

HIDROGEOLOGÍA REGIONAL: EL AGUA SUBTERRÁNEA COMO RECURSO FUNDAMENTAL DEL SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA.

Blarasin, M.¹; A. Cabrera¹ & S. Degiovanni¹

Resumen - El objetivo del presente trabajo es presentar una caracterización hidrogeológica regional del Sur de la Provincia de Córdoba en la llanura Chaco-Pampeana Argentina, con el fin de establecer los aspectos básicos vinculados a la dinámica, disponibilidad y calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y de presentar cartografía hidrogeológica, hasta el presente inexistente, que servirá de base para planificar el uso del territorio.

Por tratarse de un estudio hidrogeológico regional se presenta, por primera vez para el Sur de la provincia, una síntesis hidroestratigráfica con las principales formaciones portadoras de acuíferos. Además, se han realizado mapas de carácter regional de tipo potenciométrico, hidroquímico y de disponibilidad de agua subterránea (en términos de rangos de caudales posibles a extraer) del acuífero freático, que es el más utilizado en la región. Por otra parte se establecieron las características principales de los acuíferos confinados, algunos de los cuales están siendo utilizados para diversos fines en numerosos sectores.

Palabras claves - Hidrogeología Regional

INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

La región centro-Sur de la provincia de Córdoba, ubicada al centro de la República Argentina (figura 1), presenta una muy alta diversidad de ambientes transicionales entre la pampa húmeda y las regiones semiáridas del centro del país, que le confieren una elevada fragilidad frente a los factores desencadenantes de procesos de degradación por erosión hídrica y eólica, anegamiento, inundación y salinización de tierras y aguas

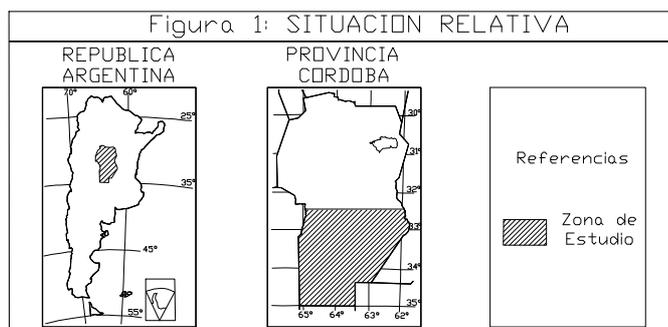
¹ Dpto. de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional N° 36, Km 601. 5800 - Río Cuarto - Córdoba - Argentina. TE 0054-358-4676198 - Fax 0054-358-4680280 - Email mblarasin@exa.unrc.edu.ar

(Cantero y col, 1998). En este marco, es de gran importancia caracterizar la dinámica y funcionamiento del agua subterránea ya que, de diferentes maneras, se encuentra involucrada en todos estos procesos y porque, fundamentalmente, es el único recurso que se utiliza en esta gran región, para todos los fines (humano, ganadero y riego).

El agua en sus diversos estados es uno de los componentes básicos que sostiene a los ecosistemas. Analizar los recursos hídricos y además los aspectos ambientales asociados implica necesariamente el conocimiento de su dinámica global y de todos aquellos factores que condicionan su calidad. En el marco del ciclo hidrológico, circuito continuo e indivisible, los tiempos de tránsito del agua subterránea en los acuíferos más profundos alcanzan cientos o miles de años. Este aspecto permite resaltar un concepto ambiental ineludible tal como es el de la renovabilidad del recurso. Así, el agua subterránea no es renovable en algunos subambientes si se considera la escala de tiempo de los seres humanos, por lo que la sobreexplotación puede afectar a varias generaciones. En estos casos, la explotación del recurso hídrico debe hacerse teniendo en cuenta las reservas y tiempos de renovación, de manera de permitir un desarrollo sustentable.

Respecto a las características físico-químicas, el agua puede presentar diferente calidad, como resultado de la acción de diversos factores (geológicos, climáticos, etc.). Sin embargo, el crecimiento demográfico del planeta significó la aparición de una vasta gama de actividades y sustancias que pueden contaminar el agua, muchas de las cuales aparecen también al Sur de nuestra provincia.

Ante este panorama es que el objetivo del presente trabajo es presentar una caracterización hidrogeológica regional del Sur de la Provincia de Córdoba con el fin de establecer los aspectos básicos vinculados a la dinámica, disponibilidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos y de presentar cartografía hidrogeológica regional, hasta el presente inexistente, que servirá de base para planificar el uso del territorio.



CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima del Sur de Córdoba es de tipo Mesotermal con variaciones en el régimen hídrico (Thornthwaite, 1948). En la llanura varía desde Subhúmedo, con pequeña a nula falta de agua en el NE provincial, a Seco Subhúmedo al SW. En sierra y pedemonte varía entre Subhúmedo a Húmedo II, ambos con pequeña a nula falta de agua.

En la llanura las temperaturas medias son de 17°C, con máximas de 25°C y mínimas de 10°C. En sierra, son de 16°C, 20°C y 9°C y decrecen hacia las altiplanicies a 10°C, 14°C y 5°C respectivamente. Los registros de precipitación corresponden a series de 30 a 76 años, siendo la precipitación media anual de 780 mm. El 82% de las lluvias se concentran en primavera-verano y sólo el 18% en otoño-invierno. En la llanura, se observa una disminución en las precipitaciones desde el NE hacia el SO, lo que marca la influencia del aire cálido y húmedo procedente del Atlántico, disminuyendo desde 848 mm (Alejo Ledesma) a 598 mm (Huinca Renancó), con excepción de las inmediaciones de Río Cuarto, en donde se alcanzan los 890 mm. En sierra y pedemonte, los registros alcanzan los 900 mm, dependiendo de factores de altitud y exposición. La evapotranspiración potencial media anual calculada (Thornthwaite, 1948) es de 850 mm. En la llanura y el pedemonte, es de 820 mm, en sierra varía entre 688 mm y 794 mm. Se observa, en general, una disminución de dichos valores hacia las cumbres y la altiplanicie. El balance hídrico modular calculado para las distintas estaciones muestra que, sólo en algunos sectores (sierras, SE provincial y cercanías de Río Cuarto), no se produce déficit, existiendo períodos de excesos. Sin embargo, para el resto de la llanura y en el pedemonte, el déficit medio anual es de 100 mm. En el sector Este, los valores bajan a menos de 50 mm mientras que en la extremidad SW, supera los 200 mm. Si bien la tendencia general en el Sur cordobés es de déficit hídrico, los balances hídricos seriados indican excesos en los períodos húmedos, parte de los cuales recargan el acuífero.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA GEOMORFOLOGÍA

A escala regional la geomorfología del Sur de la provincia de Córdoba está estrechamente vinculada a los principales rasgos geotectónicos que caracterizan a las Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana: un conjunto de bloques mayores, acompañados de otros menores, de rumbo meridiano a submeridiano, los cuales han tenido distinta actividad durante la evolución geológica de la región.

La llanura Chaco-Pampeana es una extensa planicie donde las variaciones en los rasgos geomorfológicos responden a las estructuras dominantes ya mencionadas, a la litología y a las oscilaciones climáticas del Cuaternario. Dado que la tendencia general de esta cuenca fue marcadamente negativa, su relleno sedimentario está integrado por rocas

cuya edad varía desde Cambro-Ordovícico a Holoceno, con espesores que superan los 4.000 metros. Los depósitos aflorantes al Sur de Córdoba, son Cuaternarios y corresponden a ambientes aluviales, palustres y eólicos.

