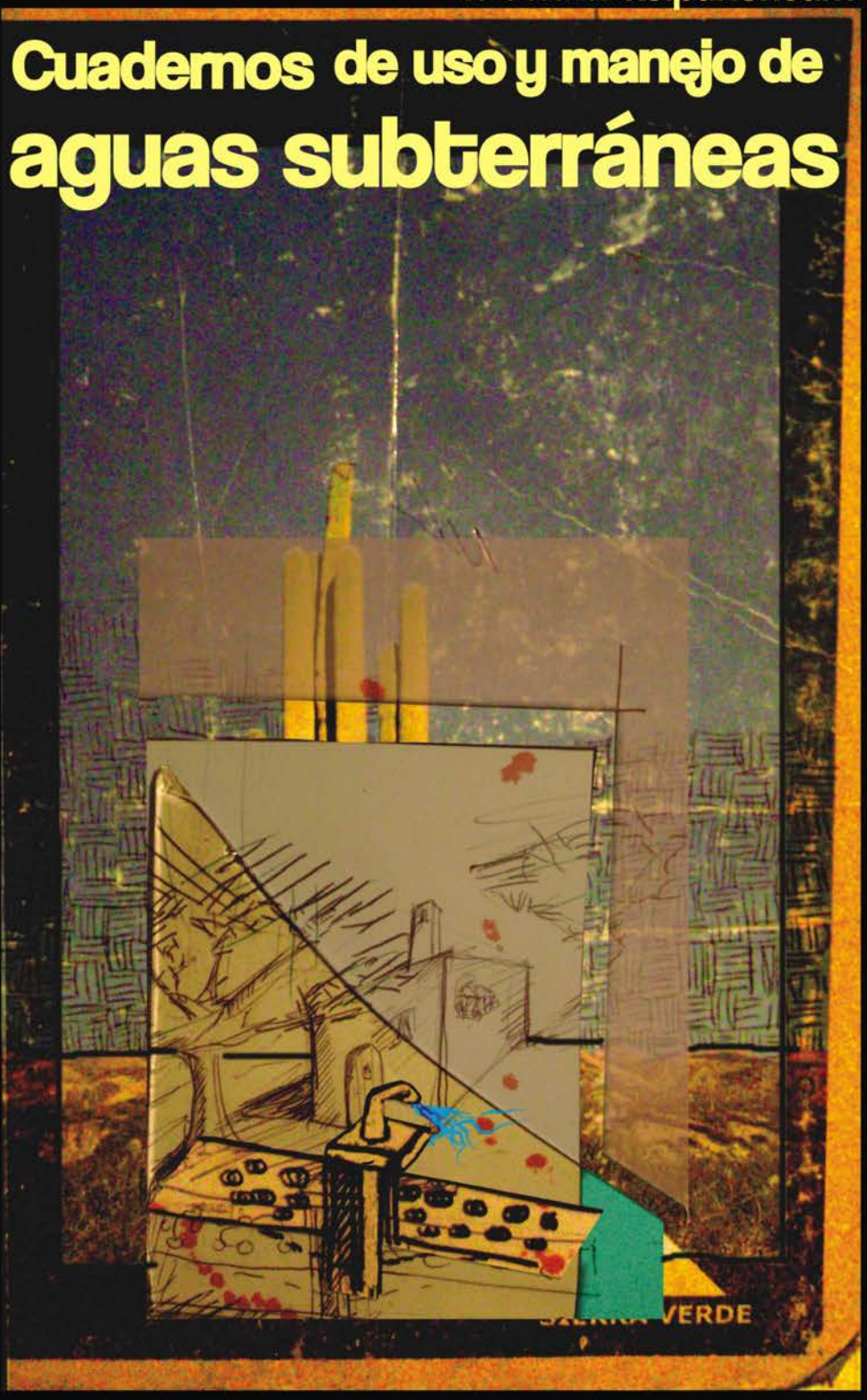
e-book
ISBN 978-950-665-707-9
serie técnica keipünentum

Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas



Diseño: lautaro alincastro

2 SAN BASILIO - LA BRIANZA

Aptitudes de uso del acuífero freático

Adriana Cabrera, Mónica Blarasin, Juan Felizzia

UniRío editora

Cabrera, Adriana
Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas : 2 . San Basilio - La Brianza. Aptitudes de uso del acuífero freático / Adriana Cabrera ; Mónica Blarasin ; Juan Felizzia. - 1a ed. - Río Cuarto : Universidad Nacional de Río Cuarto, 2012.
E-Book.

