e-book

ISBN 978-987-688-104-3

serie técnica keipünentum

Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas

Diseño: lautaro alincastro

-19-

CUENCA ALTA DEL ARROYO CARNERILLO

Aptitudes de uso del acuífero freático

Evangelina Milicich, Mónica Blarasin, Susana Degiovanni y Fátima Noelia Bécher Quinodóz

UniRío editora

Milicich, Evangelina
Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas : 19. Cuenca Alta del Arroyo Carnerillo : aptitudes del uso del acuífero freático / Evangelina Milicich ... [et.al.]. - 1a ed. - Río Cuarto : UniRío Editora, 2014.
E-Book.- (Serie técnica Keipünentum)

ISBN 978-987-688-104-3

1. Hidrogeología. 2. Provincia de Córdoba. 3. Agua Subterránea. I. Milicich, Evangelina
CDD 553.79

Fecha de catalogación: 05/12/2014

Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas
19. CUENCA ALTA DEL ARROYO CARNERILLO. Aptitudes del uso del acuífero freático
Evangelina Milicich, Mónica Blarasin, Susana Degiovanni y Fátima Noelia Bécher Quinodóz

2014 © *Evangelina Milicich, Mónica Blarasin, Susana Degiovanni y Fátima Noelia Bécher Quinodóz*

2014 © UniRío editora. Universidad Nacional de Río Cuarto
Ruta Nacional 36 km 601 – (X5804) Río Cuarto – Argentina
Tel.: 54 (358) 467 6309 – Fax.: 54 (358) 468 0280
editorial@rec.unrc.edu.ar - www.unrc.edu.ar/unrc/editorial.cdc

ISBN 978-987-688-104-3
Primera Edición: *Diciembre de 2014*
Diseño de Tapa: *Lautaro Alincastro*
Diseño y Diagramación: *Bécher Quinodóz Fátima Noelia*

Este obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 2.5 Argentina.

http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/ar/deed.es_AR

UniRío editora

Consejo Editorial

Facultad de Agronomía y Veterinaria
Prof. Laura Ugnia y Prof. Mercedes Ibañez

Facultad de Ciencias Económicas
Prof. Ana Vianco y Prof. Gisela Barrionuevo

Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Prof. Sandra Miskoski y Prof. Julio Barros

Facultad de Ciencias Humanas
Prof. Pablo Dema y Prof. José Di Marco

Facultad de Ingeniería
Prof. Jorge Vicario

Biblioteca Central Juan Filloy
Bibl. Claudia Rodriguez y Prof. Mónica Torreta

Secretaría Académica
Prof. Claudio Asaad y Prof. M. Elena Berruti

Equipo Editorial

Secretario Académico: *Claudio Asaad*
Directora: *Elena Berruti*
Equipo: *José Luis Ammann, Daila Prado, Maximiliano Brito y Daniel Ferniot*

INDICE

Introducción, ubicación y características del área. 4
Objetivos 6
Geología y Relieve 6
Hidrogeología 7
Dinámica del agua subterránea 7
Calidad y Aptitud de uso del agua subterránea 10
Consumo Humano 11
Consumo Ganadero 12
Riego 14
Cálculo de Reservas 16
Calculo de reserva en la zona de estudio 17
Anexos 17
Tabla de Aptitud de uso para Consumo Humano, Ganadero y Riego 17
Cuadro de Clasificaciones de Aptitud de Usos para Consumo Humano, Ganadero y Riego 18
Bibliografía 19

PREFACIO

En todo el mundo ha sido reconocido el papel esencial del agua subterránea en el estudio integrado de los recursos hídricos por (1) su relevancia en el funcionamiento del ciclo hidrológico, desempeñando un rol fundamental como agente geológico, para diferentes períodos de tiempo, en la formación de numerosos paisajes, suelos, yacimientos minerales, entre otros (2) su importancia formando acuíferos y constituyendo un recurso vital, la mayor cantidad de agua dulce líquida del planeta, de gran utilidad para la mayoría de las actividades que se desarrollan en el medio socio-productivo.

La presente colección de Cuadernos de "Uso y manejo de aguas subterráneas" (Serie técnica Keipünentum) tienen por objetivo mostrar, para diferentes sectores de la provincia de Córdoba, las aptitudes de uso humano, ganadero, agrícola, entre otros, de las aguas subterráneas procedentes de acuíferos ubicados a distintas profundidades. La principal finalidad de la serie es que técnicos, perforistas, agrónomos, geólogos, ingenieros, docentes, gestores, planificadores, ruralistas, políticos, etc. puedan utilizar la información que generan los científicos de diversas instituciones, con el objetivo de solucionar problemas de la comunidad.

Los cuadernos están estructurados de manera sencilla, mostrándose aspectos generales del área estudiada, las principales características geológicas e hidrogeológicas (tipo de acuífero, espesor, caudales de extracción, etc.). Describiendo en detalle las aptitudes del agua para uso humano, agrícola y ganadero, usando clasificaciones vigentes. Es de esperar que la información sea de utilidad para el público al que está destinada, alcanzándose así parte de los objetivos del proyecto que dio origen a este emprendimiento.

Dra. M. Blarasin
Investigadora Responsable
PID 35/08 Aguas Subterráneas

AGRADECIMIENTOS

La información volcada en el presente Cuaderno de Aguas Subterráneas es el resultado de la tarea docente, de investigación y transferencia que realizan los integrantes de la Universidad Nacional de Rio Cuarto, con subsidios de SECYT UNRC, Foncyt (Nación) y Mincyt (Córdoba). Se agradece especialmente al Dr. J.J. Cantero por su iniciativa para la concreción del PID 35/08, al Dr. S. Mansur de Mincyt Córdoba por el apoyo permanente, a la UNRC y a los habitantes de la región con los que interactuamos desde hace gran cantidad de años.

APTITUD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO CARNERILLO. CÓRDOBA, ARGENTINA

Milicich E., M Blarasin, S Degiovanni y F. Bécher Quinodóz

Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 Km 601. TE: 0358-4676229

INTRODUCCIÓN, UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL ÁREA

La zona a la cual está dedicado este "Cuaderno de uso y manejo de aguas subterráneas" se localiza en la región centro-sur de la provincia de Córdoba en los departamentos Río Cuarto al O y Juárez Celman al E, enmarcada por las coordenadas 63º58' y 64º15' de longitud Oeste y 33º y 32º4' de longitud Sur. El sector de interés, con una extensión de 560 km^2, comprende la cuenca alta del arroyo Carnerillo, el cual en su tramo medio-alto atraviesa de Oeste a Este la localidad del mismo nombre (Figura 1).

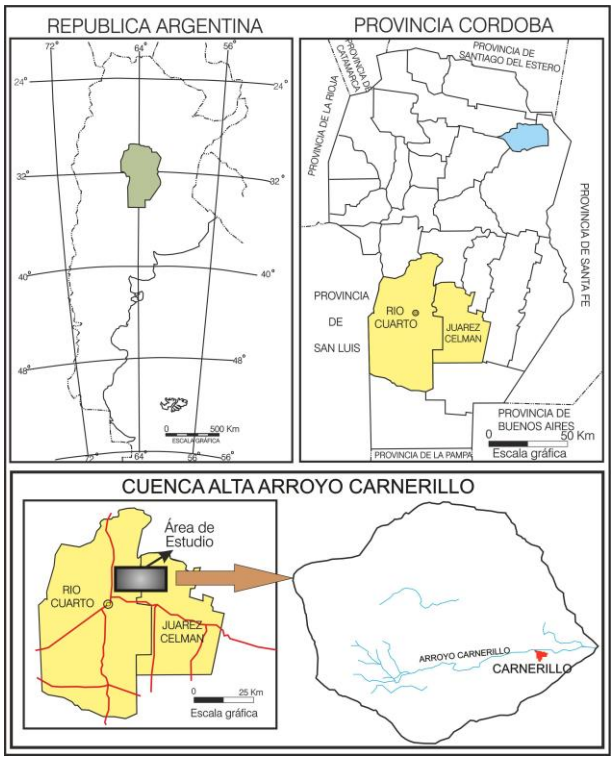


Figura 1. Localización área de estudio.

La zona de estudio se caracteriza por presentar un relieve fuerte a moderadamente ondulado, debido principalmente al control estructural (morfoestructuras) y los sistemas medanosos asociados a removilizaciones históricas de la cubierta loéssica, los que en conjunto condicionan la dinámica y calidad del agua subterránea, utilizada en la región para todas las actividades humanas.

Desde finales del siglo XIX este sector se caracteriza por el desarrollo de actividades agrícola – ganadera (Figura 2), identificándose para el caso de la agricultura un dominio de soja y en menor grado maíz y maní. Si bien en varios sectores se reconoce la aplicación de rotación de cultivo (soja/maíz) en la mayoría de los lotes, la técnica más implementada es la siembra directa, con un uso importante de agroquímicos. La ganadería por su parte, se refleja en la cría de ganado bovino, porcino y ovino, en casos muy particulares también la cría de equinos y aves. Por otra parte se destaca la actividad tambera y la cría intensiva (feed lots), como así también la actividad minera, mediante la extracción de áridos.

El agua en el sector se destina a consumo humano, con mayor intensidad en el área urbana de la localidad de Carnerillo, mientras que en el área rural el uso es fundamentalmente ganadero, para este último caso el agua procede del acuífero libre.

Figura 2. Actividades agrícola – ganadera desarrolladas en la zona y uso del agua subterránea.