En la figura 2 se presentan las principales estructuras geológicas y ambientes geomorfológicos asociados. En líneas generales debe destacarse:

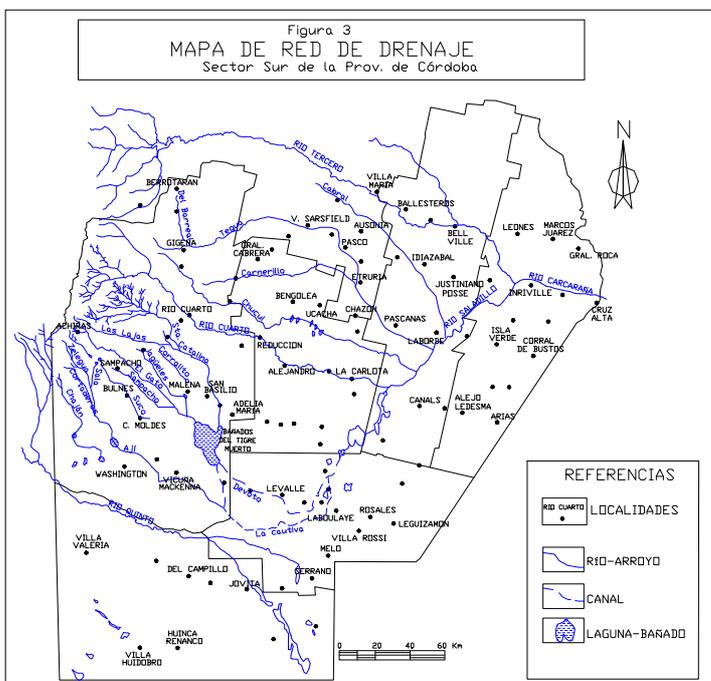
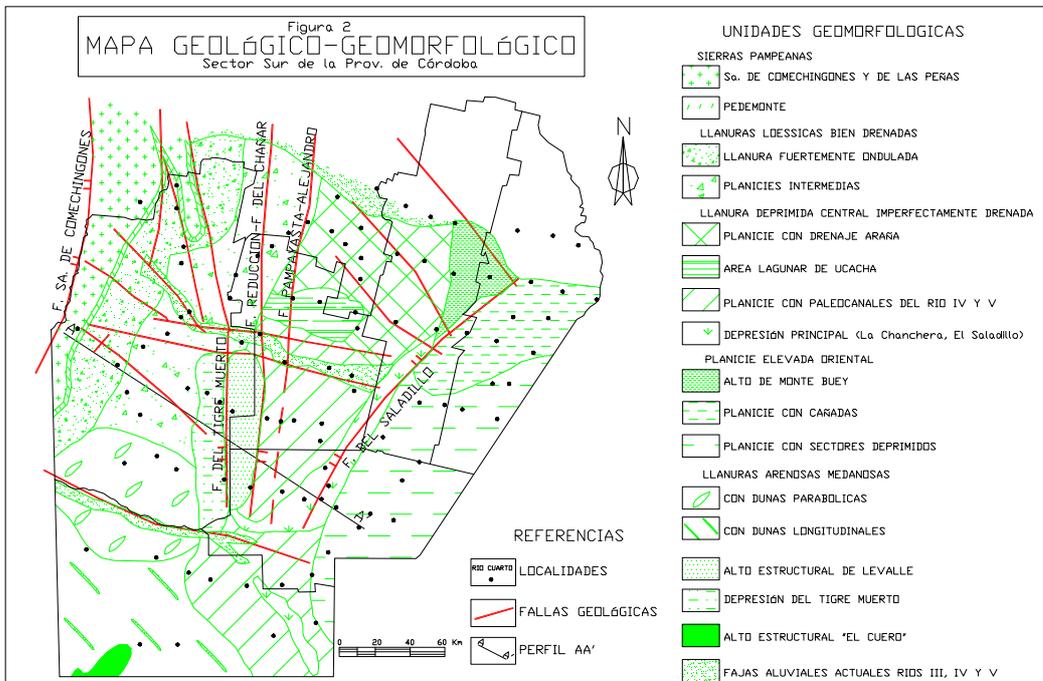
a) El carácter permanentemente positivo de Sierras Pampeanas las cuales, previo a la reactivación ándica, ya habían alcanzado un relieve maduro (Cretácico Superior-Terciario) evidenciado por las pampas de altura relicticas. b) La importancia de la falla Pampayasta-Alejandro Roca, ya que separa los ambientes occidentales, constituídos por planicies fluvio-eólicas fuertemente onduladas a planas, bien drenadas, de las llanuras deprimidas mal drenadas del centro-Este provincial que, inclusive, fueron ocupadas por el mar durante el Mioceno. c) El Alto Estructural de Levalle que se comportó positivamente durante todo el Cuaternario, reorientando hacia el Sur los sistemas de drenaje superficial ubicados al Sur del río Cuarto. Los bañados del Tigre Muerto asociados a esta estructura se han comportado durante el Terciario Superior-Cuaternario inferior como importantes fajas fluviales, mientras que en el resto del Cuaternario actuaron como niveles de base locales, recibiendo importantes volúmenes de sedimentos finos. d) La falla del Saladillo que ha sufrido una reactivación, probablemente Pleistoceno Superior, elevando el bloque más oriental del área deprimida central. e) Los lineamientos que controlan los principales cursos de agua (ríos Tercero, Cuarto y Quinto), cuya actividad es Holocena Superior-Actualidad, han provocado la incisión vertical de estos cursos, elevando y basculando los bloques de su margen Sur.

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS

SIERRAS PAMPEANAS:

Las Sas. de Comechingones y de Las Peñas constituyen las estribaciones más australes de las Sas. Pampeanas de Córdoba (altura entre 1.800 y 600 msnm). En ambas aflora basamento cristalino plutónico-metamórfico de edad Precámbrica-Paleozoico inferior y sólo localmente sedimentitas Mesozoicas y Paleozoicas (ejemplo cerro Suco). Morfológicamente se presentan como cordones montañosos meridianos a submeridianos elevados por fallas inversas lítricas en sus bordes occidentales, donde presentan escarpas con variado grado de evolución. De Oeste a Este, el relieve de las Sas. de Comechingones exhibe las siguientes características: a- Pampas de altura, son relictos de una superficie de erosión de edad Cretácica sup-Terciaria, con una cubierta delgada de sedimentos eólicos; b- Área de disección, de relieve muy escarpado (hasta 45% de

pendiente), alta densidad y frecuencia de drenaje, cursos angostos, encajonados en valles sin relleno sedimentario. c- Áreas de relieve más suavizado, corresponde a bloques más deprimidos de los bordes oriental y meridional de las sierras, las pendientes son del orden del 12-20 %, los valles fluviales presentan un importante relleno sedimentario de origen coluvial y aluvial.



La zona pedemontana constituye una estrecha faja con pendientes próximas al 12 %, donde afloran materiales coluviales, aluviales y basamento en lomas relícticas, con cubierta de depósitos eólicos limo-arenosos que presentan erosión hídrica en cárcavas.

LLANURAS LOÉSSICAS BIEN DRENADAS:

Se presentan como llanuras fuertemente onduladas en la faja periserrana con pendientes del orden del 3-7 %, mientras que hacia el Este constituyen suaves planicies con pendientes menores al 2 %. En toda el área afloran sedimentos eólicos de la Fm Laguna Oscura (Cantú, 1992), constituyendo dunas longitudinales discontinuas y disipadas que localmente presentan reactivaciones históricas, los procesos de erosión hídrica son muy importantes. En este ambiente se desarrollan las cuencas medias de los principales cursos de la región los cuales, a excepción del río Cuarto, tienen un diseño meándrico de baja sinuosidad, fajas fluviales angostas, en proceso de profundización y con migración lateral.