ISBN 978-950-665-707-9

1. Geología. 2. Aguas Subterráneas. I. Blarasin, Mónica II. Felizzia, Juan III. Título
CDD 551

Fecha de catalogación: 19/11/2012

Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas
2 . San Basilio - La Brianza. Aptitudes de uso del acuífero freático
Adriana Cabrera, Monica Blarasin y Juan Felizzia

2012 © by Adriana Cabrera, Monica Blarasin y Juan Felizzia

2012 © by 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 978-950-665-707-9

Primera Edición: *Diciembre de 2012*

Diseño de Tapa: Lautaro Alincastro

Diseño y Diagramación: Luciana Maldonado
Fátima Noelia Bécher Quinodóz

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. Florencia Granato y Prof. Mónica Ré

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

Facultad de Ciencias Humanas
Prof. Silvina Barroso

Facultad de Ingeniería
Prof. Marcelo Gioda y Prof. Jorge Vicario

Biblioteca Central Juan Filloy
Lic.Irma Milanesio y Bibl. Claudia Rodríguez

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*

Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas

-2- SAN BASILIO - LA BRIANZA

Aptitudes de uso del acuífero freático y de los sistemas acuíferos confinados

A. Cabrera, Blarasin M., y J. Felizzia

INDICE

Introducción, ubicación y características del área. 4

Objetivos 5

Geología y Relieve 5

Hidrogeología 7

- Dinámica del agua subterránea 7

Calidad y Aptitud de uso del agua subterránea 9

- Consumo Humano 10
- Consumo Ganadero 12
- Riego 13

Sistema de acuíferos confinados 15

- Consumo Humano 15
- Consumo Ganadero 17
- Riego 18

Cálculo de Reservas 19

- Cálculo de Reservas en la zona estudiada 21

Anexos

- Tabla de Aptitud de uso para Consumo Humano, Ganadero y Riego, en el acuífero freático 22
- Tabla de Aptitud de uso para Consumo Humano, Ganadero y Riego, en acuíferos confinados 23
- Tablas de Clasificación de Aptitudes de Uso para Consumo Humano, Ganadero y Riego 24

Bibliografía 25

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 de Mincyt Córdoba, por su iniciativa y apoyo para la concreción del PID35/08, a la UNRC por el apoyo permanentemente brindado y a los habitantes de la región con los que interactuamos desde hace gran cantidad de años.

APTITUD DE USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE SAN BASILIO. CÓRDOBA. ARGENTINA

A. Cabrera,Blarasin M., y J. Felizzia

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

INTRODUCCIÓN, UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA.

La zona a la cual está dedicado este "Cuaderno de uso y manejo de aguas subterráneas" se ubica en la llanura Pampeana Argentina, al Sur de la provincia de Córdoba entre las coordenadas geográficas: 33º 14´y 33º 38´ latitud Sur y 64º 22´y 64º 00´ longitud Oeste. Es una extensa área rural que cubre una superficie de 1.216 Km^2 e incluye como centros poblacionales más importantes, a las localidades de San Basilio y La Brianza (Figura 1).

