre $6,9 \times 10^{-4}$ y $3,7 \times 10^{-5}$.

Mapa estructural e isopáquico

Sobre la base de la información de pasajes litológicos de perforaciones ejecutadas por YPF se calcularon los espe-

sores del Terciario hasta la base de la Formación Papagayos y se elaboró el mapa isopáquico de la figura 26. Sobre la base de las cotas del piso de la formación precitada se obtuvo el mapa estructural del Terciario de la figura 27.

La figura 26 se ha construido a los fines de graficar en forma general las leyes de variación del Terciario. En algunos puntos, como en los pozos PSx-1 y PSx-4, está incluido el espesor de los sedimentos cuaternarios que por su pequeño valor (100-300 m) y la escala de representación gráfica no influyen demasiado en la morfología general.

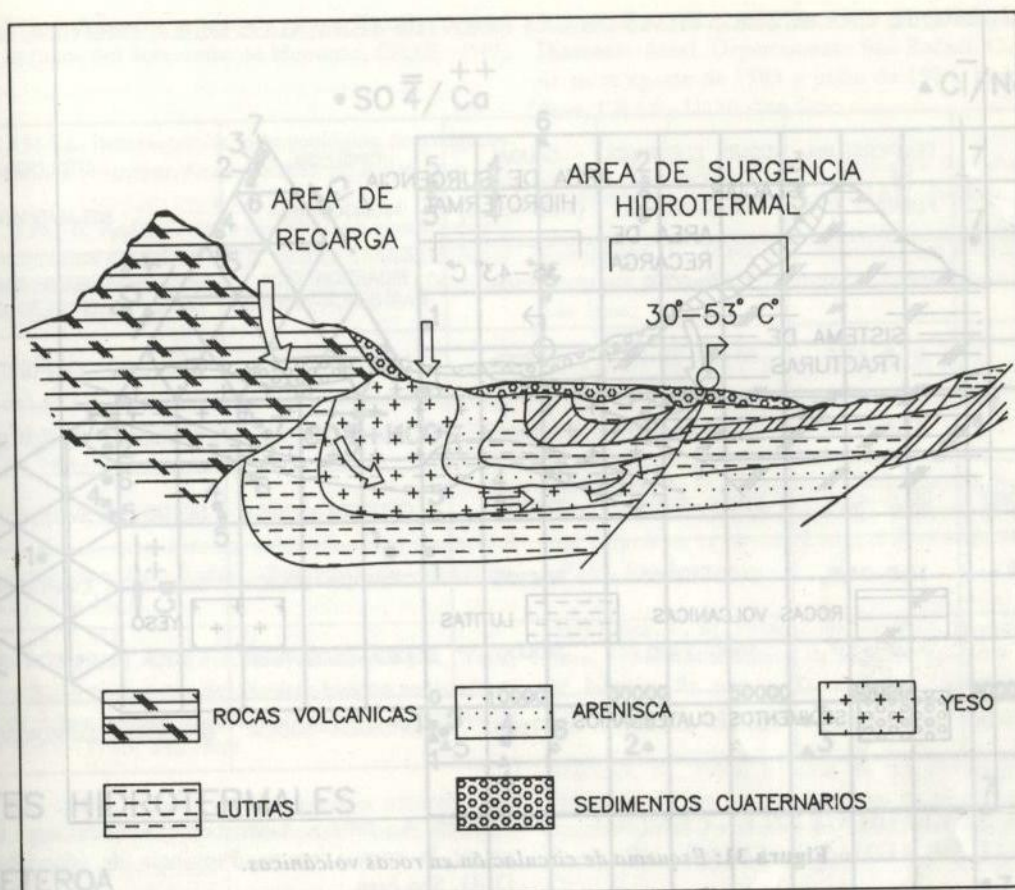


Figura 30: Esquema de circulación de fluidos en formaciones marino-evaporíticas.

Consideraciones finales: sobreexplotación y contaminación

El objetivo de la presentación precedente ha sido mostrar la existencia de un importante y extenso conjunto de acuíferos alojados en formaciones precuaternarias que deben preservarse también de la sobreexplotación y de la contaminación por la actividad industrial y extractiva.

SISTEMAS HIDROTHERMALES (por Carlos E. Valero)

Si bien existen en Mendoza diversas manifestaciones hidrotermales, el Centro Regional de Agua Subterránea ha estudiado por su importancia, los sectores que se encuentran ubicados al sur de la provincia, comprendiendo las áreas del volcán Peteroa, Cajón Grande del Campanario, Los Molles-Lahuenco, Valle Hermoso, el Sosneado (figura 28) y al norte las de Puente del Inca y Cacheuta (figura 29).