LLANURA DEPRIMIDA CENTRAL IMPERFECTAMENTE DRENADA:

Se desarrolla entre la falla Pampayasta-Alejandro Roca y del Saladillo y constituye el área receptora de aguas y sedimentos provenientes de la mayor parte de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba. Su carácter deprimido es de vieja data, registros de perforaciones indican secuencias marinas terciarias e importantes espesores pelíticos Cuaternarios. Su relieve actual es suave a moderadamente ondulado, generado por una serie de rasgos y paleorasgos fluviales y eólicos discontinuos en los que se sitúan cuerpos lagunares permanentes alimentados por agua freática y sistemas de cursos menores. De Norte a Sur se diferencian las siguientes unidades:

- *Planicie loéssica con drenaje araña*: incluye un sistema de lagunas de origen estructural (Cantú y Degiovanni, 1984) conectadas por los cursos de los arroyos Dalmacio Velez-Chazón-Chaito y Arroyo Cabral que desembocan en el Río Saladillo. Las lagunas actúan como niveles de base locales, recibiendo sedimentos y atenuando crecidas.

- *Sistema lagunar La Felipa*: es un conjunto de lagunas elongadas de rumbo meridiano alojadas en corredores de deflación entre dunas longitudinales, las cuales están interconectadas por el arroyo Chucul, drenando hacia los Bajos del Saladillo. Muchas de ellas están colmatadas o en vías de colmatación constituyendo áreas de bañados.

- *Planicie con paleocanales de los ríos Cuarto y Quinto*: estos sistemas fluviales han desarrollado importantes abanicos aluviales de fajas constituidos por canales meándricos

de baja sinuosidad (Fm Chocancharava). El área está cubierta por médanos longitudinales, varios de ellos con reactivaciones históricas. En los paleocanales desconectados se sitúan cuerpos lagunares pequeños, alimentados por aporte freático.

- *Áreas deprimidas principales:* Constituyen planicies plano-cóncavas controladas tectónicamente, la mayoría de ellas situadas en el borde oriental de la unidad asociadas a la falla del Saladillo. Estas áreas se caracterizan por presentar el agua freática, salina-alcalina, aflorando o muy próxima a la superficie, condiciones cíclicas o permanentes de anegamiento, inundación, sedimentación, salinización y alcalinización. Son receptoras finales de todos los sistemas hídricos de la región al Sur del río Tercero y se comportan como tales, al menos desde el Pleistoceno superior.

ALTO ESTRUCTURAL EL CUERO:

Constituye el extremo septentrional de la Dorsal Central Pampeana. Presenta un relieve de mesetas relícticas con calcretos, asimétricas, con escarpa de falla situada al Oeste y basculamiento hacia el Este. A esta unidad se asocian cuerpos lagunares controlados estructuralmente como las lagunas El Cuero y Tromen.

LLANURAS ARENOSAS MEDANOSAS:

Su relieve es ondulado generado por una sobreimposición de formas medanosas de distinto origen y edad. A ambos márgenes del río Quinto, pero con mayor desarrollo hacia el Norte, se presentan dunas longitudinales de orientación NE-SO, disipadas (Fm Laguna Oscura), removilizadas en tiempos históricos dando lugar a la formación de dunas parabólicas con cubetas de deflación ocupadas por lagunas. Los principales cursos de agua de la región son A° La Guardia-Juan Jorba, A° Chaján y Ají. Al Sur de Villa Valeria y Del Campillo, este patrón morfológico es reemplazado por dunas longitudinales ortogonales a las anteriores.

ALTO ESTRUCTURAL DE LEVALLE:

Se trata de un bloque submeridiano asociado a la falla del Tigre Muerto, cuya escarpa cubierta posee una notoria manifestación topográfica. Es una planicie elevada, de relieve muy suave, con un sistema de escurrimiento superficial muy pobremente instalado. Afloran materiales pertenecientes a la Fm Laguna Oscura, los que se presentan como dunas longitudinales muy desdibujadas.

DEPRESIÓN DEL TIGRE MUERTO:

Esta área plana, anegadiza, con problemas de hidrohalomorfismo, se desarrolla en el bloque hundido de la falla del Tigre Muerto y es la colectora de las cuencas de los arroyos Santa Catalina-Las Lajas, El Gato-Sampacho- Suco. En la actualidad todo el sector Norte está colmatado y el área de bañados se sitúa hacia el centro-Sur de la depresión, con alto grado de sedimentación. Los cursos de agua han sido canalizados al ingreso y egreso de los bañados.

PLANICIE ELEVADA ORIENTAL:

Es suavemente ondulada, con numerosos sectores, principalmente hacia el Sur, mal drenados y con procesos halohidromórficos. El bloque mayor, de rumbo NE-SO, está segmentado en bloques menores con comportamientos diferentes. Su sector Norte presenta la clásica morfología de cañadas, con escurrimientos superficiales hacia el NE, mientras que hacia el Sur estas áreas anegadizas se asocian a paleocanales de los ríos Cuarto y Quinto o a depresiones de origen tectónico.

FAJA ALUVIALES ACTUALES:

Las de los ríos IV y V tienen ancho variable (hasta varios Km) e incluyen en general tres niveles de terrazas, en las más antiguas dominan los sedimentos de llanura de inundación, mientras que en las más recientes materiales areno gravosos correspondientes a espiras de meandros. El río V en la prov. de Córdoba sólo presenta morfologías y sedimentos de baja energía.

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de los depósitos aflorantes (modificada de Cantú 1992), y de los materiales identificados hasta los 400 m de profundidad, se muestra en el cuadro n° 1. Para ello se realizó la interpretación de gran cantidad de perforaciones que permitieron elaborar por primera vez un esquema hidrogeológico regional del subsuelo (Figura 4a).

CUADRO N°1: SINTESIS HIDROESTRATIGRÁFICA PARA EL SUR DE CORDOBA					
EDAD	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS
	SECTOR OCCIDENTAL		SECTOR ORIENTAL		
Holoceno superior	Formación Laguna Oscura Sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos que se extiende por amplias regiones del Sur de Córdoba en mantos de cm hasta 15 m	Formación Reducción Sedimentos fluviales de baja energía. Arenas gruesas a gravas finas con matriz limo-arenosa.	Sedimentos Pampeanos y Post-Pampeanos Corresponde a los sedimentos eólicos denominados Fm Laguna Oscura y La Invernada en el sector occidental. Se intercalan depósitos fluviales, de materiales limo-arcillosos, equivalentes a facies distales de las Fm Las Lajas y Chocancharava	EPIPARANEANO	ACUÍFERO LIBRE
Holoceno medio	Geosuelo Las Tapias Paleosuelo (Molisoles) sobre Fm La Invernada.	Formación A° Las Lajas Sedimentos fluviales (final período Optimum Climaticum). Gravas, arenas y limos.			
Pleistoceno sup. – Holoceno bajo	Formación La Invernada Loess de gran espesor (cm a más de 20 m) y extensión en toda la llanura.	Formación Río Cuarto Sedimentos fluviales, Paraconglomerados, matriz limo-arenosa.			
Pleistoceno superior	Geosuelo Ea. El Cerrito Paleosuelo (Argiudol), sólo se conservan horizontes Bt y BC.	Formación Chocancharava Sedimentos fluviales, con facies de canal granodecrecientes y de llanura de inundación.			
Pleistoceno medio a superior	Formación Pampiano Mat. Fluviales, limosos y limo-arenosos muy finos, pardo rojizo con nódulos de cementación con hierro, y limos eólicos (loess), pardo rojizo, con niveles de calcretos.				
Plio-Pleistoceno?	Formación Alpa Corral Sedimentos fluviales, arenas finas con gravas dispersas, y arenas medias y gruesas con gravas intercaladas.				
Mioceno	Formación Tigre Muerto Limos cementados y potentes arcillas ocreas con intercalaciones de arenas y gravas, de origen continental.				