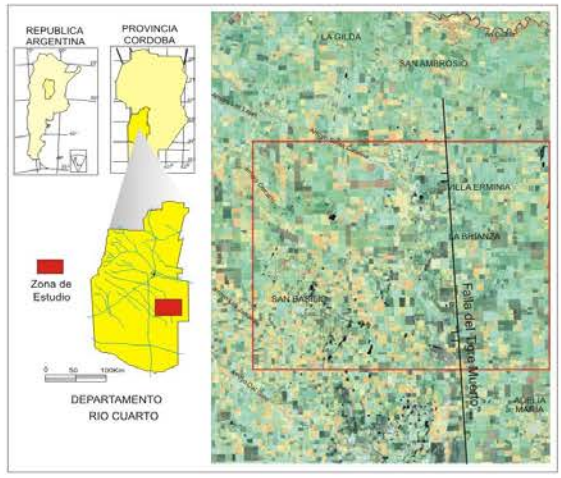


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

Las actividades socio-económicas más importantes que se desarrollan aquí son la agricultura y en forma subordinada, la ganadería (Figura 2). Para sustentar ambas actividades y para los restantes usos, los habitantes del área se abastecen exclusivamente del recurso hídrico subterráneo. El agua procedente del acuífero freático es la más importante ya que es la utilizada por la mayor parte de los habitantes rurales de la zona, aún desconociendo, en algunos casos, su calidad. El recurso hídrico procedente de acuíferos semiconfinados y confinados son los usados en el ámbito urbano de San Basilio y en algunas áreas rurales (especialmente para riego). Los antecedentes de la región (Cabrera, 1995 y 2009; Lema, 1999; Cabrera *et al.*, 2010) indican que algunos de los sistemas de acuíferos confinados poseen aguas termales.

Figura 2: Actividades desarrolladas en la zona.

El clima en la zona es mesotermal (temperatura media anual de 16,5 ºC), subhúmedo. La precipitación media anual es de 809 mm, de las cuales el 82 % se concentra en primavera-verano, coincidente con el período en el que se producen los mayores excesos hídricos, que provoca aumentos significativos del nivel freático (principalmente en sectores donde se encuentra próximo a la superficie), produciendo graves inconvenientes tanto en zonas rurales (anegamientos, cortes de caminos vecinales, etc.) como urbanas (inconvenientes en el funcionamiento de "pozos negros", colapsos, edilicios,etc.), figura 3.