Los recursos hidrotermales son utilizados en Mendoza, solamente en un mínimo porcentaje del caudal

total de efluencia natural, en las termas de Cacheuta y Lahuenco, estando su aprovechamiento vinculado al desarrollo económico-turístico, relacionado a balneoterapia o uso terapéutico de las fuentes.

Áreas Volcán Peteroa, Cajón Grande del Campanario, Los Molles-Lahuenco, Valle Hermoso, El Sosneado, Puente del Inca

Las áreas mencionadas se distribuyen en el ambiente geológico de Cordillera Principal. Los Andes de Mendoza presenta dos segmentos de diferentes características tectónicas e historias volcánicas en el Cenozoico superior (Ramos, 1993). El segmento septentrional ubicado al norte de los 33°15', sin volcanismo cuaternario manifiesto en el área montañosa y el segmento austral al sur de los 33°15', con volcanismo cuaternario en arco a lo largo de la Cordillera Principal. Probablemente estas situaciones regionales, condicionan el gradiente geotérmico, interviniendo en los mecanismos de calentamiento de los fluidos hidrotermales. Así, se puede encontrar en el segmento sur, emplazamientos de focos térmicos a menores profundidades, los que originarían

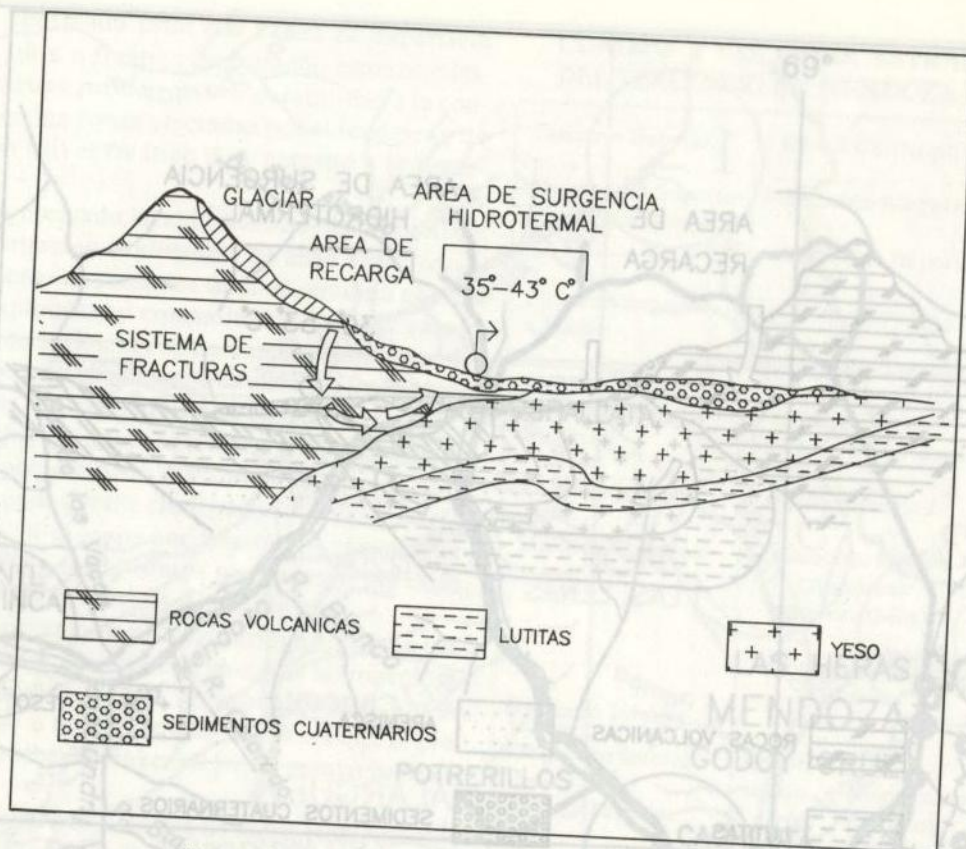


Figura 31: Esquema de circulación en rocas volcánicas.

áreas con gradientes geotérmicos anómalos, como podría ocurrir en Los Molles, Sosneado y Volcán Peteroa, presentando la zona de Los Molles evidencia de un volcanismo reciente (Holoceno) representado por importantes coladas basálticas, en las márgenes del río Salado.

El área del volcán Peteroa, representa a una típica zona de volcanismo activo, habiendo registrado el mismo una erupción en 1991, desprendiendo grandes volúmenes de ceniza y vapor de agua.