El clima en la zona es de tipo mesotermal subhúmedo seco, con una precipitación media anual de 789 mm, concentrada principalmente en primavera – verano (Figura 3). La serie de precipitaciones anuales (P) analizada fue La Providencia – Cooperativa (1927 - 2009) con un mínimo de 378 mm y un máximo de 1.436 mm. El balance hídrico seriado de paso mensual muestra que, para un almacenamiento de agua en el suelo de 150 mm, entre 60 y 100% de P es devuelto a la atmósfera como evapotranspiración real (Milicich, 2010). Los excesos hídricos, variables entre 0 y 605 mm, se localizan fundamentalmente en los meses de primavera – verano, muy condicionados por el comportamiento de P. La tendencia de los excesos hídricos es creciente (Figura 4), fundamentalmente para los últimos años de la serie (1976 – 2009), destacándose el período 1998-2008, por presentar este los mayores excesos. La distribución temporal de los excesos hídricos del período analizado, concuerda con el comportamiento hidrológico observado en toda la región del Sur de Córdoba.

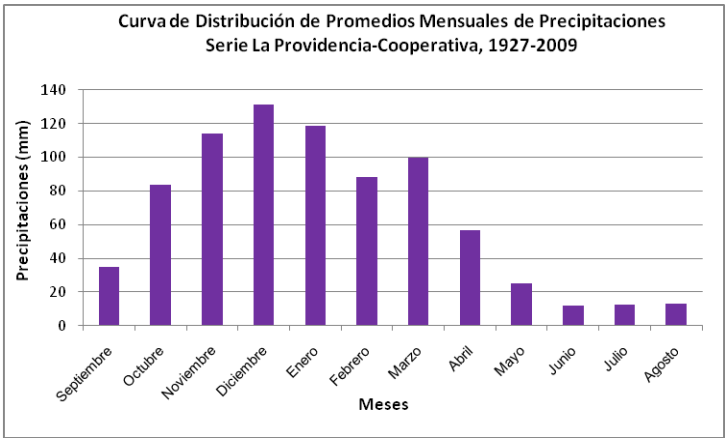


Figura 3. Curva de Distribución de Precipitaciones Medias Mensuales

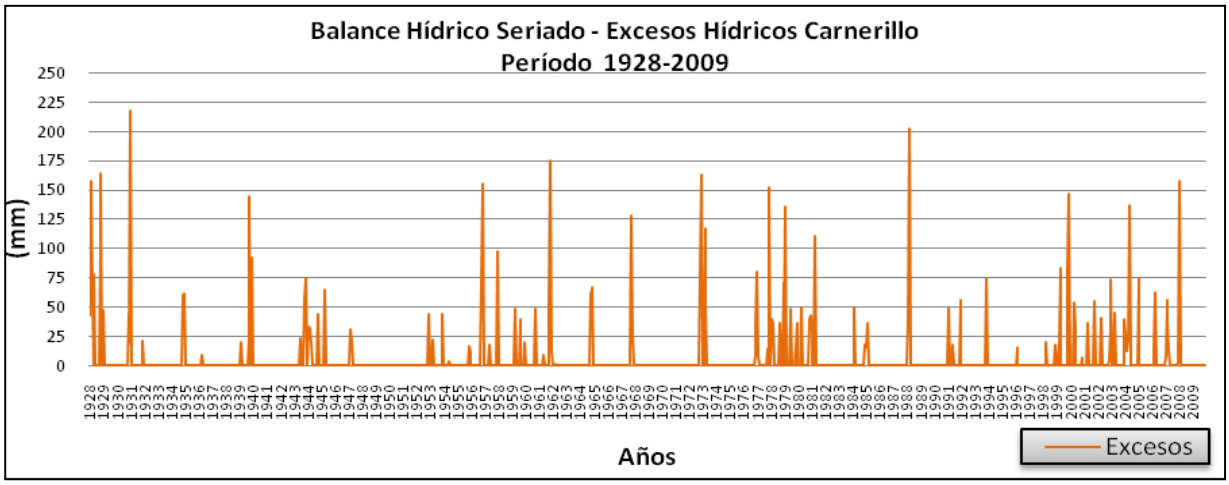


Figura 4. Curva de distribución de Excesos hídricos – Serie El Colorado – El Olvido.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es calificar el recurso hídrico subterráneo procedente del acuífero freático que se utiliza en la cuenca alta del arroyo Carnerillo para consumo humano, ganadero y riego.

GEOLOGIA Y RELIEVE

La zona de estudio ubicada geomorfológicamente en la unidad planicie loessoides con dunas longitudinales (Milicich, 2010), se caracteriza por un relieve fuerte a moderadamente ondulado, disminuyendo la pendiente hacia el sector centro-este de la cuenca. En el área se reconocen cinco grandes ambientes geomorfológicos bien diferenciados: I- Altos estructurales, II- Llanura fuertemente ondulada, III- Planicie moderada a suavemente ondulada, IV- Zonas deprimidas y V- Fajas fluviales (Figura 5). En la totalidad del área afloran sedimentos arenoso muy finos a limosos de origen eólico fundamentalmente, correspondientes a la Fm. Laguna Oscura (Cantú, 1992), de edad Holocena media – superior (Figura 6). Se observan además removilizaciones de arenas

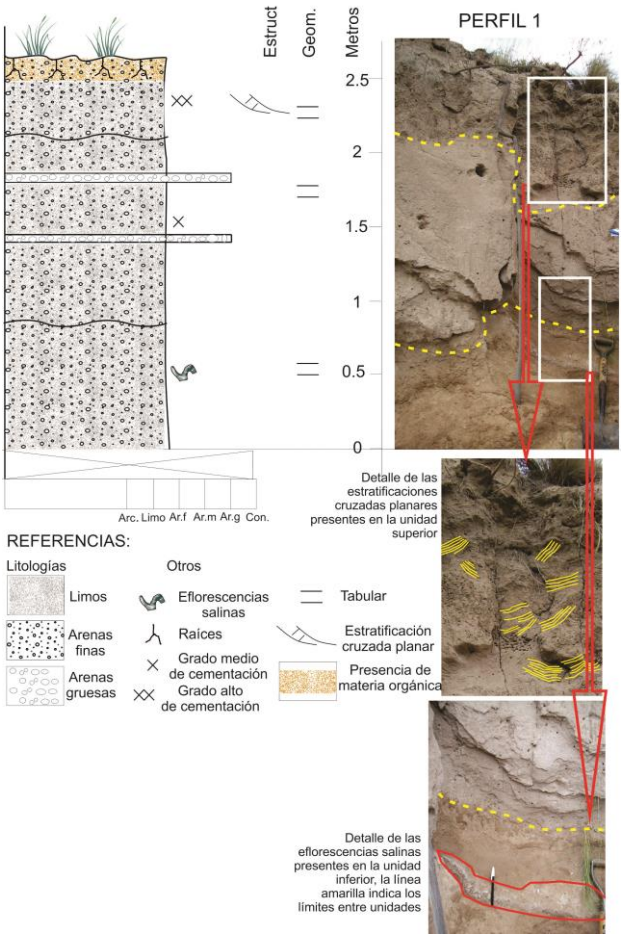


Figura 6. Perfil sedimentológico aflorante.

finas a medias, que constituyen los sistemas de médanos históricos y actuales, como así también depósitos limo-arcillosos asociados a las fajas fluviales de los arroyos y sectores lagunares. En la unidad Fajas Fluviales (V), se reconocen una serie de arroyos menores que conforman la cuenca alta del arroyo Carnerillo. Este arroyo presenta una morfología del cauce rectilíneo con escasos tramos sinuosos, el ancho del canal es variable (entre 3 a 4 metros) con una profundidad que no excede los 0,5 metros.

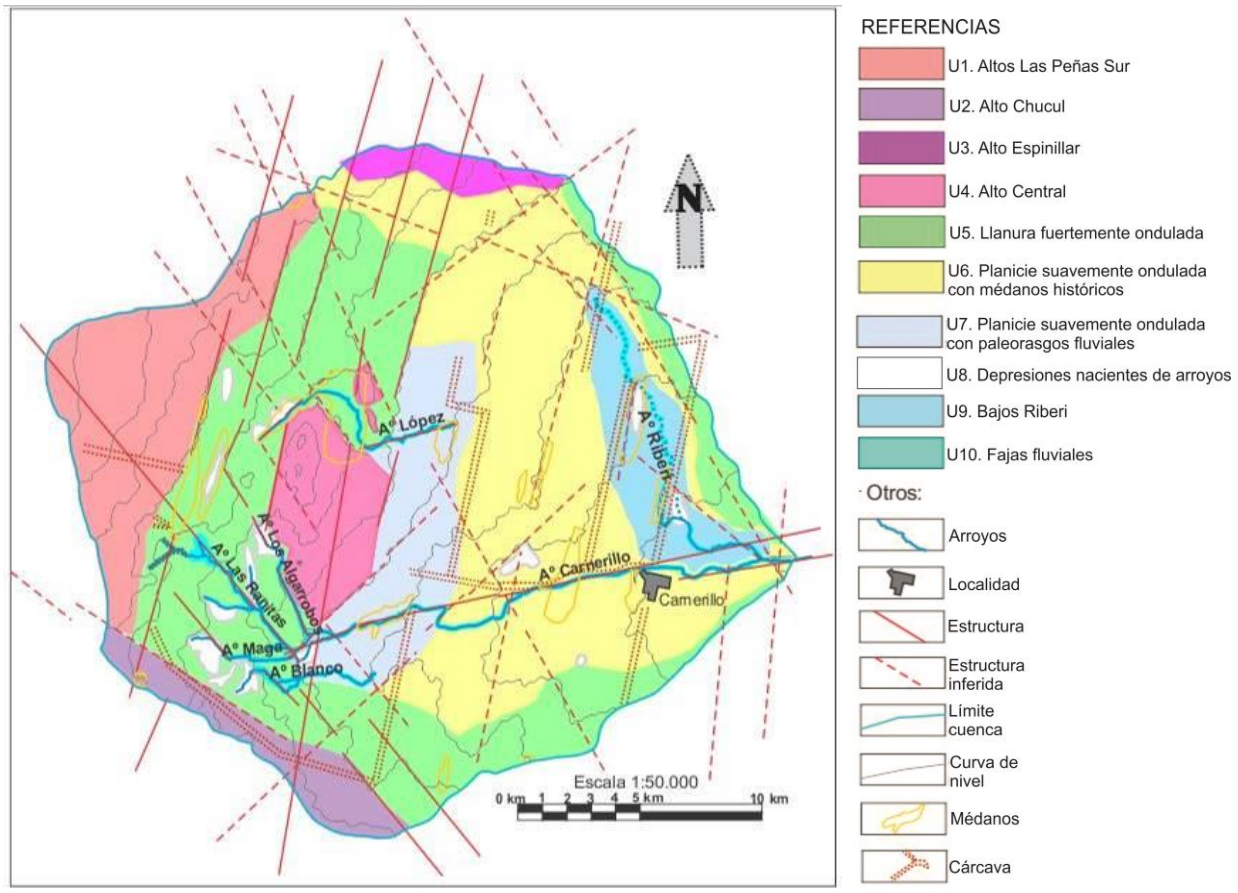


Figura 5. Mapa geomorfológico cuenca alta del arroyo Carnerillo.