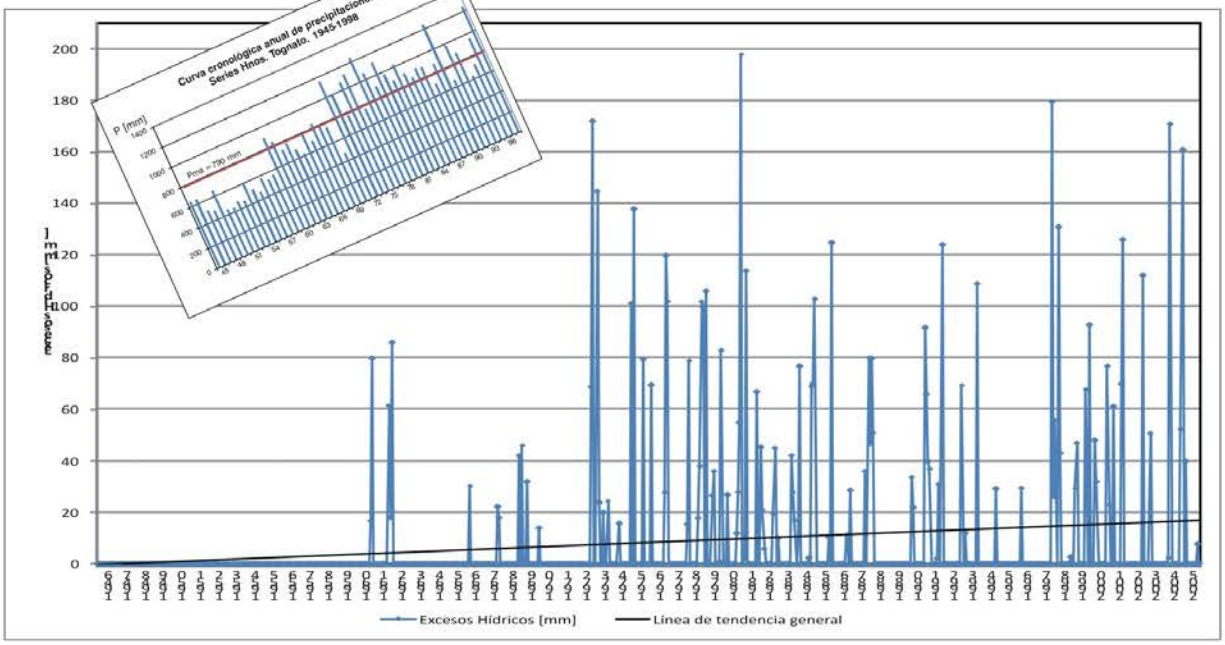


Figura 3: Curva cronologica anual de precipitaciones medias mensuales y Excesos Hidricos.

OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es presentar la aptitud de uso del agua subterránea que utiliza la población en la zona San Basilio - La Brianza, para diferentes actividades (consumo humano, ganadero, riego e industrial).

GEOLOGIA Y RELIEVE

El área se destaca por la presencia de una estructura geológica Norte-Sur, denominada "Falla Tigre Muerto" (figura 1), que excede el área de estudio, controla a lo largo de decenas de kilómetros al arroyo Santa Catalina y genera una incidencia notoria en el relieve y consecuentemente en la hidrología regional (Cabrera, 1995; Lema, 1999; Blarasin, 2003; Cabrera, 2009). Asociados a esta estructura se reconocen dos ambientes con características propias: a) el "Bloque hundido", al Oeste del área (figura 4), que presenta un relieve suavemente ondulado a plano y se caracteriza por la presencia de numerosas áreas anegables y lagunas permanentes y b) el "Bloque elevado", al Este, que presenta el aspecto de una gran loma, con flancos suavemente ondulados).