De las estimaciones hidrogeológicas, desde el punto de vista hidroquímico y de su relación con la configuración geológica de los sectores de emplazamiento de las fuentes, las áreas hidrotermales ubicadas en la Cordillera Principal responden en forma general a dos esquemas o modelos preliminares de circulación de agua en el sistema hidrotermal. Uno de ellos, relacionado a secuencias sedimentarias de tipo generalmente marina-evaporítica (figura 30) como la de Puente del Inca, Los Molles-Lahuencó, Valle Hermoso, Sosneado, Cajón Grande del Campanario. Dentro de la mencionada secuencia marino-evaporítica, la mayor permeabilidad relativa, estaría relacionada a la formación evaporítica (yeso), que presenta permeabilidad secundaria por disolución (karst) constituyendo un conducto de circulación preferencial de

agua meteórica hacia el reservorio, donde aumenta su temperatura en función del gradiente geotérmico. Este tipo de funcionamiento ocurriría en el área de Puente del Inca, produciéndose el ascenso del fluido relacionado a discontinuidades de tipo estructural. El otro esquema estaría relacionado a una circulación del fluido por rocas volcánicas fracturadas en áreas donde se manifiesta volcanismo activo (figura 31), como ocurriría en la región periférica al volcán Peteroa.

Area de Cacheuta

El área termal de Cacheuta se encuentra emplazada en la culminación austral de la Precordillera de Mendoza, relacionada geológicamente al stock granítico-granodiorítico de Cacheuta, correspondiendo el fluido hidrotermal a aguas superficiales infiltradas a profundidad y calentadas por efectos del gradiente geotérmico, desplazándose el mismo por los sistemas de diaclasas y fracturas que generan sectores de buena permeabilidad secundaria en la roca granítica, estando vinculada la surgencia a diques verticales y subverticales, de menor permeabilidad relativa, que actúan como pantallas impermeables dentro del sistema.