HIDROGEOLOGIA

DINÁMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Si bien al presente se cuenta con moderada cantidad de datos del subsuelo y hay incertidumbre inherente a las profundidades de algunas de las perforaciones y litologías atravesadas, a partir de la geología de superficie, los datos de perforaciones en la zona y la proporcionada por los pobladores rurales durante la realización del censo de pozos, se llevó a cabo la confección de perfiles hidrolitológicos, cuya ubicación se presenta en el mapa de la figura 6. A través de los perfiles relevados (Figura 7), se observa que los materiales aflorantes en la cuenca y aquellos que conforman el acuífero freático, son de edad Cuaternaria. El origen de los sedimentos es fundamentalmente eólico, de tipo loéssico, con textura arenosa muy fina

a limosa que presentan diferente grado de cementación carbonática. En menor proporción se encuentran sedimentos fluviales y palustres de la misma edad (Figura 7), Milicich, 2010.

La superficie freática es de morfología suavemente ondulada en los sectores más elevados y en el centro de la cuenca, tornándose hacia las zonas más bajas de tipo muy suavemente ondulada a planar. El sentido general de escurrimiento del agua subterránea presenta dirección NO-SE, al norte del arroyo Carnerillo y casi OESTE-ESTE, al sur del mismo. A través del comportamiento descripto, puede afirmarse que las estructuras geológicas definidas ejercen un fuerte control sobre el relieve y consecuentemente sobre el escurrimiento subterráneo, que en forma notoria coincide con el superficial.

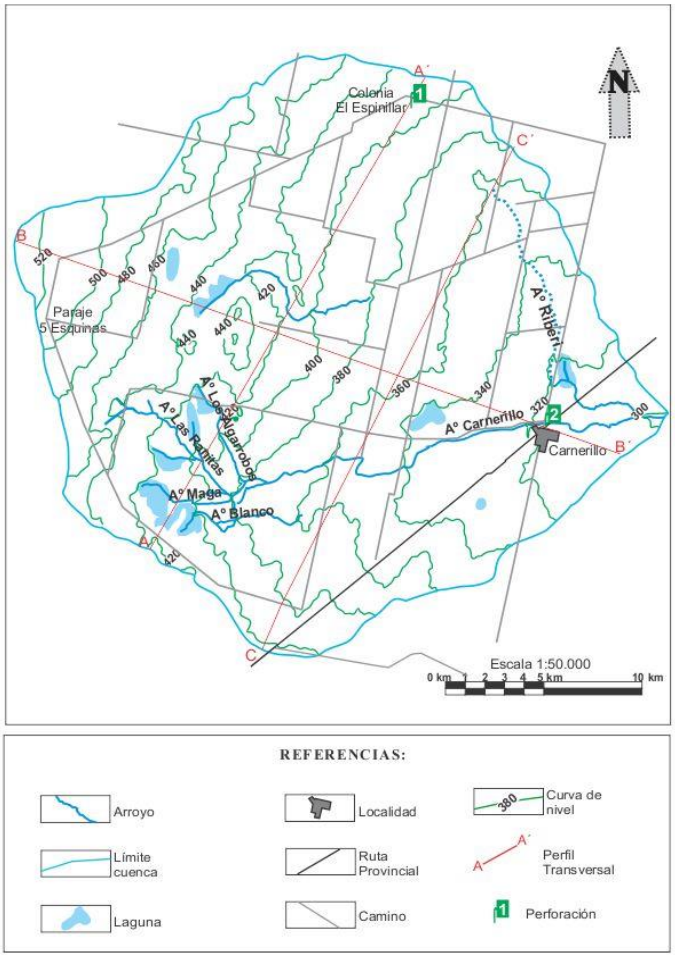


Figura 6. Ubicación de perfiles hidrolitológicos

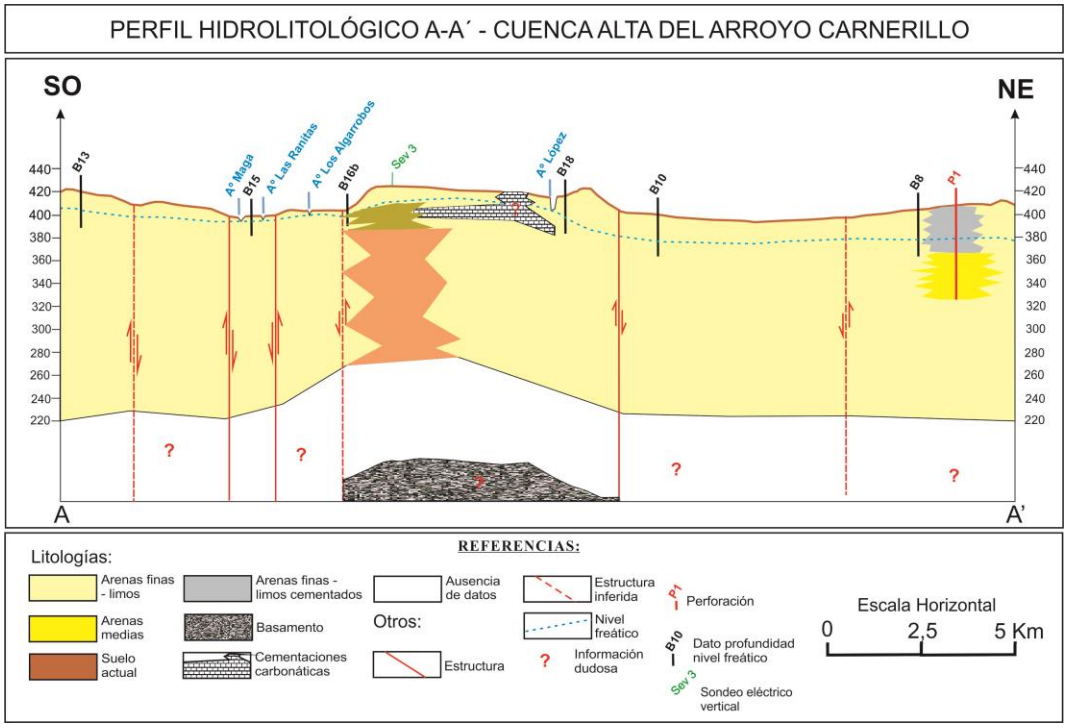


Figura 7. Perfil Hidrogeológico A-A'

Con respecto a las zonas de recarga y descarga del acuífero libre, en el área de estudio la recarga ocurre por infiltración local del agua de lluvia que sucede sobre toda la cuenca, sin embargo los altos topográficos son zonas netas de recarga. Las zonas de descarga hacia donde convergen los filetes corresponden principalmente a las unidades geomorfológicas caracterizadas por constituir áreas deprimidas (lagunas permanentes, depresiones nacientes de arroyos) y algunos tramos y/o márgenes de los cursos de agua.

Los espesores de la zona no saturada, varían entre los 40 y 0 metros. Los mayores espesores (mayores a 30 m) se sitúan en la cuenca alta, es decir, al O y al N del área de estudio, en dos sectores en donde se encuentran dos de los altos estructurales definidos. Los valores intermedios, entre 30 y 20 m, se hallan en el sector centro-N y centro-O y en general corresponden a unidades geomorfológicas de altos estructurales, pero en mayor medida se sitúan en la llanura fuertemente ondulada. Los valores de profundidad van disminuyendo en el sector central de la cuenca, se encuentran comprendidos en general entre 0 (donde hay afloramiento de agua) y 10 m (Figura 8).

En la zona del alto central, en donde el basamento se encuentra subaflorante, el nivel freático también es poco profundo encontrándose entre los 0 y 10 m. Al Sur del arroyo Carnerillo los valores están comprendidos entre 0 y 20 m (Figura 8).

De estas interpretaciones, se evidencia la fuerte relación existente entre los espesores de la zona no saturada, la morfología del relieve y el fuerte control estructural sobre el mismo.