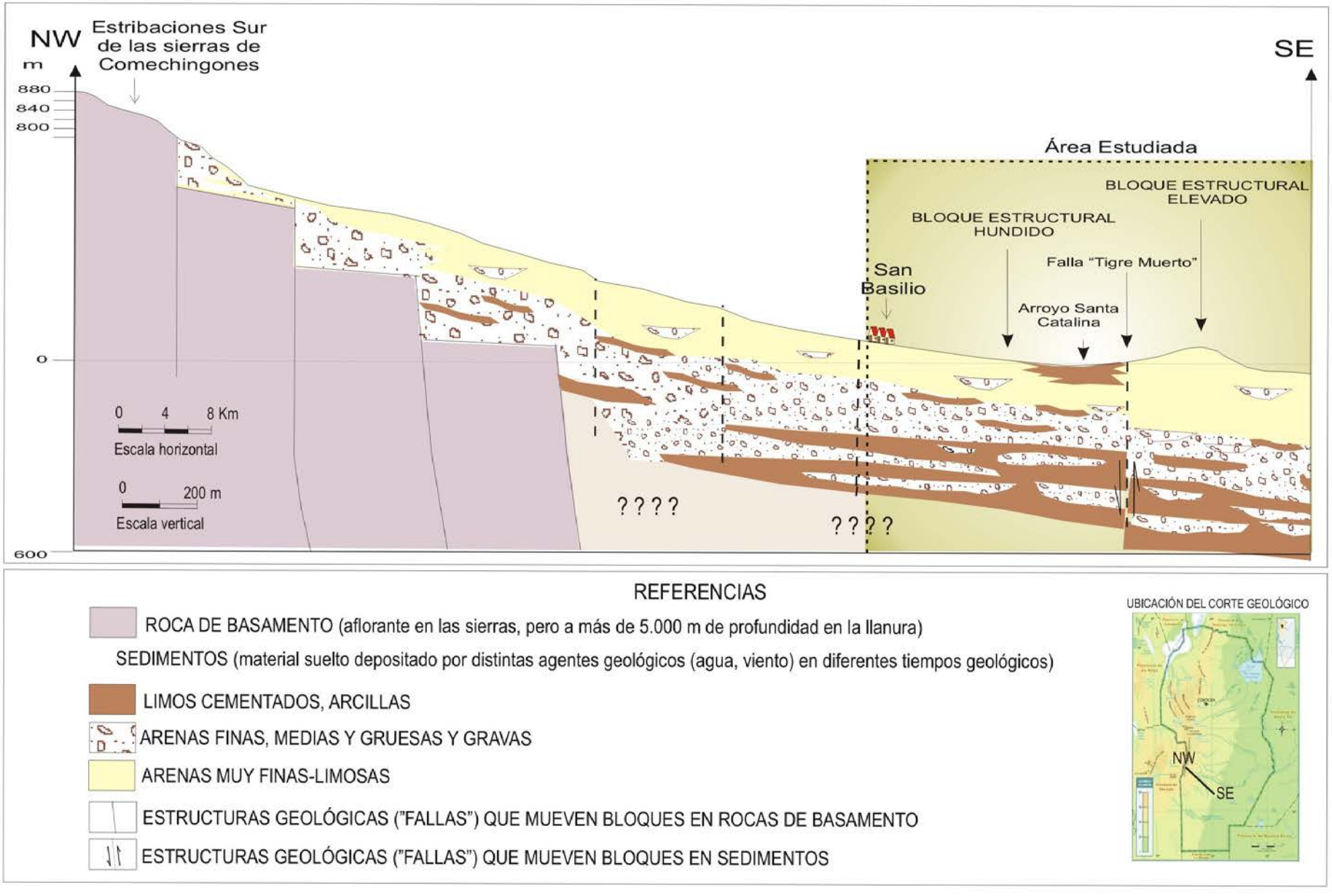


Figura 4: Zona de San Basilio - La Brianza en el marco del esquema geológico regional.

Los materiales dominantes en el subsuelo, en ambos bloques, y hasta aproximadamente los 80-100m de profundidad, son el típico loess pampeano, caracterizados por sedimentos muy finos de origen eólico (arenas muy finas limosas), intercalados con limos cementados (figuras 4 y 5). Por debajo de estos materiales (desde los 80-100 m y hasta los 120m de profundidad aprox.) se distinguen materiales muy finos (limos y limos arcillosos) cementados, y más profundo aún (hasta los 350m de profundidad aproximada), una alternancia de materiales gruesos (arenas y gravas) y capas de materiales finos altamente cementados y arcillosos.

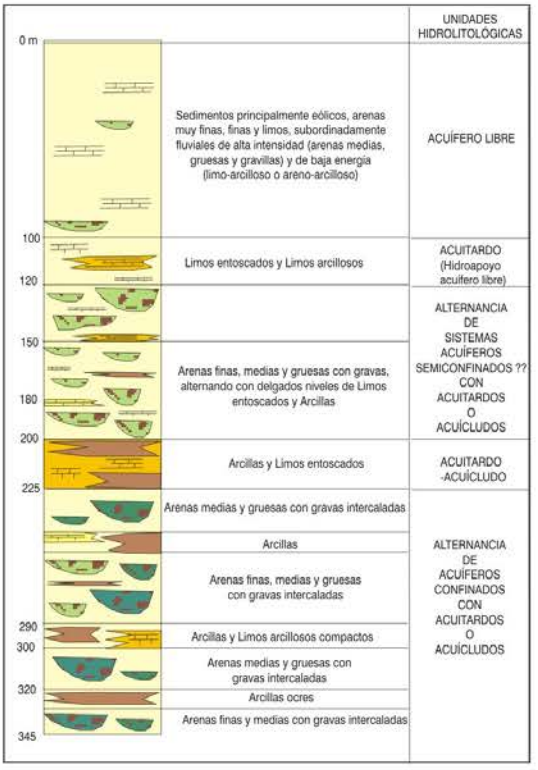


Figura 5. Perfil de los sedimentos del subsuelo. Zona de San Basilio - La Brianza.