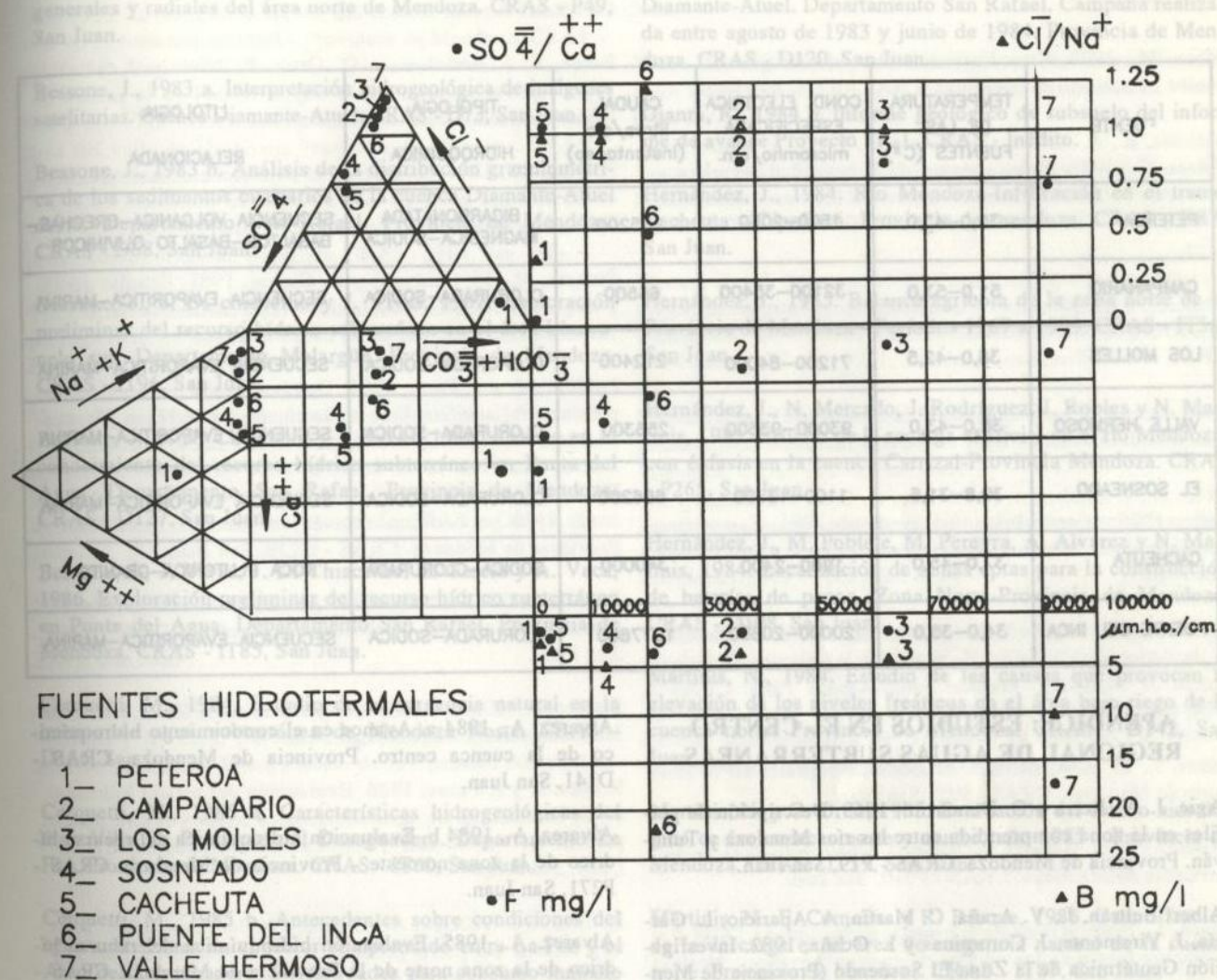


Figura 32: Diagrama químico - Fuentes termales

Características generales de las fuentes hidrotermales

Las fuentes hidrotermales mencionadas anteriormente presentan características particulares de temperatura, tipología hidroquímica, conductividad eléctrica específica, caudal y litología relacionada, las que son sintetizadas en el cuadro II.

Las aguas termales del Peteroa son de tipo bicarbonatadas-magnésicas-sódicas, la de Los Molles-La huencó, Valle Hermoso, Sosneado, Cajón Grande del

Campanario y Puente del Inca, son cloruradas sódicas y las de Cacheuta, sódicas-cloruradas. La composición hidroquímica de estos fluidos está relacionada, entre otros factores, a la litología por la cual circulan (figura 32).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al técnico Gustavo M. Bozzo por la elaboración del material gráfico y a la señora Blanca E. Vairus por el procesamiento del texto.

CUADRO II: CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES TERMALES DE LA PROVINCIA

FUENTE	TEMPERATURA DE LAS FUENTES (C°)	COND. ELECTRICA ESPECIFICADA micromho/cm.	CAUDAL litros/día (instantaneo)	TIPOLOGIA HIDROQUIMICA	LITOLOGIA RELACIONADA
PETEROA	35,0-43,0	1500-2050	955200	BICARBONATADA MAGNESICA-SODICA	SECUENCIA VOLCANICA-BRECHAS-BASALTOS-BASALTO OLIVINICOS
CAMPANARIO	51,0-53,0	32100-35400	65500	CLORURADA-SODICA	SECUENCIA EVAPORITICA-MARINA
LOS MOLLES	38,0-42,5	71200-84000	212400	CLORURADA-SODICA	SECUENCIA EVAPORITICA-MARINA
VALLE HERMOSO	38,0-43,0	93000-93500	256300	CLORURADA-SODICA	SECUENCIA EVAPORITICA-MARINA
EL SOSNEADO	30,8-31,5	1100-13700	686200	CLORURADA-SODICA	SECUENCIA EVAPORITICA-MARINA
CACHEUTA	37,0-45,0	1980-2400	340000	SODICA-CLORURADA	ROCA PLUTONICA-GRANITO
PUENTE DEL INCA	34,0-35,0	20000-20800	1377800	CLORURADA-SODICA	SECUENCIA EVAPORITICA-MARINA

APENDICE: ESTUDIOS EN EL CENTRO REGIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS

- Agie, J., V. Berra y O. Demartini, 1969. Descripción de perfiles en la zona comprendida entre los ríos Mendoza y Tunuyán. Provincia de Mendoza. CRAS - P19, San Juan.
- Albert Beltran, J., V. Araña, C. Martin, A. Aparicio, L. García, J. Viramonte, J. Corominas y L. Ocaña, 1982. Investigación Geotérmica de la Zona El Sosneado (Provincia de Mendoza). ISAURA Exploraciones y Sondeos S.A., Buenos Aires.
- Alonso, A., 1976. Estudios del borde de cuenca de la planicie Sanrafaelina y recopilación de antecedentes geológicos. Departamento San Rafael - Provincia de Mendoza. CRAS - P103, San Juan.
- Alonso, A. y N. Martinis, 1978. Estudio de las cuencas hidrográficas de los ríos Diamante y Atuel e hidrogeomorfología de la cuenca subterránea Diamante-Atuel. Provincia de Mendoza. CRAS - P209, San Juan.
- Alonso, A., N. Martinis y A. Alvarez, 1977. Estudio de la cuenca hidrográfica alta y media del río Atuel. Departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - P160, San Juan.
- Alvarez, A., 1978. Evaluación hidroquímica del agua superficial, cuenca Diamante-Atuel y subterránea en el área del acuífero libre. Clasificación del agua para uso agrícola, departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - P170, San Juan.
- Alvarez, A., 1984 a. Avance en el conocimiento hidroquímico de la cuenca centro. Provincia de Mendoza. CRAS - D141, San Juan.
- Alvarez, A., 1984 b. Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona noroeste - Provincia de Mendoza. CRAS - P271, San Juan.
- Alvarez, A., 1985. Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona norte de la Provincia de Mendoza. CRAS - D159, San Juan.
- Alvarez, A., 1986. Variaciones de la salinidad del agua subterránea en la subcuenca El Carrizal. Zona Norte. Período 1969-1983. Provincia de Mendoza. CRAS - IT78, San Juan.
- Alvarez, A., 1989. Control de calidad y contaminación del agua subterránea, zonas norte y centro de la Provincia de Mendoza. CRAS - IT112, San Juan.
- Alvarez, A. y E. García, 1983. Evaluación hidroquímica de los recursos hídricos del Valle de Uco. Provincia de Mendoza. CRAS - P266, San Juan.
- Alvarez, A. y E. García, 1985. Evaluación hidroquímica de los recursos hídricos del Valle de Uco. Provincia de Mendoza. CRAS - D157, San Juan.
- Barone, R., E. Comellas, C. Gómez, R. Alvarez, J. Bartolomeo, O. Ortiz, C. Paez y H. Herrada, 1977. Información hidrográfica año 1976, Zona Centro. Provincia de Mendoza. CRAS - P168, San Juan.

- Berra, V., 1972. Informe en relación a los perfiles litológicos generales y radiales del área norte de Mendoza. CRAS - P49, San Juan.
- Bessone, J., 1983 a. Interpretación hidrogeológica de imágenes satelitarias. Cuenca Diamante-Atuel. CRAS - D73, San Juan.
- Bessone, J., 1983 b. Análisis de la distribución granulométrica de los sedimentos cuaternarios de la cuenca Diamante-Atuel oeste. Departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - D68, San Juan.
- Bessone, J., J. Di Chiacchio y J. Vivas, 1987. Exploración preliminar del recurso hídrico subterráneo en el área Llanca-nelo sur. Departamento Malargüe. Provincia de Mendoza. CRAS - IT96, San Juan.
- Bessone, J., J. Di Chiacchio y J. Vivas, 1988. Avance en el conocimiento del recurso hídrico subterráneo en Punta del Agua. Departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - D127, San Juan.
- Bessone, J., J. Vivas, J. Di Chiacchio, E. García y A. Vaca, 1986. Exploración preliminar del recurso hídrico subterráneo en Punta del Agua. Departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - IT85, San Juan.