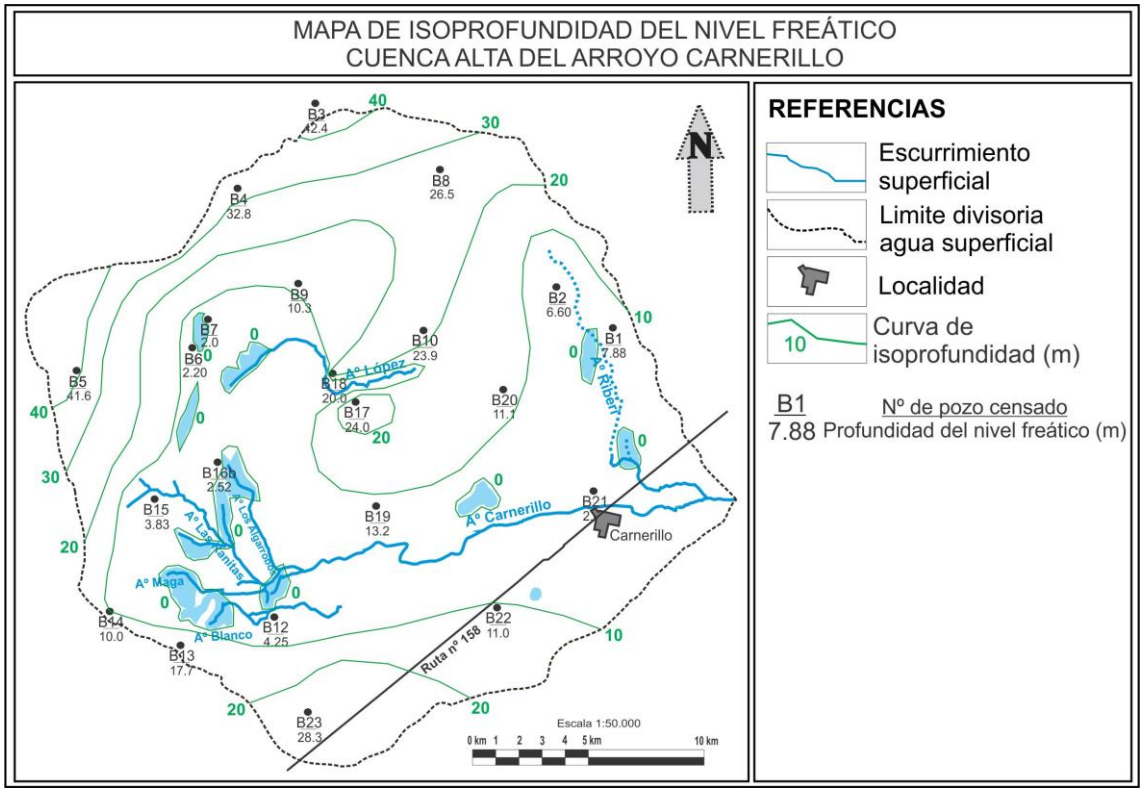


Figura 8. Mapa de isoprofundidad del nivel freático

CALIDAD Y APTITUD DE USO DEL RECURSO HÍDRICO

En la zona de estudio, los valores de conductividad eléctrica (CE) se encuentran comprendidos entre 804 a 3.520 μS/cm. La mayoría de las muestras se corresponden con aguas dulces (SDT menor a 2.000 mg/L) a excepción de una (B_{21}) que presenta un carácter salobre (SDT entre 2.000 a 5.000 mg/L). En el mapa de Isosalinidad de la figura 9, se observa que existe en general un aumento de la salinidad en el sentido general de escurrimiento del flujo subterráneo. Los valores más altos se concentran en la zona central de la cuenca, más precisamente en las áreas deprimidas y también incrementan hacia el Este, a medida que se aproximan al cierre de la cuenca alta-media. Estos sectores se corresponden con zonas de descarga del acuífero libre (lagunas, arroyo Carnerillo) lo cual explica su enriquecimiento en sales, ya que reciben aguas que provienen desde las zonas de recarga y durante su recorrido incorporan sales en su composición química por contacto con los materiales del subsuelo. En las áreas deprimidas las altas concentraciones también están vinculadas a la ocurrencia de procesos de hidrohalomorfismo por ser sectores en donde el espesor de la zona no saturada es pequeño y el agua está sometida permanentemente a procesos de evaporación. Los bajos valores de salinidad están vinculados a zonas topográficamente elevadas cercanas a la divisoria de aguas que constituyen las áreas de recarga preferencial del acuífero libre. En el área bajo estudio el principal factor condicionante de los tenores salinos del agua del acuífero libre, son la morfología del relieve la que a su vez controla los sentidos de flujo y los trayectos recorridos (Milicich, 2010).

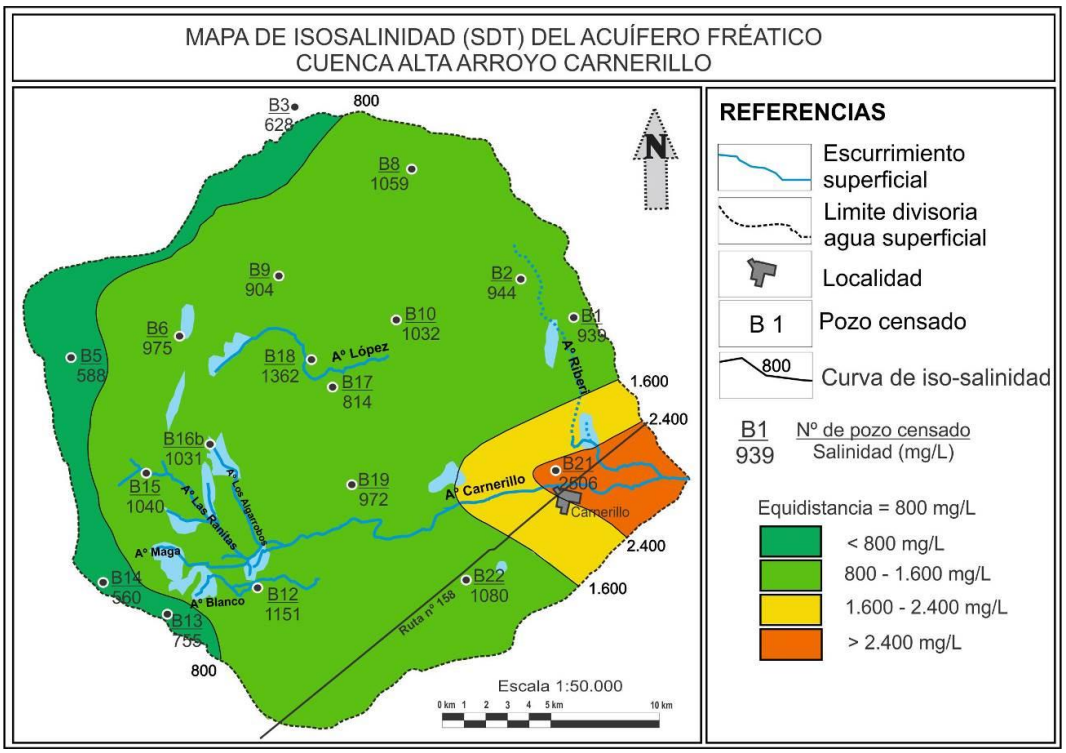


Figura 9. Mapa de Isosalinidad del acuífero freático.

La calidad química del agua subterránea cambia durante su circulación en los sedimentos o rocas, dependiendo de factores tales como los minerales con los que entra en contacto, las condiciones de presión y temperatura y el tiempo disponible para que los minerales y el agua reaccionen (Blarasin et al., 2003). Los procesos naturales de evolución de agua en un acuífero incorporan elementos en solución que, al encontrarse por encima de los límites de aptitud establecidos, tornan al agua tóxica para algunos usos. La presencia de arsénico y flúor, en las aguas subterráneas de la llanura Chaco-Pampeana, derivan de procesos naturales y se asocian al tipo de minerales que constituyen el acuífero (materiales eólicos, con importante cantidad de vidrio volcánico).

En función de lo expuesto se tomaron del área de trabajo muestras de 19 perforaciones en las que se extrajo agua de los primeros 20 metros del acuífero freático, a las que se les realizaron análisis químico de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas. En función de los resultados obtenidos se determinó el aspecto utilitario del recurso hídrico subterráneo, calificándolo respecto a su aptitud para consumo humano, ganadero y riego. Se tomaron como base las clasificaciones que se muestran en el Anexo, para consumo humano el Código Alimentario Argentino (CAA) y para ganadería, la clasificación de Bavera (2001). Para riego, se utilizo la clasificación de FAO (Ayers y Westcott) que se considera mas adecuada dado que tiene en cuenta que aguas de muy baja salinidad (por debajo de 200 μS/cm) puede originar problemas de infiltración debido a que tiende a lavar las sales solubles del suelo especialmente el calcio. Sin embargo, se presenta también la clasificación para riego de Riverside (Richards, 1954) porque es muy usada en el país aunque el riesgo de sodificación en función de la salinidad del agua es considerado en forma inversa. Se advierte finalmente, que para riego es necesario además, la clasificación atinente al propio suelo y su aptitud para ser regado, aspecto que escapa a este estudio. Es de importancia además contar con los caudales necesarios para esta actividad, que quedan definidos por las características propias el acuífero y por el diseño de las futuras perforaciones.

Para consumo humano, el agua captada del acuífero freático resultó en un 100% no apta por sobrepasar los límites admisibles del CAA. Del total de las muestras no aptas, el 94,74 % es por sobrepasar los límites admisibles del CAA para As y el 100 % por sobrepasar el límite de F^- (Límites para As = 10 µg/L y para F^- = 1,3 mg/L) respectivamente (Figura 10). Se suman en un 5,26 % la restricción por salinidad y SO_4^{-2}, en un 47,36 % por sobrepasar además el límite de NO_3^- (de 45 mg/L). En general las muestras más dulces, vinculadas a zonas topográficamente elevadas cercanas a la divisoria de aguas, que representan áreas de recarga preferencial, quedan restringidas por el contenido de As y F^- fundamentalmente.