HIDROGEOLOGIA

DINÁMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua en el acuífero freático, se aloja y circula en la porosidad interconectada de los sedimentos loéssicos (arenas muy finas limosas, figuras 4 y 5). Si bien las lluvias que caen en la zona son la principal fuente de recarga de agua a este acuífero, cabe destacar, la importancia como área de recarga preferencial, la cima del bloque elevado, la cual se constituye en área de divisoria de aguas tanto superficiales como subterráneas. El agua del acuífero freático, condicionada principalmente por la geología y el relieve posee sentido de circulación diferentes entre ambos bloques estructurales (figura 6 y 7).

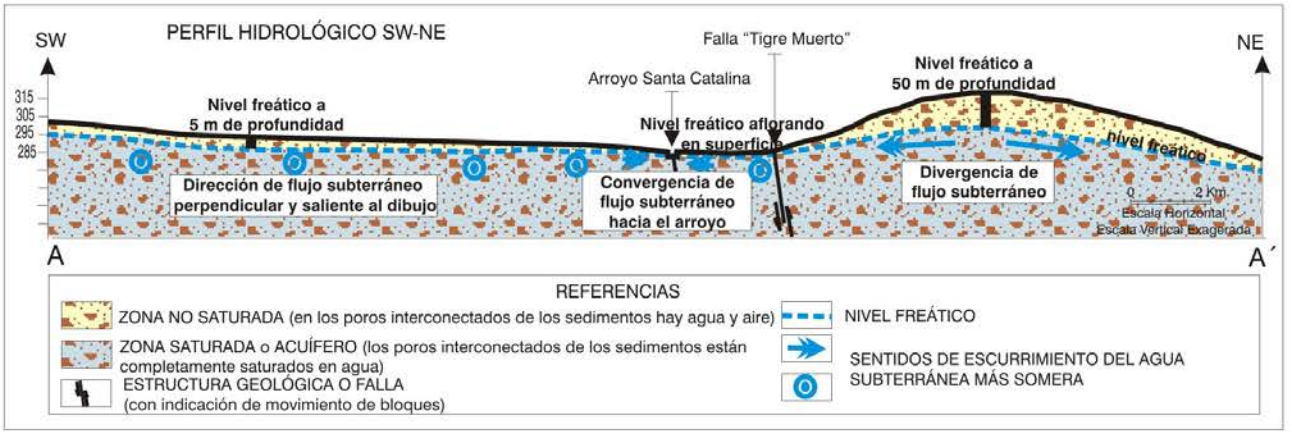


Figura 6: Perfil hidrogeológico de la Zona de San Basilio - La Brianza.

De este modo, en el bloque hundido, el flujo de agua subterránea es principalmente de Norte a Sur, mientras que en el bloque elevado posee dirección de circulación divergente a partir de la cima del mismo (figura 6). El nivel freático se encuentra a profundidades muy someras en el bloque hundido e incluso aflora en numerosos sitios determinando la formación de lagunas permanentes y bañados. Por el contrario en el bloque elevado se encuentra más profundo (hasta 50 m), alcanzando en la cima del bloque las mayores profundidades (figura 6 y 7). Los caudales de extracción son del orden de los 500 a 5.000 L/h.