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

DINÁMICA DEL AGUA

Como se ha indicado, las cuencas principales (figura 3) tienen sus nacientes en el área de las Sierras de Comechingones, en donde las rocas de muy baja permeabilidad, las altas pendientes y el régimen de precipitaciones de alta intensidad, provocan escurrimientos rápidos en cortos períodos de tiempo, generándose así crecidas muy importantes. En las últimas décadas, otra causa que favorece la magnitud de las crecidas es el deterioro de la cubierta vegetal en el área serrana (por sobrepastoreo, quemadas repetidas, etc.) que provocan aumento del escurrimiento superficial y de los procesos erosivos con los consecuentes incrementos en la carga de sedimentos. La mayoría de las cuencas se resuelvan en un único curso colector a la salida de la sierra lo cual potencia el pico de las crecientes y sus consecuencias.

Las cuencas medias de estos cursos se desarrollan sobre sedimentos limo arenosos finos, de alta susceptibilidad de erosión, en relieves ondulados periserranos sometidos a uso agrícola ganadero. El tipo de materiales, las características del relieve y el uso de las tierras, aceleran los procesos erosivos y los escurrimientos superficiales, con el consiguiente deterioro de tierras productivas e infraestructura instalada, a la vez que potencia el caudal líquido y sólido de los cursos colectores. Éstos presentan

profundización de cauces y migración lateral constituyendo el más grave riesgo para la infraestructura vial. En estos tramos, la mayor parte de los cursos son efluentes, es decir que reciben el aporte de la freática, la que sostiene su caudal base.

Cuando los cursos de agua pasan de los relieves ondulados a las planicies y depresiones de las cuencas bajas, disminuyen su velocidad, depositan los sedimentos, provocan anegamiento e inundación de tierras. En la última década, el aumento en la intensidad de los procesos erosivos provocó un incremento de las áreas sedimentadas, anegadas, inundadas y salinizadas situadas en el sector sudoriental de la provincia (Laguna Tigre Muerto, Gral. Levalle, Curapaligüe, Bajos del Saladillo, etc.). Estas áreas deprimidas presentan problemas locales que están vinculados a la intervención antrópica. En estas planicies, el agua freática se encuentra a poca profundidad afectando el perfil del suelo o aflorando temporariamente. Para sacar el agua de la región los productores profundizaron los desagües superficiales, que sólo evacuaban excedentes pluviales, convirtiéndolos en canales que, de modo permanente, drenan el agua subterránea.

Las cuencas que tienen sus nacientes en llanura (Ao. Jagüeles, Ao Chico) están poco evolucionadas, su funcionamiento está ligado a precipitaciones de alta intensidad local y a la actividad del hombre, actuando la red vial como colectora de los escurrimientos.

Con excepción de algunos cursos del sector pedemontano, los ríos y arroyos tienen régimen permanente debido al aporte de la freática, sin embargo los caudales son muy variables entre $0,1 \text{ m}^3/\text{seg}$ en los arroyos más pequeños, durante el estiaje, y valores superiores a $700 \text{ m}^3/\text{seg}$ en crecientes de verano para el río Cuarto (creciente histórica $2.000 \text{ m}^3/\text{seg}$, año 1943). Los caudales sólidos medidos hasta la fecha, vinculados a los sedimentos suspendidos, varían entre $0,04 \text{ kg}/\text{seg}$ (A° Chaján) hasta $40 \text{ kg}/\text{seg}$ (A° Ají).

CALIDAD DEL AGUA

La mayoría de los ríos y arroyos tienen aguas de buena calidad, de tipo dulces, con tenores salinos que varían entre $100 \text{ mg}/\text{l}$ (sector serrano) y $1.300 \text{ mg}/\text{l}$ (áreas de desembocaduras), con evolución geoquímica normal en función del sentido de circulación NW-SE, de bajo grado debido a la alta velocidad de circulación del agua, definiendo aguas del tipo bicarbonatadas, aunque en cuencas medias y bajas aumenta el contenido de sulfatos y cloruros. En el área serrana y pedemontana, son del tipo cálcicas haciéndose sódicas hacia los sectores más bajos. Las lagunas, de muy variado tamaño y volumen, tienen aguas dulces en la zona medanosa (más saladas cuando están vinculadas a la freática), hasta muy saladas en la región oriental de la provincia. Estas

últimas son de régimen permanente por aporte de la freática y son del tipo geoquímico sulfatadas y/o cloruradas sódicas. Por otro lado se observan procesos de degradación del agua superficial debido a actividades antrópicas tales como descargas de efluentes cloacales, volcados de residuos de la actividad agropecuaria y depósitos de basuras.

APTITUDES DE USO:

Como ejemplo se presentan análisis físico-químicos de muestras de arroyos y lagunas.

Muestras	C [μS/cm]	SDT [mg/l]	pH	CO ₃ ⁼ [mg/l]	CO ₃ H ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁼ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ⁺⁺ [mg/l]	Mg ⁺⁺ [mg/l]	As ^{+3/+5} [mg/l]	F ⁻ [mg/l]
A° Sta.Catalina	1.808	1.265	8,23	3,6	527,5	280,3	85,0	320,0	12,0	33,6	12,2	0,04	1,3
	Dulce, algo dura. Consumo humano: Apta, pero por su turbiedad debe someterse a decantación. Ganadería: Excelente a buena. Riego: Regular (mediana peligrosidad salina y sódica, C3S2).												
A° El Talita	109	76,2	7,25	0,0	50,0	11,9	2,8	4,2	1,2	9,6	3,9	0,0	0,61
	Dulce, blanda. Consumo humano: Apta. Ganadería: Deficiente en sales. Riego: Excelente (C1S1).												
Laguna Oscura	7.857	5.500	9,40	79,0	942	1.565	1.24	1.299	26,4	81,0	98,0	0,2	3,0
	Salada, muy dura. Consumo humano: No apta (alto tenor en sales totales, SO ₄ ⁼ , Cl ⁻ , As y F ⁻). Ganadería: Aceptable a mala. Riego: Inapropiada (excesiva peligrosidad salina y sódica, C5S5).												

EL AGUA SUBTERRÁNEA: RECURSO FUNDAMENTAL DEL SUR DE CORDOBA CARACTERÍSTICAS, POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES DE USO DEL ACUÍFERO FREÁTICO

Al Sur de la provincia de Córdoba el agua del acuífero freático circula con una dirección general NW-SE sin embargo, como en todos aquellos sistemas de flujo gravitacionales de agua subterránea, en regiones con relieves ondulados, se observa una jerarquización de los flujos de agua pudiendo distinguirse locales, intermedios y regionales. Este sistema de flujo interactúa con el ambiente y tal interacción produce efectos ambientales, siendo el flujo de agua subterránea el que cumple un mecanismo de movilización, transporte (distribución) y acumulación (Toth, 1999). Así, puede observarse que (Figura 4b), en la región estudiada, se producen los típicos efectos resultantes de un sistema de flujo con estas características (Toth, 1999): 1) flujo descendente en áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga, con potenciales hidráulicos descendentes y ascendentes hacia la profundidad, respectivamente. 2) Balance de agua negativo en áreas de recarga y positivo en áreas de descarga, resultando éstas con bañados y lagunas. 3) Cambios en las facies aniónicas del agua, desde bicarbonatadas, pasando por sulfatadas hasta cloruradas, tanto a lo largo de los sistemas de flujo, como en profundidad. 4) Suelos salino-alcálinos en áreas de descarga. 5) Depósitos salinos en áreas de descarga. 6) Condiciones oxidantes en áreas de recarga y predominantemente reductoras en las de descarga.