- Cerquetti, M., 1984. Estudio de la surgencia natural en la cuenca de agua subterránea de Mendoza Norte. CRAS - D136, San Juan.
- Cerquetti, M., 1985 a. Características hidrogeológicas del área Villa La Paz-Arco del Desaguadero. Departamento La Paz, Provincia de Mendoza. CRAS - IT60, San Juan.
- Cerquetti, M., 1985 b. Antecedentes sobre condiciones del agua subterránea en el sector comprendido entre La Paz y el Arco del Desaguadero. Posibilidades para consumo humano y riego. Dpto. La Paz. Provincia de Mendoza. CRAS - D134, San Juan.
- Coria, E., J. Hernández y M. Poblete, 1984 a. Consumos especiales riego por bombeo. Zona Norte-Provincia Mendoza. CRAS - D84, San Juan.
- Coria, E., J. Hernández y M. Poblete, 1984 b. Consumos especiales riego por bombeo. Zona Centro-Provincia Mendoza. CRAS - D97, San Juan.
- C.R.A.S., 1982. Exploración hidrogeológica en el sector oriental de la planicie sanrafaelina. CRAS - D56, San Juan.
- Di Chiacchio, J. y J. Bessone, 1992. Exploración geoelectrica en el área sur del río Atuel. Provincia de Mendoza. CRAS - D175, San Juan.
- Franklin Consult, Geomines S.A., Geothermex Inc., 1983. Trabajo de reconocimiento geotérmico de la zona Payun Matru, 1-338. Mendoza.
- Gianni, R., 1984 a. Interpretación geofísica-geológica cuenca Diamante-Atuel. Departamento San Rafael. Campaña realizada entre agosto de 1983 y junio de 1984. Provincia de Mendoza. CRAS - D120, San Juan.
- Gianni, R., 1984 b. Informe geológico de subsuelo del informe de avance Proyecto SR-1. CRAS - Inédito.
- Hernández, J., 1984. Río Mendoza-Infiltración en el tramo Cacheuta - Cipolletti. Provincia de Mendoza. CRAS - D87, San Juan.
- Hernández, J., 1985. Balance agrícola de la zona norte de la Provincia de Mendoza - Períodos 1967 a 1983. CRAS - IT56, San Juan.
- Hernández, J., N. Mercado, J. Rodríguez, J. Robles y N. Martinis, 1983. Estudio de la recarga artificial en el río Mendoza, con énfasis en la cuenca Carrizal-Provincia Mendoza. CRAS - P265, San Juan.
- Hernández, J., M. Poblete, M. Pereyra, A. Alvarez y N. Martinis, 1984. Localización de zonas aptas para la construcción de baterías de pozos. Zona Norte-Provincia de Mendoza. CRAS - D108, San Juan.
- Martinis, N., 1984. Estudio de las causas que provocan la elevación de los niveles freáticos en el área bajo riego de la cuenca norte. Provincia de Mendoza. CRAS - D142, San Juan.
- Martinis, N. y O. Ortiz, 1985. Evaluación del estado hidrológico de las cuencas norte y centro, año 1985 - Provincia de Mendoza. CRAS - IT57, San Juan.
- Martinis, N., E. Comellas y R. Barone, 1986. Cuantificación de la descarga en el área de surgencia natural de la cuenca norte. Provincia de Mendoza. CRAS - IT87, San Juan.
- Martinis, N., E. Ortiz y J. Bartolomeo, 1983. Evaluación del estado hidrológico de las cuencas norte y centro. Provincia de Mendoza. CRAS - D77, San Juan.
- Martinis, N., E. Coria, J. Bartolomeo y H. Herrada, 1984. Evaluación del estado hidrológico la cuenca norte de la Provincia de Mendoza. CRAS - D132, San Juan.
- Martinis, N. *et al.*, 1991. Estudios Regionales de Base para la preservación de los recursos hídricos área Zona Sur. Provincia de Mendoza. Convenio CRAS-YPF.
1. Yacimiento Malargüe, J. L. Bessone, J. A. Vivas, A. Loustaunau y J. Sobrino.
 2. Yacimiento Vizcacheras. C. Rodriguez, G. Salvioli, J. Rodriguez, C. Wetten
 3. Yacimiento Barrancas. V. Sánchez, N. Martinis, A. Alvarez, C. Wetten.
 4. Yacimiento La Ventana-Río Tunuyán. V. Sánchez, N. Martinis, C. Wetten