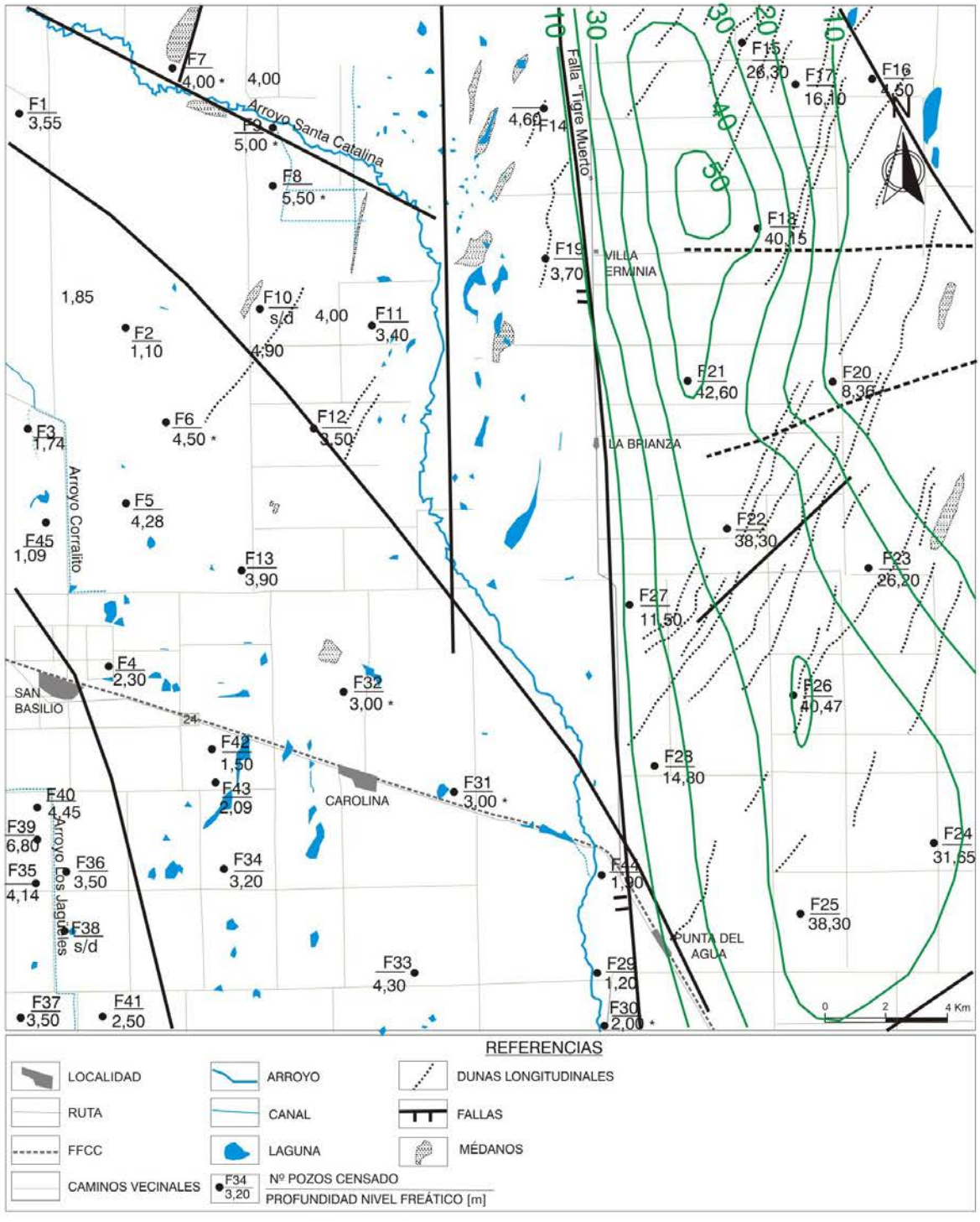


Figura 7. Dinámica del agua subterránea de la Zona de San Basilio - La Brianza.

El agua en los sistemas de acuíferos profundos, se aloja y circula por los sedimentos gruesos (arenas y gravas) que se encuentran a profundidades mayores a los 120 m, intercalados entre los materiales muy finos arcillosos que los confinan (figura 4 y 5). Estos sistemas de acuíferos confinados, hasta la actualidad y por las necesidades de agua de mejor calidad, sólo han sido perforados en el bloque hundido. La mayoría de las captaciones que extraen agua de estos sistemas de acuíferos confinados (figura 8), son de tipo surgentes, es decir, el agua sube sola a superficie, con alturas de surgencia de hasta 10-12 m por encima del nivel del terreno. Los caudales de extracción son del orden de entre 6.000 y 18.000 L/h, en algunos casos superiores para equipos de riego.