En el mapa de la figura 11 se observa la distribución de aptitud para consumo humano del acuífero freático de la zona de estudio.

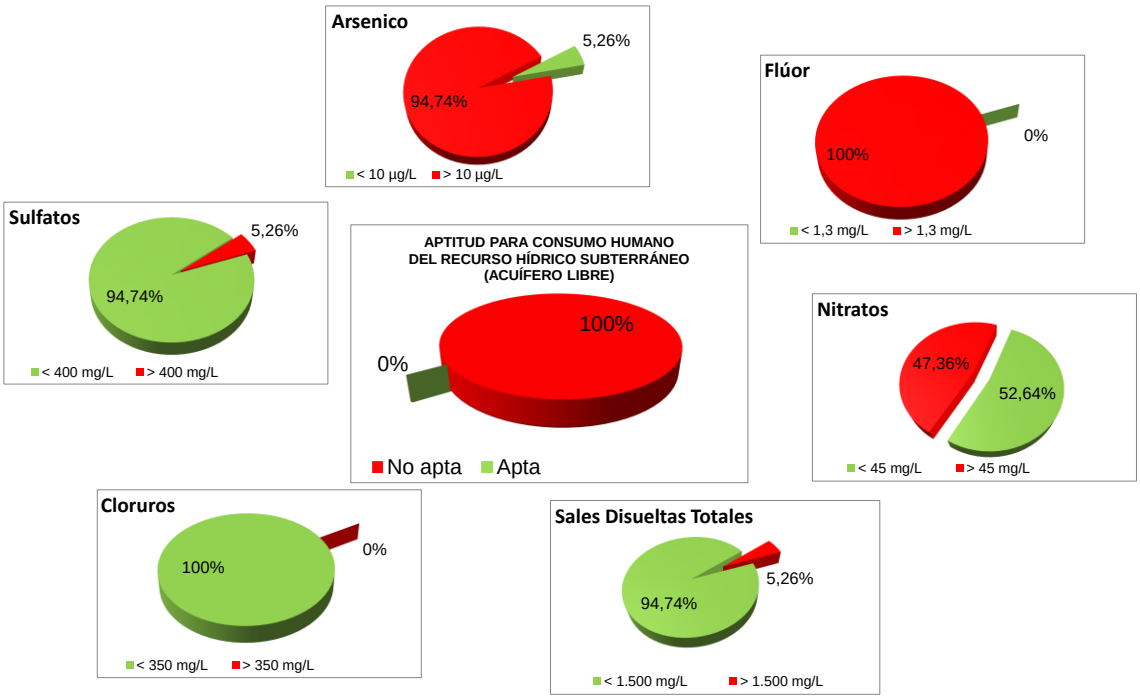


Figura 10: Diagrama con porcentajes del agua del acuífero freático para consumo humano.

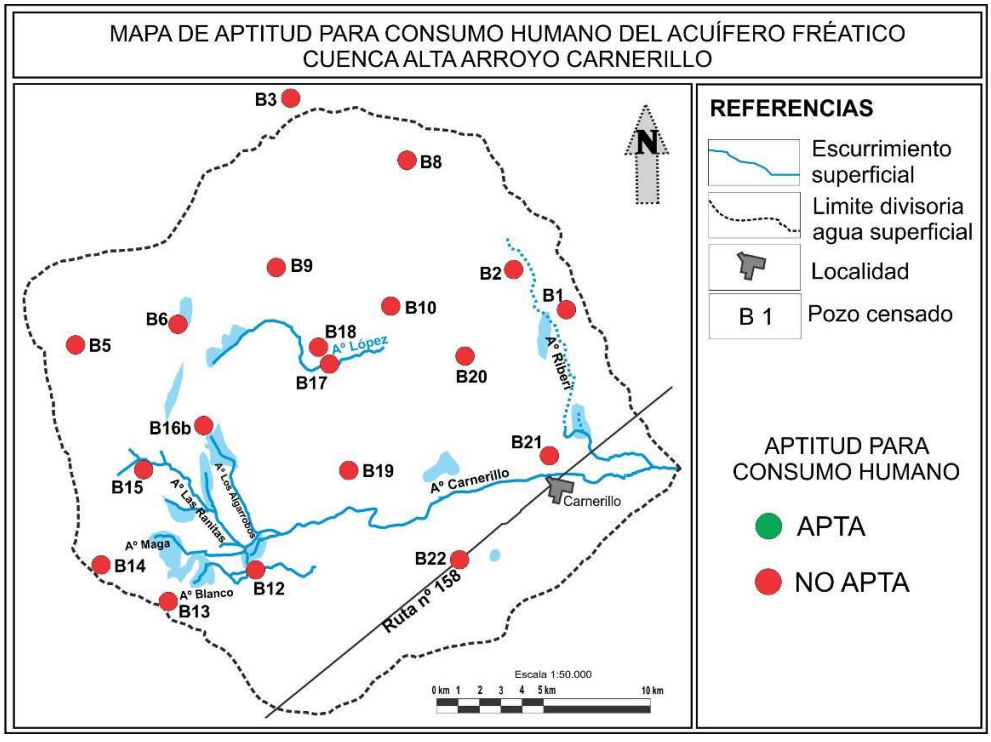


Figura 11: Mapa de aptitud de uso para consumo humano. Acuífero freático.

La clasificación para uso ganadero permitió establecer que del total de muestras extraídas del **acuífero freático**, un 5,26 % son satisfactorias para ganado bovino de cría y muy

buenas para bovinos de tambo e inverne (por presentar una salinidad inferior a 1g/L), un 10,52 % resultaron muy buenas y buenas respectivamente, ya que al tener mayor salinidad que en el caso anterior (entre 1 y 2 g/L) permite mejor engorde y en un 21,05 % son buenas y aceptables respectivamente (con SDT mayores, entre 2 y 4 g/L). El 63,15 % son deficientes en sales para el ganado, lo que obliga a la implementación de un suplemento mineral en su alimentación; mientras que un 57,89 % resultaron tóxicas, por los niveles de As superiores a 150 μg/L (Figura 12). En el mapa de la figura 13 se observa la distribución de aptitud del agua del acuífero freático para consumo ganadero.

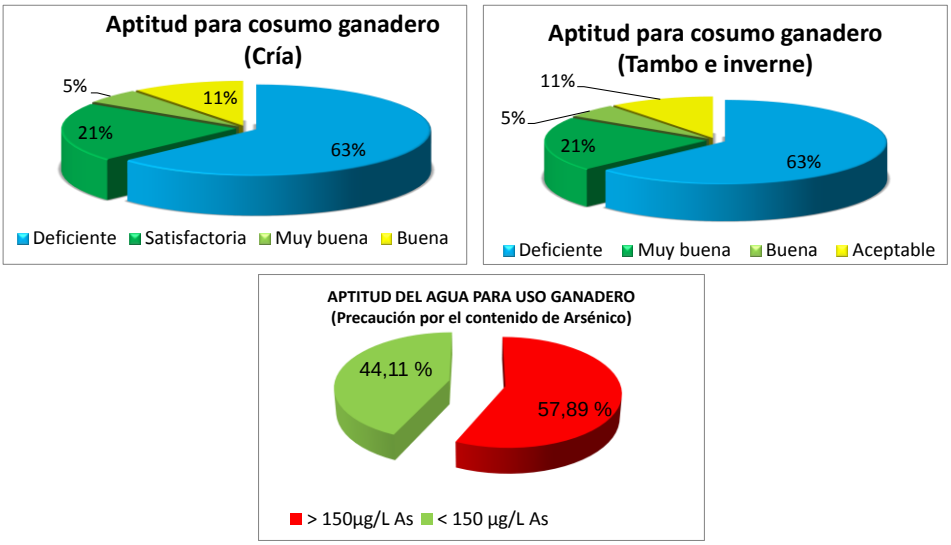


Figura 12. Aptitud del agua del acuífero libre para consumo ganadero A- Cría. B- Tambo e Inverne.

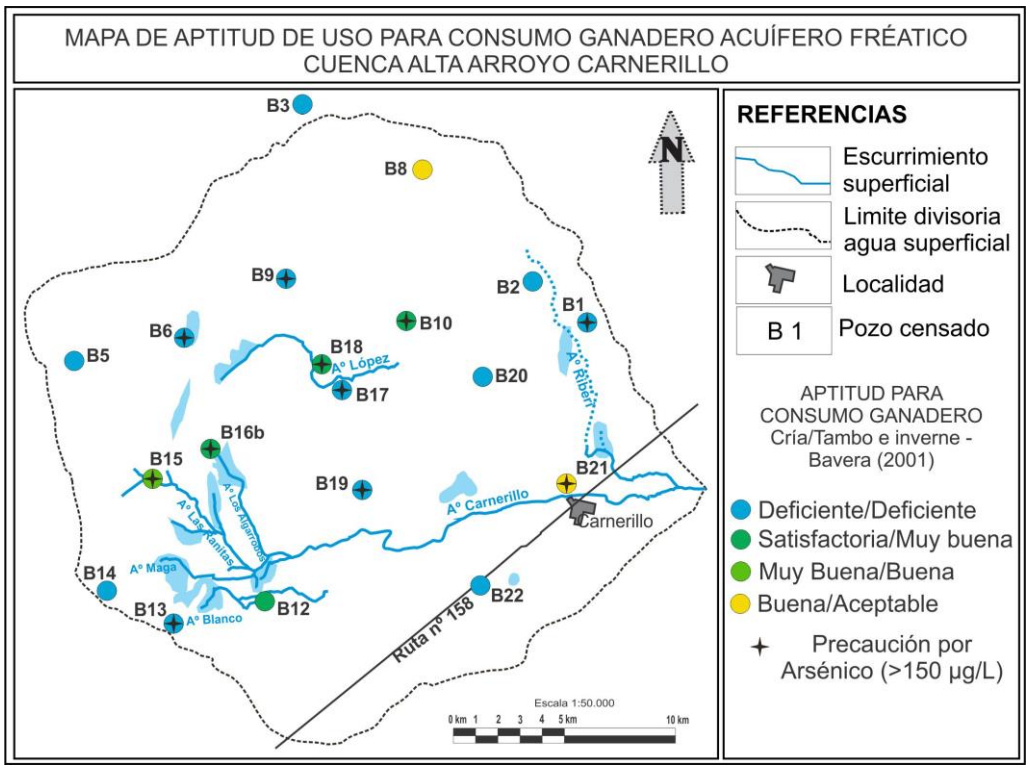


Figura 13. Mapa de aptitud de uso para consumo ganadero del agua del acuífero freático.