5. Síntesis de Resultados Conclusiones y Recomendaciones, Wetten

- Meca, M., 1979. Conocimiento hidroquímico general, zona centro - Provincia de Mendoza. CRAS - P224, San Juan.
- Mendez, E., A. Alvarez, J. Bessone, J. Vivas, R. Gianni y C. Ferres, C., 1989. Relevamiento de la actividad petrolera en relación con los recursos hídricos en la Provincia de Mendoza. Convenio YPF-CRAS. Informe Final. CRAS - IT120, San Juan.
- Ortiz, B. y M. Meca, 1978. Conocimiento hidroquímico general. Sector Noroccidental de la Provincia de Mendoza. CRAS - P167, San Juan.
- Ortiz, A. y J. Zambrano, 1975. Investigación geológica del área Mendoza Norte. CRAS - P94, San Juan.
- Ortiz, A., J. Zambrano, R. Alvarez, A. Ortiz Maldonado y B. Ortiz, 1975. Investigación del agua subterránea en el área Mendoza-zona Norte. Provincia de Mendoza. CRAS - P89, San Juan.
- Ortiz Vergara, O., 1983. Breve informe sobre comportamiento de los niveles freáticos en zonas norte y centro de la Provincia de Mendoza. Período Junio-Agosto 1983. CRAS - D74, San Juan.
- Pazos, J., 1972. Aplicación de modelos digitales en la zona norte de Mendoza. CRAS - P48, San Juan.
- Pazos, J., 1978. Balance hidrológico subterráneo zona norte - Provincia de Mendoza. CRAS - P210, San Juan.
- Pazos, J., 1988. Ajuste de los parámetros hídricos JAIM 4 y evolución futura de los niveles de agua subterránea - Modelo ELIS - en la cuenca norte. Provincia de Mendoza. CRAS - IT102, San Juan.
- Pazos, J. y H. Cinca, 1984 a. Variación del almacenamiento en la cuenca de los ríos Diamante-Atuel. Período 1977/1983. CRAS - D83, San Juan.
- Pazos, J. y H. Cinca, 1984 b. Análisis de la morfología de la superficie piezométrica de la cuenca de los ríos Diamante-Atuel. CRAS - D82, San Juan.
- Pazos, J., O. Ortiz y H. Herrada, 1988. Evaluación del estado hidrológico de la cuenca Mendoza Norte - 1988. CRAS - IT111, San Juan.
- Pazos, J., J. Bartolomeo, O. Ortiz y H. Herrada, 1988. Evaluación del estado hidrológico de la cuenca norte de Mendoza - Año 1987. Provincia de Mendoza. CRAS - DI116, San Juan.
- Pazos, J., M. Velgas, C. Rodríguez y H. Loustaunau, 1986. Evaluación del estado hidrológico de la cuenca de agua subterránea de la zona sur. Provincia de Mendoza - Año 1986. CRAS - IT89, San Juan.
- Pazos, J., J. Bartolomeo, O. Ortiz, R. Nieto y J. Becerra, 1986. Aplicación del modelo digital JAIM4 en la cuenca de Mendoza Norte. CRAS - IT91, San Juan.
- Pereyra, M., 1984. Avance en el conocimiento hidrogeológico de la zona norte de la Provincia de Mendoza. CRAS - D104, San Juan.
- Pereyra, M., M. Cerquetti y R. Gianni, 1981. Estudio geológico preliminar del subsuelo de la zona nororiental de la Provincia de Mendoza. CRAS - P240, San Juan.
- Poblete, M. y J. Ferre, 1981. Determinación del área correspondiente al acuífero libre en la cuenca subterránea Diamante-Atuel. Provincia de Mendoza. CRAS - P229, San Juan.
- Poblete, M., N. Martinis y M. Pereyra, 1984. Selección de zonas aptas para la construcción de baterías. Zona Norte - Provincia de Mendoza. CRAS - D139, San Juan.
- Robles, J., 1983. Prospección geoelectrica en la subcuenca Carrizal. Zona Norte - Provincia de Mendoza. CRAS - D69, San Juan.
- Robles, J., 1992. Estado de perforaciones Zona Norte de Mendoza. CRAS - DI177, San Juan.
- Robles, J. y J. Pazos, 1986. Evaluación del estado hidrológico de las cuencas de agua subterránea norte y centro para el período de verano año 1986. Provincia Mendoza. CRAS - DI48, San Juan.
- Robles, J., J. Villalba, A. Alvarez y N. Martinis, 1988. Reinterpretación del perfil geoelectrico San Martín-La Paz. Provincia de Mendoza. CRAS - IT106, San Juan.
- Robles, J., J. Hernández, N. Mercado, J. Rodríguez y N. Martinis, 1985. Estudio de la recarga artificial en el río Mendoza, con énfasis en la subcuenca Carrizal. CRAS - D158, San Juan.
- Romero, J., 1976. Información geológica preliminar, Zona Centro. Provincia de Mendoza. CRAS - P138, San Juan.
- Sobrinho, J., J. Pazos, J. Vivas y H. Loustaunau, 1982. Informe de resultados año II. Convenio CFI-CRAS. Departamento San Rafael, provincia de Mendoza. CRAS - D35, San Juan.
- Sussini, A., R. Brandan, E. Herrero Ducloux, H. Isardi, A. Galmarini, M. Castillo y F. Pastore, 1937. Aguas minerales de la República Argentina. Ministerio del Interior. Comisión Nacional de Climatología y Aguas Minerales, Volumen VII: 1-470, Buenos Aires.
- Torres, E., N. Martinis y H. Díaz, 1982. Segundo informe de avance sobre aspectos hidrológicos de la zona nor-oriental - Provincia de Mendoza. CRAS - P246, San Juan.