La configuración geológico-geomorfológica de la región, en bloques que basculan al Este-Sudeste condiciona los flujos intermedios y regionales del agua subterránea y define las principales áreas de recarga y descarga (Figura 4b).

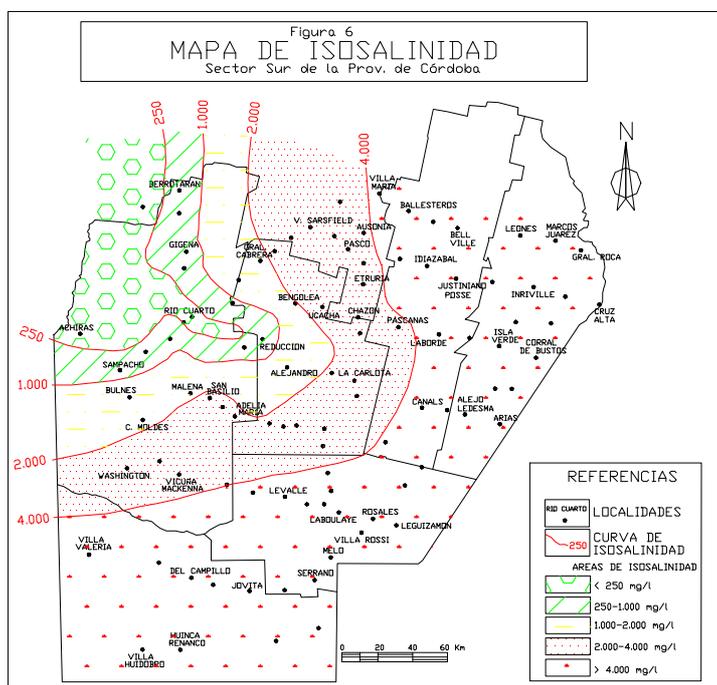
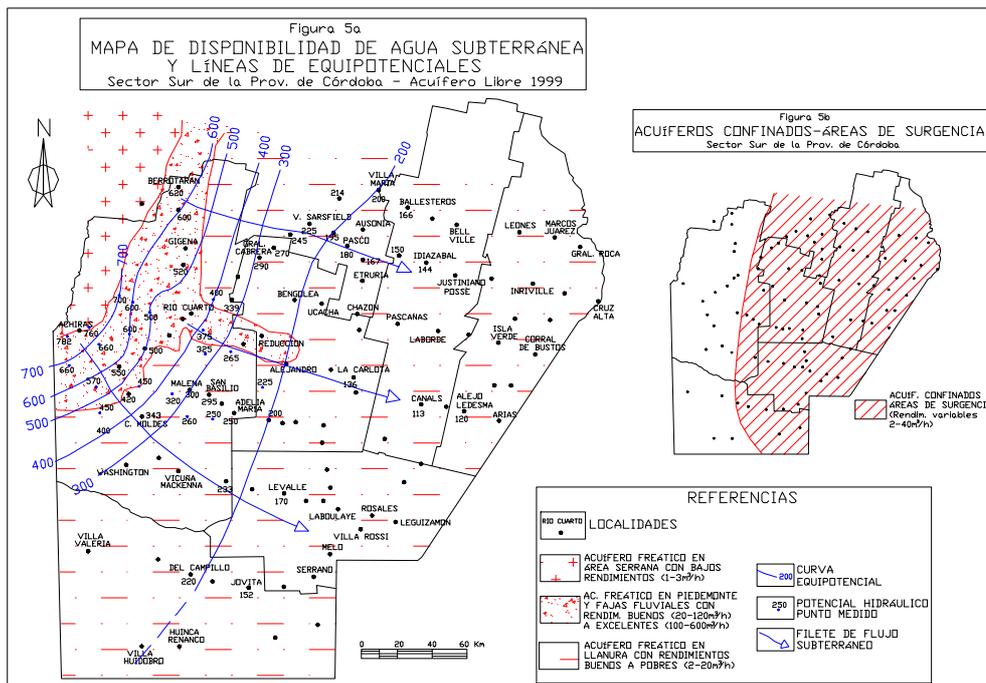
A- ACUÍFERO FREÁTICO EN ZONA DE LLANURA:

teniendo en cuenta los materiales que conforman el acuífero freático y sus potencialidades y restricciones de explotación pueden considerarse dos grandes zonas (figura 5):

A.1) *Áreas aledañas a las fajas fluviales más importantes* (Río Cuarto, Santa Catalina-El Gato): los materiales gruesos (arenas finas, gruesas y gravas) están vinculados a paleocauces, y constituyen un acuífero excelente debido a su rendimiento y calidad, ya que estas fajas suelen estar asociadas además a aguas muy dulces de gran aptitud para todo tipo de usos. Debido a la alta conductividad hidráulica y transmisividad de estos depósitos, los caudales posibles a extraer son importantes, y no dependen solamente de las características naturales del acuífero sino también del diseño de las perforaciones. Sin embargo, debe aclararse que existe diversidad de litofacies y consecuentes cambios granulométricos de los depósitos del ambiente fluvial, lo que condiciona el diseño de los pozos y su rendimiento. Los espesores medios de estas formaciones se encuentran entre 20-40 m, las conductividades hidráulicas entre 10 y 500 m/día y las transmisividades alcanzan órdenes de 200 a 20.000 m²/día. Los caudales de servicio relevados llegan hasta los 600 m³/h y los caudales específicos están en el orden de los 40-60 m³/hora/m. Ejemplos de captaciones de este tipo, son aquellos pozos ubicados en el campus de la UNRC (Universidad Nacional de Río Cuarto), los de riego en la zona de San Ambrosio, los de producción de la EMOS (Ente Municipal de Obras Sanitarias) que abastecen a la ciudad de Río Cuarto, la más grande de la región con 150.000 habitantes, en donde se distribuye agua potable procedente de perforaciones, ubicadas en el ámbito de la faja fluvial del río Cuarto, y de una galería filtrante situada a escasa profundidad por debajo del cauce del río. En este caso no debe dejar de mencionarse el tema de la reserva. Un cálculo realizado para el área de 70 km² que constituye la faja aluvial que rodea a la ciudad, para un espesor promedio de 30 m y una porosidad eficaz de 20 %, arroja una reserva total de 420 hm³. Sin embargo, la estimación de las reservas reguladoras a través de la recarga anual o infiltración eficaz del área, calculada en un 10 % de las precipitaciones, indica que el volumen anual incorporado al acuífero es de 17.000 m³/día, lo que implica un consumo de 240 l/hab/día para la población servida con agua corriente en la ciudad. Si se tiene en cuenta que la dotación

de agua en Río Cuarto es de 450 a 500 l/hab/día, quiere decir que se está usando agua más allá de las reservas reguladoras lo que justifica los descensos observados en los campos de bombeo. En algunos sectores de menor potencia de acuífero (6-20 m) y menores conductividades hidráulicas se han logrado rendimientos específicos de 2 a 20 m³/h/m. Como ejemplo pueden citarse perforaciones en Acequias, Reducción, Espinillo, Río Seco, Holmberg, Las Vertientes, Alejandro, etc. Numerosos sectores del área pedemontana y llanuras onduladas, en donde se han perforado depósitos pertenecientes a antiguos derrames y paleocauces, poseen también muy interesante potencialidad acuífera. Allí, estos materiales, si bien se encuentran muy localizados arealmente, poseen conductividades hidráulicas medianas a altas, y potencias comprendidas entre los 5 y 20 m. Los caudales de servicio de las captaciones en tales sitios son del orden de 50-100 m³/h y los caudales específicos del orden de 2-20 m³/h/m. Ejemplos de este tipo de perforaciones son algunas ubicadas en Berrotarán, Gral. Cabrera, Chucul, zona rural de Gigena, Sampacho, etc.