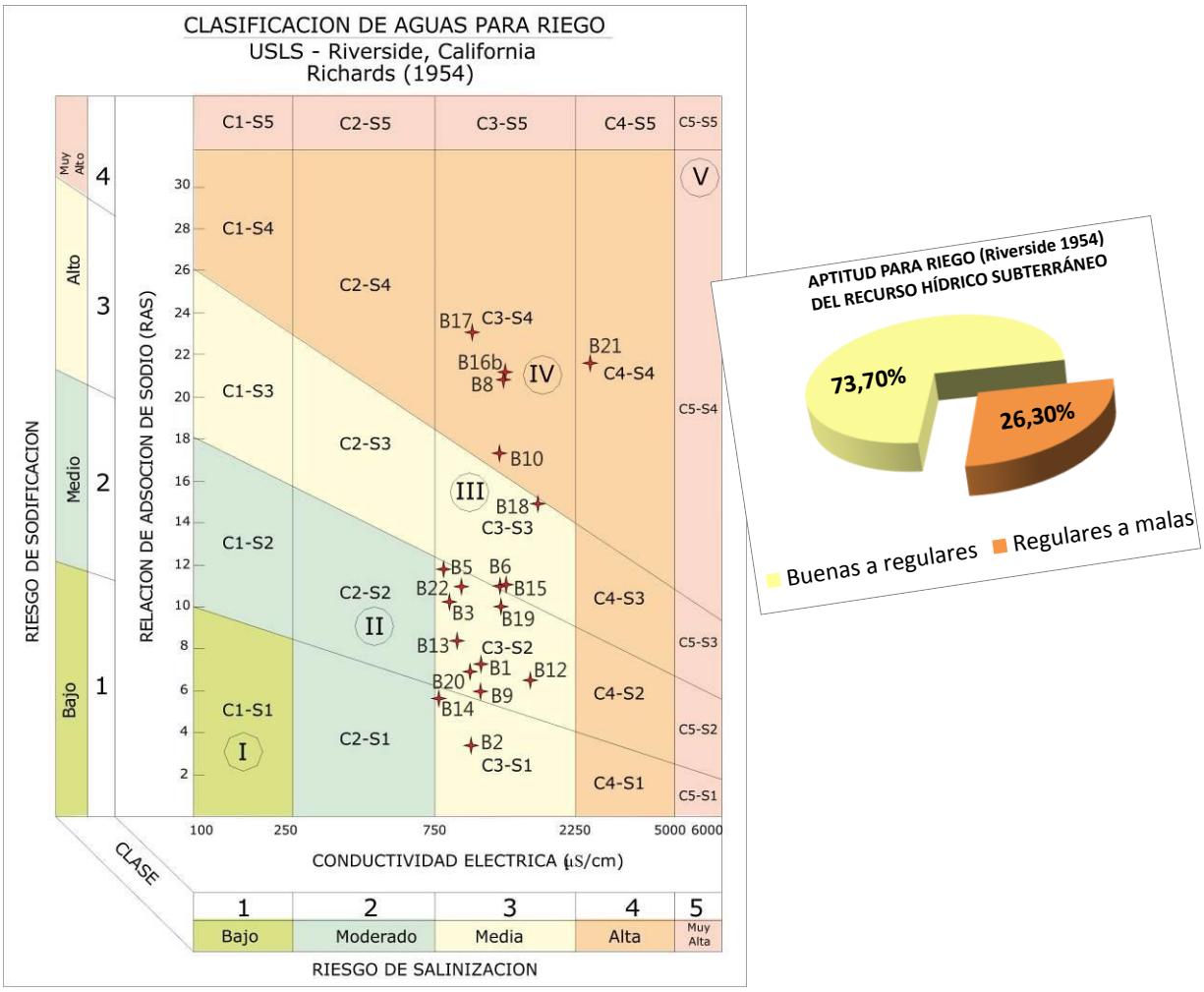


Figura 14: Diagrama de clasificación para riego, según Riverside.

Para riego, el agua del acuífero freático resulto, según Riverside (Richards, 1954), en un 73,68 % con una aptitud buena a regular, es decir con peligrosidad salina media y de media a alta peligrosidad sódica y el 26,31 % restante es una agua de regular a mala, por su peligrosidad salina de media alta y peligrosidad sódica de media a muy alta (Figura 14).

Si se clasifica el agua del acuífero freático para riego según FAO, 78,95 % resultó apta con ligeras restricciones y en un 21,05 % no apta con restricciones severas de salinización y pérdida de infiltración (Figura 15). En el mapa de la figura 16 se observa la distribución de aptitud según FAO.

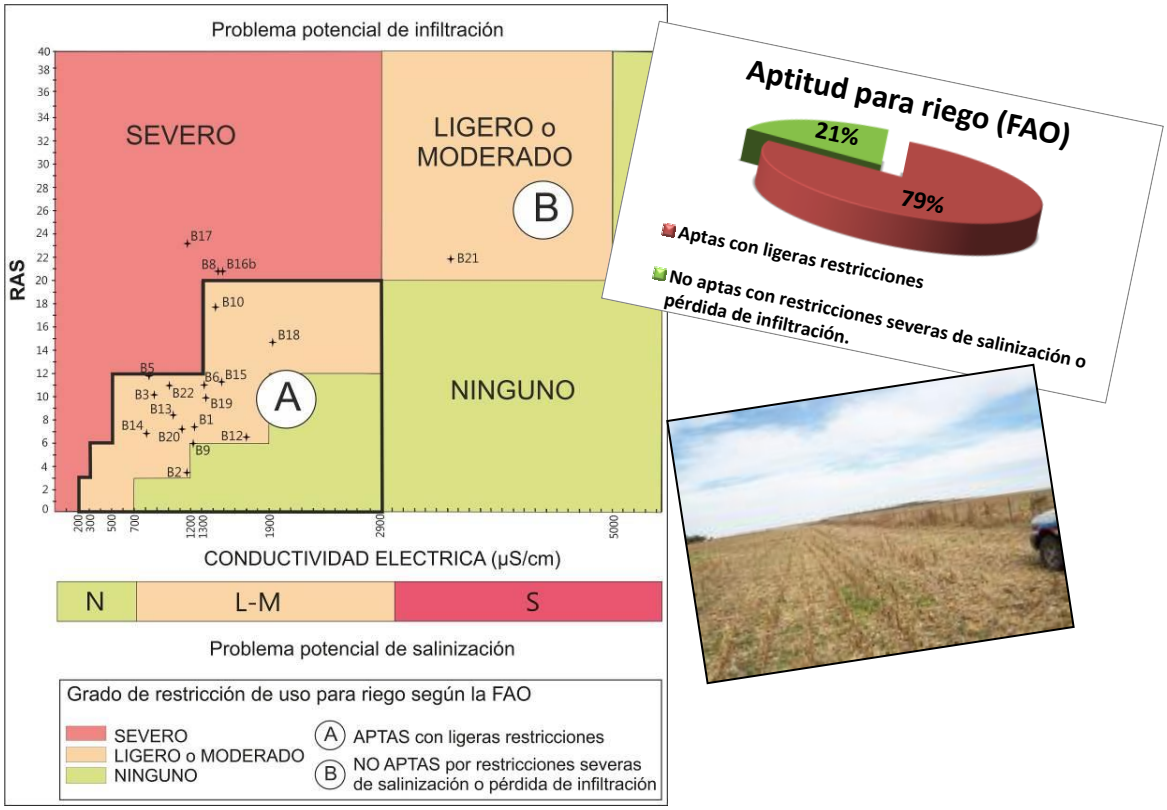


Figura 15: Diagrama de clasificación para riego, según FAO.