- Torres, E., M. Menéndez, A. Alvarez, M. Meca y J. Hernández, 1979. Investigación inicial del recurso hídrico subterráneo en la zona nor-oriental - Provincia de Mendoza. CRAS - P222, San Juan.
- Vaca, A., 1985. Descripción preliminar del mapa hidrogeológico del valle de Uspallata, Provincia de Mendoza. CRAS - D166, San Juan.
- Vaca, A. y H. Balaguer, 1986. Aspectos hidrogeológicos del sector sur del Valle de Uspallata. CRAS - IT64, San Juan.
- Vaca, A., V. Sánchez y R. Gianni, 1982. Exploración hidrogeológica en el sector oriental de la planicie Sanrafaelina. Provincia de Mendoza. CRAS - D56 (5 v.), San Juan.
- Vaca, A., E. Méndez, A. Alvarez, J. Bessone, J. Vivas, R. Gianni y C. Ferres, 1989. Convenio CRAS - YPF (Administración Mendoza). Relevamiento de la actividad petrolera y su relación con los recursos hídricos en la Provincia de Mendoza. Informe de Avance 1. CRAS - DI142, San Juan.
- Victoria, J. y E. García, 1989. Centro Climático Termal Cacheuta - Provincia de Mendoza. CRAS - Informe Preliminar RR91. San Juan.
- Victoria, J., C. Torres, C. Ferres, J. Zambrano, M. Nieto, N. Mercado y A. Vaca, 1986. Investigación hidrogeológica en el área del yacimiento Sierra Pintada de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Provincia de Mendoza. CRAS - IT84, San Juan.
- Vivas, J., 1984. Variación salina y obtención sistemática de datos hidroquímicos del agua subterránea en la zona de Mendoza Sur. CRAS - D138, San Juan.
- Vivas, J., 1985. Síntesis del conocimiento hidroquímico de la cuenca de los ríos Diamante-Atuel. Año 1985. Provincia de Mendoza. CRAS - IT63, San Juan.
- Wetten, C. y J. Bessone, 1978. Contribución al conocimiento hidro- geológico de la superficie y subsuelo de la cuenca Diamante - Atuel oeste, departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - P211, San Juan.
- Wetten, C., 1979. Reseña hidrogeológica de la cuenca Diamante-Atuel oeste, departamento San Rafael. Provincia de Mendoza. CRAS - P236, San Juan.
- Zambrano, J., 1978. Interpretación geológica preliminar del subsuelo de la Zona Norte, sector occidental - Provincia de Mendoza. CRAS - P203, San Juan.
- Zambrano, J., 1985. Regionalización hidrogeológica preliminar de la Provincia de Mendoza. CRAS - D155, San Juan.
- Zambrano, J., E. Torres, H. Loustaunau y F. Schulz, 1977. Reseña geohidrológica de la cuenca inferior del río Atuel. Provincia de Mendoza. CRAS - P159, San Juan.

INTRODUCCION

El territorio de la provincia de Mendoza (figura 1) se caracteriza por presentar un notable cordón montañoso al oeste, que es la Cordillera de Los Andes, y una llanura oriental correspondiente a la Pampa Seca o también llamada Llanura de La Travesía. Entre la llanura oriental y la cordillera, más o menos coincidente con el meridiano $68^{\circ}45'$, se desarrolla desde la margen derecha del río Mendoza en dirección sur, una incipiente sierrita conocida como Cuchillas de Lunlunta - Huayquerías de San Carlos que luego continúa en el Bloque de San Rafael - Cerro El Nevado, alcanzando este último pico volcánico 3.810 m de altura.

A su vez entre el arrumbamiento meridiano antes mencionado y la Cordillera de Los Andes, se extiende una zona deprimida levemente aplanada, de 300 Km de longitud y unos 50 Km de ancho denominada Depresión de los Huarpes que finaliza en la Laguna de Llanquanello. Al este y al sur de Llanquanello se desarrolla el extenso campo volcánico de Payún. Este inmenso y árido terreno árido alcanza la margen norte del río Colorado y hasta al este con la provincia de La Pampa.

Estas características geomorfológicas hacen que la totalidad del territorio mendocino extraandino sea una

región de clima seco a desértico, ya que la imponente barrera orográfica de la Cordillera impide el paso de los vientos húmedos del Océano Pacífico, los cuales precipitan como lluvia en la pendiente occidental, ya en Chile y como nieve en la zona cordillerana. La precipitación media anual en la zona extraandina varía de 200 a 300 mm. En la cordillera las precipitaciones oscilan entre 600 a 800 mm. y se registran principalmente durante el invierno en forma de nevadas.

Lo anterior conlleva a que todos los cursos de agua permanentes de la provincia -sin excepción- tienen sus nacientes en la Cordillera, dado que su régimen es nivo-glacial.

Los ríos mendocinos han tenido un importantísimo rol en la ubicación de los asentamientos humanos y el posterior desarrollo de sus zonas de cultivo, ya que el riego utilizando sus caudales en primer término, y en menor grado la extracción del agua subterránea, permitió la creación de verdaderos oasis en el desierto.

Por estas circunstancias, las primeras obras hidráulicas realizadas en la provincia, son los sistemas de riego del tipo nivelador-derivador a compresión.

En 1889, contratado por el Gobierno de Mendoza, el ingeniero italiano Cipolletti realizó el estudio de la zona