A.2.) *El resto del área del Sur de Córdoba*, es decir la llanura en sitios alejados de las fajas fluviales y todas aquellas planicies deprimidas y mal drenadas. En esta amplia zona, el acuífero está compuesto por materiales predominantemente arenosos finos y limosos, con abundantes niveles de cementaciones con carbonatos (calcretos) de espesores variables y ubicados a distintas profundidades. *Este acuífero, aunque de medianas a bajas conductividades hidráulicas, se considera de una relevancia económica social muy importante ya que todas las localidades y zonas rurales se abastecen del mismo.* Las conductividades hidráulicas se encuentran comprendidas entre valores de 10⁻² hasta 10 m/día, los más bajos suelen compensarse con potencias muy importantes de sedimentos, a veces de varias decenas de metros. Los caudales de servicio son variables entre 5 y 50 m³/h y los caudales específicos oscilan entre los 0,5 y 2,5 m³/h/m, ambos dependen no sólo de variaciones granulométricas en el acuífero sino también del dispar diseño de las perforaciones. Pueden citarse como ejemplo captaciones realizadas en Baigorria, Elena, Carnerillo, Deheza, Adelia María, San Basilio, Bulnes, Alejo Ledesma, Levalle, Gral. Cabrera, Laboulaye, etc. Un ejemplo de las reservas disponibles en algunos de estos pueblos es el caso de Adelia María. Allí, un cálculo conservador permite afirmar que, para un área de 40 km², un espesor promedio de 50 m y una porosidad eficaz de 10%



(Cabrera, 1995), se cuenta con reservas totales de 400 hm³. Las reservas reguladoras calculadas para una infiltración eficaz de 8% estimada para la zona (Cabrera, 1995), son de 7.150 m³/día, lo que equivale, para un total de 6.000 habitantes, a una dotación disponible de 1,1 m³/hab/día. No obstante, la calidad de agua asociada a estos

sectores donde predominan los materiales finos es más pobre, teniendo en general tenores salinos y de sodio altos, que limitan su aptitud para riego y consumo humano. Además, el agua tiene, en general, altos tenores de As y F lo que las hace inaptas para consumo, aunque existen experiencias de potabilización en varias localidades (por ejemplo, Adelia María). En las dos grandes zonas descritas para el área extraserrana, la posición de la base del acuífero freático no se conoce más que en líneas generales. De acuerdo a los datos de las perforaciones disponibles, se trata de una formación acuícluda de materiales arcillosos que se encuentra a una profundidad variable. Por ejemplo, para la ciudad de Río Cuarto al Norte del río homónimo, se trata de arcillas ocreas de hasta 50 m de espesor ubicadas a 80 m de profundidad, en el área San Basilio-Monte de los Gauchos se ubica a un promedio de 120 m de profundidad, etc. La base del acuífero puede ser también el basamento y esto ocurre particularmente en áreas pedemontanas. La profundidad de la roca es variable, como consecuencia del control estructural que la afecta, y ha sido detectada en forma directa en Gigena a 168 m, en La Barranquita a 40 m, etc.

CALIDAD DEL ACUÍFERO FREÁTICO Y PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN:

Como se ha indicado, el acuífero freático presenta una evolución natural del agua desde aquellas zonas más altas, ubicadas al pie de la Sierra de Comechingones hasta las más deprimidas al Este de la provincia (Figura 6). La mencionada evolución geoquímica produce un aumento progresivo en el contenido salino (desde 0,2 g/l hasta 20 g/l o más) y el cambio gradual del tipo geoquímico desde aguas bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas hasta cloruradas sódicas, tal como lo indican numerosos estudios (Blarasin y Cabrera, 1998).

Una problemática muy grave en el agua de gran parte del Sur provincial es el alto contenido en algunos oligoelementos, fundamentalmente flúor (tenores superiores a los 20 mg/l) y arsénico (hasta 1.700 ug/l), generando éste un mal endémico en el centro y Norte del país. Estas características están condicionadas por factores naturales, tales como el tamaño de grano y tipo de minerales que conforman el acuífero. Según Nicolli (1985) la probable fuente de estos elementos es el vidrio volcánico contenido en el loess, aunque se ha comprobado que otros minerales (biotita, apatita, anfíboles) pueden aportar flúor (Villalba, 1999). Las principales fuentes potencialmente contaminantes del agua

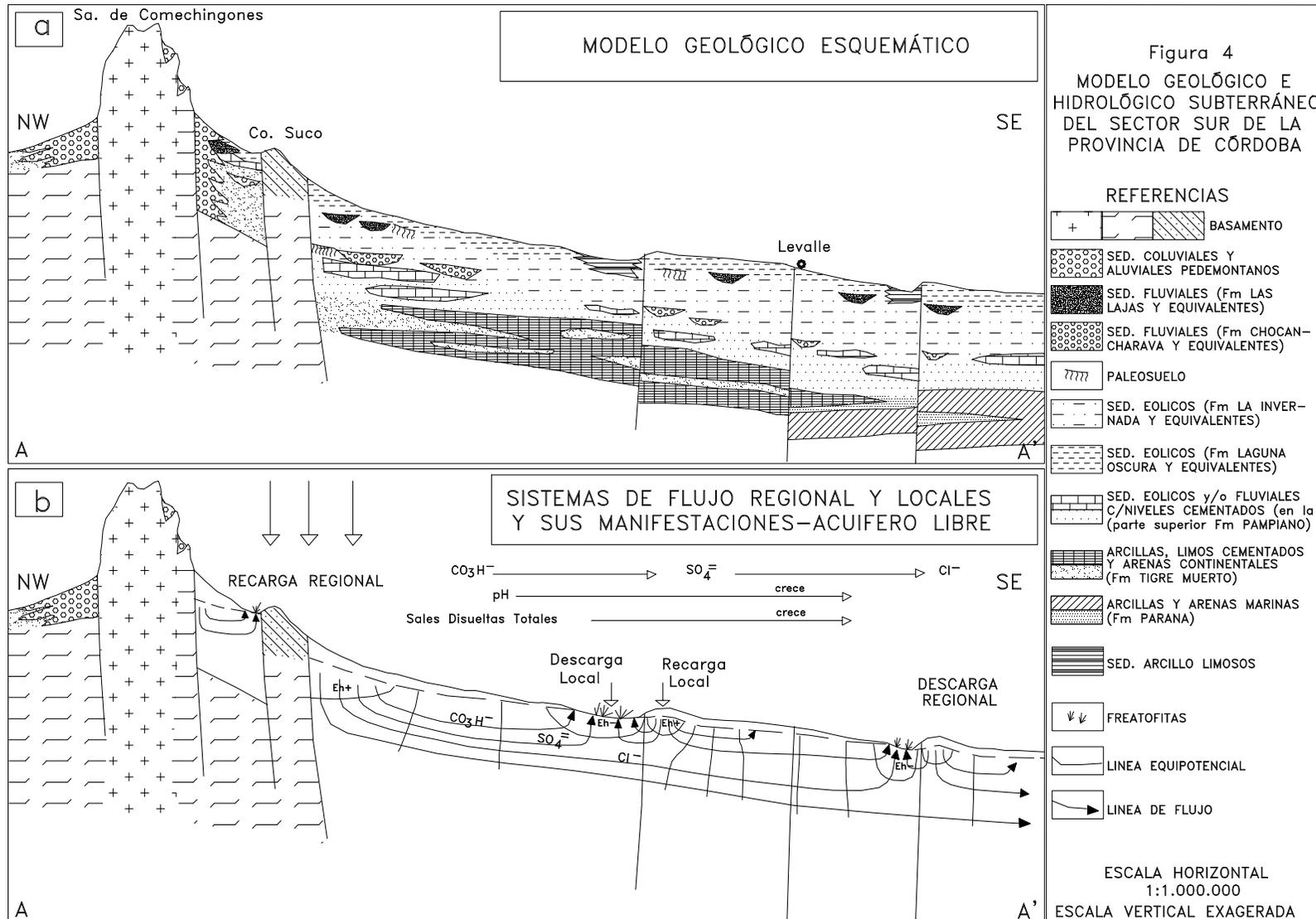


Figura 4
MODELO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO SUBTERRÁNEO DEL SECTOR SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