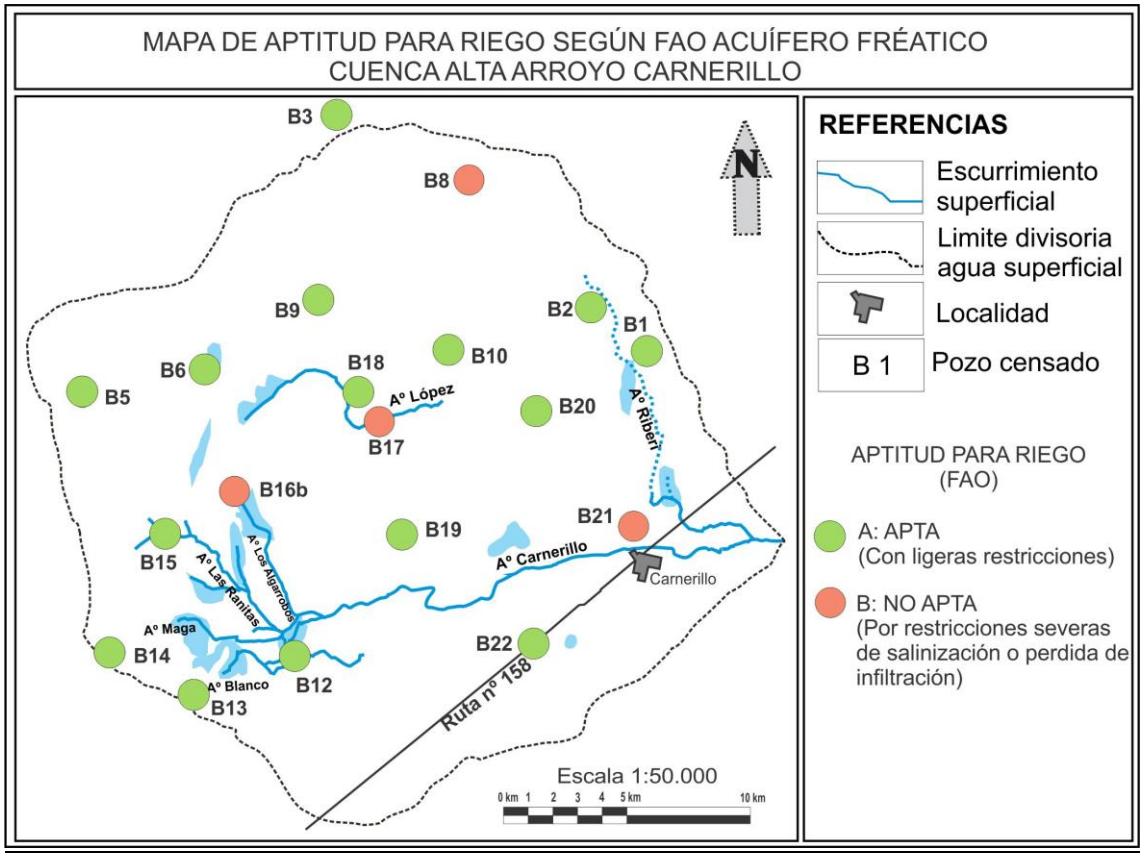


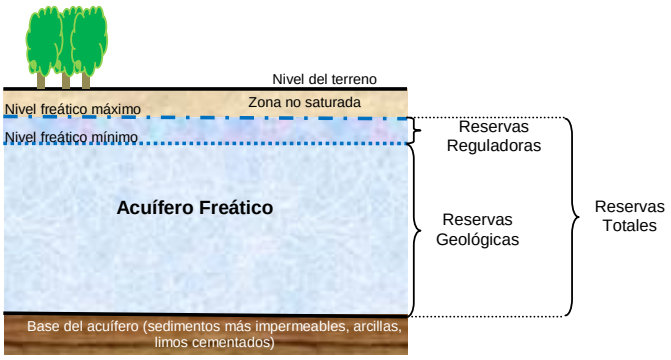
Figura 16: Mapa de aptitud para riego, según FAO. Acuífero freático.

CÁLCULO DE RESERVAS

Evaluar la disponibilidad del recurso hídrico de los sistemas acuíferos (freático y confinados) en una zona, a través del cálculo de las reservas (volumen de agua disponible), se constituye en un aspecto muy importante, pudiéndose determinar y cuantificar el nivel de explotación de los mismos con fines de cubrir los requerimientos de agua y establecer pautas para su explotación para distintos fines. Al calcular reservas de un acuífero se está estimando la totalidad de agua movilizable existente en el mismo y pueden evaluarse reservas de aguas dulces o bien de aguas aptas para un determinado fin.

a) En un **acuífero freático**, la escuela francesa cuantifica las reservas en:

Reservas Reguladoras, Generadoras o Fluctuantes: cantidad de agua libre almacenada en el acuífero en el transcurso de una recarga importante por medio de la alimentación natural. Sufren por consiguiente las consecuencias del ritmo estacional o interanual de las precipitaciones y están en estrecha relación con las variaciones del nivel piezométrico. Su cálculo se realiza a través de la ecuación 1.



$$\textbf{Reservas Reguladoras} = \textbf{A . h . pe}_1 \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde

A: área abarcada por el acuífero estudiado

H: diferencia entre nivel freático mínimo y máximo

pe_1: porosidad eficaz del acuífero (equivalente a su coeficiente de almacenamiento -S-).

Reservas Geológicas, Permanentes o Seculares: cantidad de agua extraíble de un acuífero pero que se encuentran entre el nivel estático mínimo y el piso del acuífero (espesor mínimo - $e_{mín-}$) y por lo tanto permiten una explotación más importante, si bien se debe tratar de no extraerlas en su totalidad. Su cálculo se realiza a través de la ecuación 2.

$$\textbf{Reservas Geológicas} = \textbf{A . e}_{\textbf{mín}} \textbf{ . pe}_1 \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Reservas Totales: suma de las reservas reguladoras (RR) y geológicas (RG).

Reservas de Explotación: constituyen la cantidad máxima de agua que podría ser explotada del acuífero sin riesgos de perjuicios, están constituidas por las reservas reguladoras más una parte de las permanentes. Éstas se definen no sólo con criterio hidrogeológico (factores técnicos) sino también en función de factores socio-políticos y económicos.

CALCULO DE RESERVAS DE AGUA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Dado que la mayoría de las actividades que se realizan en la cuenca utilizan el agua procedente del acuífero freático, se consideró de interés calcular RESERVAS para este acuífero.

Así, teniendo en cuenta el área estudiada, (A= 560 Km^2), el espesor medio entre los niveles estáticos mínimo y máximo del acuífero (h= 100 cm anuales) y la porosidad eficaz (pe_1= 5 %) se obtuvo como resultado un valor medio de **Reserva Reguladora** del orden de **28** Hm^3/año. Teniendo en cuenta un espesor de acuífero que varía entre 0 y 80 m, se estimaron las **Reservas Geológicas** que resultaron del orden de los **2.240** Hm^3. Así, las **RESERVAS TOTALES**, es decir la totalidad de agua libre contenida en el acuífero freático, alcanzan en promedio lo **2268** Hm^3.

ANEXO

Tabla 1: Clasificación del agua del acuífero freático para consumo humano, ganadero y riego.

MUESTRAS	CONSUMO HUMANO	USO GANADERO			USO PARA RIEGO				
							RIVERSIDE		FAO
	Código Alimentario Argentino	SDT (mg/L)	Cría / Tambo e Inverne	As > 150µg/L	RAS	CE (µS/cm)	CLASIF.	APTITUD	APTITUD
B1	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	938	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	7,3	1228	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B2	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	943	DEFICIENTE / DEFICIENTE		3,6	1181	C3-S1	BUENA A REGULAR	APTA
B3	NO APTA (F^-)	627	DEFICIENTE / DEFICIENTE		10,2	871	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B5	NO APTA (As y F^-)	588	DEFICIENTE / DEFICIENTE		11,9	818	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B6	NO APTA (As y F^-)	975	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	11	1308	C3-S3	BUENA A REGULAR	APTA
B8	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	1.059	BUENA / ACEPTABLE		20,8	1435	C3-S4	REGULAR A MALA	NO APTA
B9	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	903	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	6	1210	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B10	NO APTA (As y F^-)	1.031	SATISFACTORIA / MUY BUENA	★	17,7	1408	C3-S4	REGULAR A MALA	APTA
B12	NO APTA (As y F^-)	1.150	SATISFACTORIA / MUY BUENA		6,6	1701	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B13	NO APTA (As y F^-)	755	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	8,3	1030	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B14	NO APTA (As y F^-)	560	DEFICIENTE / DEFICIENTE		5,8	804	C3-S1	BUENA A REGULAR	APTA
B15	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	1.039	MUY BUENA / BUENA	★	11,2	1480	C3-S3	BUENA A REGULAR	APTA
B16b	NO APTA (As y F^-)	1.031	SATISFACTORIA / MUY BUENA	★	20,9	1490	C3-S4	REGULAR A MALA	NO APTA
B17	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	814	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	23,3	1190	C3-S4	REGULAR A MALA	NO APTA
B18	NO APTA (As y F^-)	1.361	SATISFACTORIA / MUY BUENA	★	14,7	1925	C3-S3	BUENA A REGULAR	APTA
B19	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	971	DEFICIENTE / DEFICIENTE	★	9,9	1338	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B20	NO APTA (As, F^- y NO_3^-)	786	DEFICIENTE / DEFICIENTE		7,2	1115	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA
B21	NO APTA (SDT, SO_4^{-2}, As, F^- y NO_3^-)	2.506	BUENA / ACEPTABLE	★	21,8	3520	C4-S4	REGULAR A MALA	NO APTA
B22	NO APTA (As y F^-)	728	DEFICIENTE / DEFICIENTE		11	1080	C3-S2	BUENA A REGULAR	APTA

LIMITES DE APTITUD ADMITIDOS PARA CONSUMO HUMANO

(Código Alimentario Argentino,CAA)

* **Arsénico:** 10 μg/L
* **Fluoruros:** 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16 ºC).
* **Nitratos:** 45 mg/L
* **Sulfatos:** 400 mg/L
* **Cloruros:** 350 mg/L
* **Sales Disueltas Totales:** 1.500 mg/L

La ***Secretaria de Recursos Hídricos de Córdoba***, establece para ***Arsénico***, hasta tanto se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06):
a) límite ideal= 10 μg/L,
b) límite aceptable= 50 μg/L
c) límite tolerable= 100 μg/L.