subterránea son los lixiviados de depósitos de basuras (a cielo abierto o en rellenos sanitarios), que generalmente están ubicados en terrenos donde el agua se encuentra a escasa profundidad, por lo que es altamente vulnerable a la contaminación. Los pozos negros existentes en aquellos sectores urbanizados que no poseen servicio cloacal son también fuentes contaminantes, tal como lo indican los resultados obtenidos en los estudios de detalle (Blarasin y col, 1997) realizados en algunas ciudades (Río Cuarto, Alejo Ledesma, etc.) que han permitido detectar la existencia de contaminación microbiológica (bacterias coliformes totales y fecales, *Escherichia coli*, etc.) y química (nitratos, nitritos, hierro, etc.). Este problema aparece en todas aquellas localidades en las que la evacuación de excretas se realiza a través de sistemas de saneamiento in situ.

Estudios realizados en el acuífero libre de algunos agroecosistemas permitieron determinar la presencia de contenidos elevados de nitratos (entre 20 y 150 mg/l), particularmente en sectores donde existe una concentración de compuestos biogénicos (por ejemplo, derivados de la actividad tambera) o en campos donde es muy importante el uso de fertilizantes nitrogenados (cuencas de los arroyos Los Jaguales, Chucul, etc.).

APTITUDES DE USO:

Se muestran a continuación algunos ejemplos típicos de análisis físico-químicos para algunos pozos que captan del acuífero freático:

Muestras	C [μS/cm]	SDT [mg/l]	pH	CO ₃ ⁼ [mg/l]	CO ₃ H ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁼ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ⁺⁺ [mg/l]	Mg ⁺⁺ [mg/l]	As ^{+3/+5} [mg/l]	F ⁻ [mg/l]
Achiras	277	194	7,94	0,0	110,0	26,4	1,1	18,9	2,0	28,8	4,9	0,0	0,46
	Dulce, algo dura. Consumo humano: Apta. Ganadería: Deficiente en sales. Riego Buena (moderada peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica, C2S1).												
Río Cuarto	384	269	7,88	0,0	142,5	36,6	14,3	26,5	4,0	35,2	9,3	0,0	0,4
	Dulce, dura. Consumo humano: Apta. Ganadería: Deficiente en sales. Riego: Buena (moderada peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica, C2S1).												
Levalle	12.142	8.500	7,36	0,0	981,0	1.509	3.236	2.319	96,0	144	182	0,1	1,4
	Salada, muy dura. Consumo humano: No apta (alto contenido en sales totales, SO ₄ ⁼ , Cl ⁻ , alta alcalinidad y dureza. Ganadería: Mala. Riego: Inapropiada (excesiva peligrosidad salina y muy alta peligrosidad sódica (C6S4).												

B- ACUÍFERO FREÁTICO EN ZONA SERRANA:

se ubica en los sedimentos de edad Cuaternaria que rellenan los valles intermontanos y se alimenta de la infiltración de lluvias locales y del aporte de agua de las rocas circundantes. Los materiales que rellenan los valles presentan espesores variables, entre 1 y 20 m, son limo-arenosos, arenosos y gravosos y poseen conductividades hidráulicas de medias a altas (mayor a 10 m/día), aunque no existen perforaciones de gran porte. Casi todas las captaciones son de pequeño diámetro (2" como máximo), pocos metros de profundidad y puestas en producción por molinos de viento con caudales

de servicio no superiores a los 1.500 l/h y caudales específicos de 0,2 a 0,5 m³/h/m. El agua es utilizada para consumo humano, bebida del ganado y riego de pequeñas huertas familiares. Existen algunas situaciones excepcionales en los valles intermontanos, por ejemplo la batería de pozos de 4" de diámetro en la localidad de Achiras, con caudal específico máximo de 21 m³/h/m, el pozo de 10 m³/h de caudal de servicio en la localidad de Albahacas, etc. Estas situaciones particulares deben ser tratadas con sumo cuidado si se pretende preservar el recurso, ya que en tales situaciones geológicas las reservas subterráneas no son muy grandes debido a los escasos espesores sedimentarios. Por ejemplo, para la localidad de Achiras, en un valle de 0,32 km², un espesor promedio de 15 m y una porosidad específica promedio de 0,20% la reserva total alcanza un valor de 0,96 hm³. Este valor es concordante con el panorama de escasez de agua que en algunos años se presenta en la localidad. En estos sectores, existe la necesidad de establecer el ritmo de reposición del agua subterránea en un sistema rodeado por rocas que, si bien poseen porosidad secundaria (por fracturamiento) y conducen agua, constituyen un medio de permeabilidades pobres. El agua circulante en la roca da lugar también a manantiales, permanentes o temporarios, de escaso caudal, aguas dulces, bicarbonatadas cálcicas, que alimentan ríos o arroyos y que, en muy pocos casos, son aprovechados con fines de uso humano.

CARACTERÍSTICAS, POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES DE USO DE LOS ACUÍFEROS CONFINADOS.

En el Sur de la provincia de Córdoba, los acuíferos confinados y semiconfinados se encuentran en la gran región que se ubica al Este y Sudeste del pedemonte, encontrándose el área de surgencia algo más restringida al ámbito Sudeste de la provincia (Figura 5b). Estos acuíferos están menos estudiados que el freático, sin embargo se conocen algunas características de su funcionamiento. En general están formados por arenas finas, gruesas y gravas, correspondientes a depósitos antiguos fluviales, ubicados a profundidades variables entre los 130 y los 400 m, cuyos techos y bases son potentes paquetes de arcillas ocreas. Para acuíferos profundos ubicados al Este de la provincia las evidencias indican que los depósitos corresponden a antiguas intrusiones marinas (Renz, 1993; Gomez, 1995) formados por arenas intercaladas con arcillas predominantemente azules de la Fm Paraná (cuadro 1 y figura 4a). En todos los casos tienen de mediana a alta conductividad hidráulica, pero no presentan espesores importantes (entre 5 y 10 m) lo que les confiere baja a mediana transmisividad. Las alturas de surgencia son variables para los distintos niveles de confinamiento, habiéndose

registrado 60 m por encima de la superficie en la localidad de Etruria. El sentido general de circulación del agua es NW-SE. Atendiendo a los excesos de temperatura del agua respecto de la esperada según el gradiente geotérmico y a las características geológicas de la región, el calor del agua podría deberse al adelgazamiento cortical vinculado a la apertura de la cuenca en el Cretácico (Lema, 1999). Algunos ejemplos de perforaciones que han alumbrado acuíferos confinados son:

Lugar	Profundidad (m)	Caudal servicio	Salinidad (g/l)	Temperatura
Río Cuarto	350	15	0,25	34
La Brianza	300	30	0,8	35
La Brianza	200	10	2	24
San Basilio	345	10	1,5	32

APTITUDES DE USO:

Aunque los acuíferos confinados y semiconfinados son de más difícil ubicación, tienen en muchos casos excelentes aptitudes de uso. En aquellos sitios en donde se han realizado pozos que presentan bajos rendimientos (entre 2 y 10 m³/h) y buena calidad (aptitud físico-química y microbiológica) el agua es utilizada para consumo humano y existen experiencias de uso para fines comerciales (envasado de agua mineral en San Basilio, Vicuña Mackenna, La Carlota, etc.). Si las sales totales son elevadas sólo son utilizados con fines ganaderos. En aquellos lugares en donde se obtuvieron caudales importantes (mayores a 100 m³/h) y buenas calidades (salinidad total menor a 0,5 g/l y RAS inferiores a 15), el agua se utiliza para riego (Cabrera, Deheza, etc.). A continuación se muestran ejemplos de análisis físico-químicos para dos pozos surgentes:

Muestras	C [μS/cm]	SDT [mg/l]	PH	CO ₃ ⁼ [mg/l]	CO ₃ H ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁼ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ⁺⁺ [mg/l]	Mg ⁺⁺ [mg/l]	As ^{+3/+5} [mg/l]	F ⁻ [mg/l]
La Carlota	728	510	7,8	0,0	218,7	104,7	44,6	102	7,6	20,8	3,4	0,0	0,6
	Dulce, algo dura. Consumo humano: Apta. Ganadería: Deficiente en sales. Riego: Regular (media peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica, C3S1).												
San Basilio	1524	1067	6,89	0,0	245	304,7	139	269	4,4	42	2,2	0,0	0,0
	Dulce, dura. Consumo humano: Apta. Ganadería: Excelente. Riego: Regular (media peligrosidad salina y sódica, C3S2).												

CONCLUSIONES

- Las estructuras geológicas de carácter regional presentes, significaron un condicionante fundamental para la evolución geológica Cuaternaria y pre-Cuaternaria de la región, jugando un papel fundamental en la sedimentación tanto marina como continental y en la actual disposición del agua superficial y subterránea.

- Se determinó por primera vez para el Sur provincial un esquema hidroestratigráfico regional, en el que se reconocen materiales Cuaternarios, de origen continental, eólicos y fluviales, en los que se aloja el acuífero freático y otros semiconfinados, distinguiéndose a mayor profundidad dos ambientes diferentes de sedimentación, de origen marino y continental, para el sector oriental y occidental de la provincia respectivamente, de edad Terciaria, en donde se ubican los principales acuíferos confinados de la región (Fm Tigre Muerto y Fm Paraná).

- El acuífero freático en todo el Sur provincial, se encuentra alojado en sedimentos de origen continental de variada granulometría, encontrándose los materiales de mejor aptitud acuífera (Fm Chocancharava y Las Lajas), con altas conductividades hidráulicas y transmisividades, vinculados a depósitos pedemontanos y a las fajas aluviales de los sistemas fluviales principales.

- Para el acuífero freático en zona de llanura se observa una jerarquización de los flujos de agua pudiendo distinguirse flujos locales, intermedios y regionales. Este sistema de flujo interactúa con el ambiente, cumple un mecanismo de movilización, transporte y acumulación y produce efectos ambientales típicos tales como bañados y lagunas en áreas de descarga, cambios en las facies aniónicas del agua, suelos salino-alcálinos en áreas de descarga y cambios en las condiciones redox.

- La configuración geológico-geomorfológica de la región, en bloques que basculan al Este-Sudeste, condiciona los flujos intermedios y regionales del agua subterránea y define las principales áreas de recarga y descarga.

- Los ríos y arroyos son en general efluentes del acuífero freático, por lo que poseen régimen permanente, y las excepciones a esta regla tienen también un condicionante geomorfológico-estructural.

- El agua freática presenta una evolución geoquímica normal en el sentido del flujo, encontrándose aguas de tipo bicarbonatadas y dulces en áreas de recarga, sulfatadas y salobres en áreas intermedias y cloruradas y saladas, en áreas de descarga. Sin embargo, existe un fuerte condicionante de la litología del acuífero sobre la calidad, destacándose aquellos sectores en donde el predominio de materiales finos (loess) con importantes contenidos en minerales portadores (en particular vidrio volcánico), genera aguas con altos tenores en arsénico y flúor, independientemente de su carácter aniónico.

- Los acuíferos confinados se encuentran a partir de una profundidad promedio de 100 m, poseen diferente grado de confinamiento y por ende distintos niveles piezométricos, algunos alcanzan importante altura de surgencia y los niveles más profundos detectados presentan aguas termales.

- Las reservas principales de agua están asociadas al acuífero freático en las fajas aluviales y se hace necesario profundizar los estudios de las reservas de más fácil reposición, particularmente para las poblaciones más grandes del Sur provincial y en especial para la ciudad de Río Cuarto que tiene un altísimo gasto de agua por persona.

- Los principales problemas de contaminación están vinculados a los sectores sin saneamiento básico en áreas urbanas y al uso de fertilizantes y acumulación de compuestos biogénicos en áreas rurales, estando en ambos casos la contaminación representada por altos tenores de nitratos y/o bacterias y virus.

REFERENCIAS

- Blarasin M., A. Cabrera. M. Villegas, C. Frigerio y S. Bettera, 1997.** Groundwater contamination from septic tank system in two neighborhoods in Río Cuarto city, Cba. Argentina. Groundwater in the urban environment, UK. V 2: 31-38, ISBN 90-5410-924-6. Ed. Balkema.
- Blarasin M. y A. Cabrera, 1998.** Los recursos hídricos de la región Sur de Córdoba, en el libro "Las tierras y aguas del Sur de Córdoba" de Cantero y col. Pág. 22-32. Ed UNRC.
- Cabrera A., 1995.** Estudio Geohidrológico de la zona comprendida entre San Basilio y Monte de los Gauchos, Dpto. Río Cuarto, Cba. Informe Beca de Iniciación SECYT-UNRC.
- Cantero A., M. Cantú, J. Cisneros, J. Cantero, M. Blarasin, A. Degioanni, J. González, V. Becerra, H. Gil, J. De Prada, S. Degiovanni, C. Cholaky, M. Villegas, A. Cabrera y C. Eric. 1998.** Las tierras y aguas del Sur de Córdoba: propuestas para un manejo sustentable". Ed. UNRC. ISBN: 950-665-101-9.
- Cantú M. 1992.** EL Holoceno en la prov. de Córdoba. Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. M. Iriondo Ed. pp. 1-16. Paraná. Argentina.
- Cantú y Degiovanni, 1984.** Geomorfología del Centro Sur de la Provincia de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. Actas IV: 66-92.
- Gomez M., 1995.** La formación pampeana en la llanura cordobesa, línea de costa de la ingresión del Entrerriano. Asoc. Arg. de Geol. Apl. a la Ing. Vol. 3: 232-254. San Juan. ISSN 0326 1921.
- Lema, M. 1999.** Estudio Hidrogeoquímico - Hoja la Brianza, Cba. Argentina. Tesis de Lic. UNRC.
- Nicolli, H., T. O'Connor, J. Suriano, M. Koukharsky, M. Gómez Peral, L. Bertini, I. Cohen, L. Corradi, O. Baleani y E. Abril, 1985.** Geoquímica del As y de otros

oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura Sudoriental de Cba. Ac. Nac. de Cs. Cba.

Renz, H., 1993. Caracterización hidrogeológica preliminar del área central de la prov. de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura. Univ. Nac. de Córdoba.

Villalba G., 1999. Estudio Geohidrológico con énfasis en la geoquímica del F de la cuenca del río El Talita, Dpto. Río Cuarto. Cba. Tesis de Licenciatura. UNRC.

Thorntwaite, C. y J. Matter, 1948. The water balance. Publ. Clim., Drexel I. Techn., 8: 1-104.

Toth, J., 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. Hydrogeology Journal. AIH. Vol. 7. N° 1: 1-14.