REFERENCIAS GEOQUÍMICAS

CO_3^{-2}= Carbonatos; HCO_3^-= Bicarbonatos; SO_4^{-2}= Sulfatos; Cl^-= Cloruros; Na^+= Sodio; K^+= Potasio; Ca^{+2}= Calcio; Mg^{+2}= Magnesio; As= Arsénico; F^-= Flúor; NO_3^-= Nitrato

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA GANADERÍA

(Bavera 2001)

Tambo e Inverne	SDT	ClNa	SO_4^{-2}	Mg^{2+}	NO_3^-
Deficiente	< 1 g/L	---	---	---	---
Muy Buena	> 1 g/L	0,6 g/L	0,5 g/L	0,20 g/L	0,05 g/L
Buena	Hasta = 2 g/L	1,2 g/L	1,0 g/L	0,25 g/L	0,20 g/L
Aceptable	Hasta = 4 g/L	2,4 g/L	1,5 g/L	0,30 g/L	0,30 g/L
Mala Usable	Hasta = 7 g/L	4,2 g/L	2,5 g/L	0,40 g/L	0,40 g/L
----	Hasta = 11 g/L	6,6 g/L	4,0 g/L	0,50 g/L	0,50 g/L
----	Hasta = 13 g/L	10,0 g/L	7,0 g/L	0,60 g/L	---
Se debe tener en cuenta que los tenores de Arsénico no sean superiores a 150 μg/L y que los contenidos de Flúor no superen los 16 mg/L, ya que causan toxicidad.					

CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO - SEGÚN RIVERSIDE

(Diagrama de USLS. Modificado por Richards L.A. 1954)

Clase	Aptitud	Peligrosidad Salina y Sódica
I	Excelente	C1-S1
II	Buena	C1-S2, C2-S2, C2-S1
III	Buena a Regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3
IV	Regular a Mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4
V	Inapropiada	CE mayor a 5.000 μS/cm y Ras mayor a 30

CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO - SEGÚN FAO

(Ayer y Westcot, 1985)

GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO			
	NINGUNO	LIGERO O MODERADO	SEVERO
Problema potencial: SALINIDAD			
CE (μS/cm)	<700	700 - 3.000	>3.000
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y CE=	>700	700 - 200	<200
RAS entre 3 y 6 y CE=	>1.200	1.200 - 300	<300
RAS entre 6 y 12 y CE=	>1.900	1.900 - 500	<500
RAS entre 12 y 20 y CE=	>2.900	2.900 - 1.300	<1.300
RAS entre 20 y 40 y CE=	>5.000	5.000 - 2.900	<2.900

Importante: Para riego, la aptitud de uso del agua debe ser complementada con la aptitud de riego de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

Ayers, R.S. y Wetscot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper 29 Rev. 1, Roma, 174 p.

Bavera, G. A., 2001. Manual de Aguas y Aguadas para el ganado. Editorial Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.

Blarasin, M., 2003. Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.

Blarasin, M., Degiovanni S., A. Cabrera y M. Villegas, 2005 "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental". ISBN 950-665-350-141-152. Ed. UNRC.

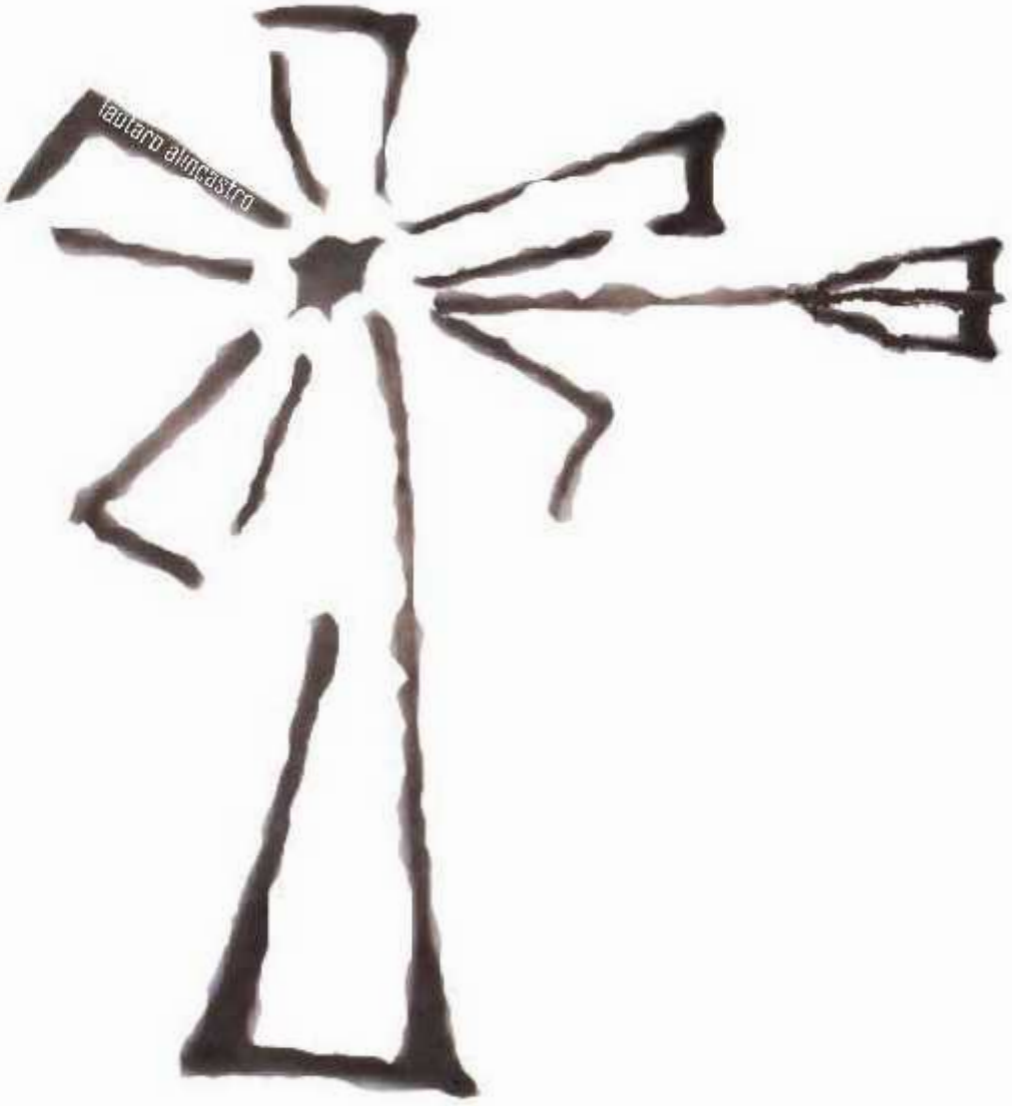
Cantú, M., 1992. "El Holoceno en la provincia de córdoba". Holoceno de la República Argentina. Tomo I. Cadinqua. M. Iriondo Ed. Pp. 1-16. Paraná. Argentina.

Código Alimentario Argentino, 1994. Res. 494/94. Boletín Oficial Nº 27.932, 1º sección. Art. 982 modificado.

Milicich E. 2010. Incidencia de factores geológicos y de uso del territorio en la hidrogeoquímica del acuífero freático en la cuenca alta del arroyo Carnerillo, Córdoba. Tesis Licenciatura. Inédita 152 pág.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.

Riverside, 1954. U.S.Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Departament of Agriculture Handbook Nº 60. Washington.


lautaro almagro

EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA SOCIEDAD CORDOBESA

Los "Cuadernos de Aguas subterráneas" son una colección de escritos pensada para mostrar a la sociedad aspectos vinculados a la dinámica, calidad y edad del agua subterránea, su relación con las aguas atmosféricas y superficiales e incluso con las actividades que desarrollan las personas. Los Cuadernos se estructuraron en un conjunto de 3 series, técnica, científica y didáctica, a las que se les colocaron nombres con vocablos del lenguaje mapuche-ranquel en honor a los pueblos originarios que habitaron parte de la provincia de Córdoba.

La Serie técnica (*"Keipünentum"-sacar algo escarbando-*) está dedicada a aspectos vinculados al "Uso y Manejo de aguas subterráneas", por lo que la principal temática a abordar en los diferentes números de la misma será aquella vinculada a las aptitudes de uso de aguas subterráneas para actividades industriales, consumo humano, riego, ganadería y otro tipo de emprendimientos. También incluirá técnicas de manejo como el drenaje de acuíferos, cálculo de perímetros de protección, remediación de acuíferos contaminados o técnicas de perforación y diseño de captaciones.

La serie científica (*"Katarumen"-perforar algo hasta traspasarlo-*) estará dedicada a la presentación de aspectos básicos del conocimiento científico de la geología, hidrometeorología, hidráulica, geoquímica, modelación numérica, química isotópica, contaminación, entre otros, que contribuyen al conocimiento más acabado del funcionamiento de los acuíferos, siempre con una mirada que sea de utilidad para solucionar los problemas de aguas subterráneas de la provincia e incluso el país.

Finalmente, la serie didáctica (*"Aucantun-ko" -jugar , agua-*) tiene como finalidad primordial realizar la transposición didáctica, es decir transmitir el conocimiento científico a niños y jóvenes a través de su adaptación, en algunos casos realizando simplificaciones adecuadas a diferentes edades y desarrollos intelectuales. En este caso el material puede servir de apoyo para el trabajo de los docentes.

El emprendimiento ha sido posible gracias al apoyo brindado por MINCYT (Ministerio de Ciencia y Técnica de la Provincia de Córdoba y FONCYT (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Presidencia de la Nación) que financian el *proyecto PID 35/08: "Dinámica, calidad y reservas de aguas subterráneas de la provincia de córdoba: potencialidad para usos productivos y sociales"*. En el proyecto intervienen docentes, profesionales e investigadores de diferentes Universidades y Organismos radicados en la provincia de Córdoba y vinculados al agua de diferentes modos (gestión, investigación, uso, etc.).

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Ministerio de CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FONCYT FONDO PARA LA INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA

UNRC