Figura 8: Perforación de 320m de profundidad en acuífero confinado. (Gentileza de Carranza Perforaciones)

CALIDAD Y APTITUD DE USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Acuífero freático: El agua del acuífero freático muestra variaciones en su calidad también condicionadas por el relieve. El bloque hundido, presenta aguas más salinizadas (entre 2.100 y 5.600 mg/L) y con mayores contenidos en sulfatos y cloruros, debido al mayor tiempo de permanencia del agua en el acuífero, ya que viene circulando desde sectores serranos, al Oeste del área estudiada. Por el contrario, el acuífero freático en el bloque elevado, posee aguas más dulces (salinidades entre 675 y 1.400 mg/L), debido a que se produce la recarga preferencial de lluvias en la cima del bloque, lo que diluye la salinidad del agua que viene viajando por el acuífero desde las sierras (Tabla 1).

En ambos bloques se suma, como resultado de procesos naturales, la presencia de arsénico y flúor en el agua subterránea, debido a que los componentes de los sedimentos loéssicos (principalmente el vidrio volcánico) que conforman el acuífero, contienen estos elementos en su composición. De este modo, y dadas las muy bajas velocidades de circulación del agua, los procesos químicos de contacto con los minerales, permiten el paso del arsénico y flúor al agua.

Además de los condicionantes naturales, se suma en la calidad del agua subterránea, la presencia de otros elementos químicos indeseables, derivados de distintas actividades antrópicas (urbanas, rurales e industriales), tales como el nitrato, que puede convertir al recurso hídrico en no apto para determinadas actividades (Tabla 1).

UG	Estadísticos	pH	CE [µS/cm]	HCO_3 [mg/L]	SO_4^{-2}[mg/L	Cl [mg/L]	Na^+ [mg/L]	K^+ [mg/L]	Ca^{+2}[mg/L]	Mg^{+2}[mg/L]	As Total [µg/L]	F [mg/L]	NO_3 [mg/L]
Bloque Hundido (n=35)	Media	7.79	3429	620.0	775.3	290.5	794.5	30.8	45.3	40.3	233.6	3.3	64.8
	Máximo	8.46	8040	937.5	2092.5	905.7	1890.8	109.2	150.0	136.1	600.0	7.9	360.0
	Mínimo	7.29	1572	457.5	219.3	57.1	308.4	9.3	5.6	5.4	60.0	1.1	2.0
Bloque Elevado (n=13)	Media	7.96	1231	651.7	53.2	49.0	337.6	12.7	8.3	6.6	197.3	3.4	62.9
	Máximo	8.23	1556	820.0	211.0	145.7	637.0	18.6	19.32	17.1	360.0	4.6	500.0
	Mínimo	7.31	963	451.3	15.7	21.4	262.4	9.5	2.8	0.1	60.0	1.3	2.0
Total (n=48)	Media	7.85	2707	630.9	528.3	207.9	638.2	24.6	32.6	28.7	221.2	3.3	64.2
	Máximo	8.46	8040	937.5	2092.5	905.7	1890.8	109.2	150.0	136.1	600.0	7.9	500.0
	Mínimo	7.29	963	451.3	15.7	21.4	262.4	9.3	2.8	0.1	60.0	1.1	2.0

Tabla 1. Estadísticos descriptivos más importantes de las variables analizadas en el agua del acuífero freático.

Dadas estas características se muestra a continuación la aptitud de uso del recurso 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 utilizó la clasificación de FAO (Ayers y Westcott, 1985) que se considera más adecuada dado que tiene en cuenta que aguas de muy baja salinidad (por debajo de 200 µS/cm) pueden originar problemas de infiltración debido a que tienden 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 del acuífero y por el diseño de la perforación.

Para **consumo humano**, el agua captada del acuífero freático tanto en el bloque hundido como en el elevado, es en un 100 % **no apta**, por sobrepasar los límites admisibles del CAA para arsénico y/o flúor. En el bloque hundido se suma un 55 % de muestras con restricción por salinidad, un 22 % por sulfatos, un 32 % por nitratos y un 18 % por cloruros (figura 9). En el mapa de la figura 10, se observa la distribución de aptitud del uso para consumo humano en el acuífero fréatico.

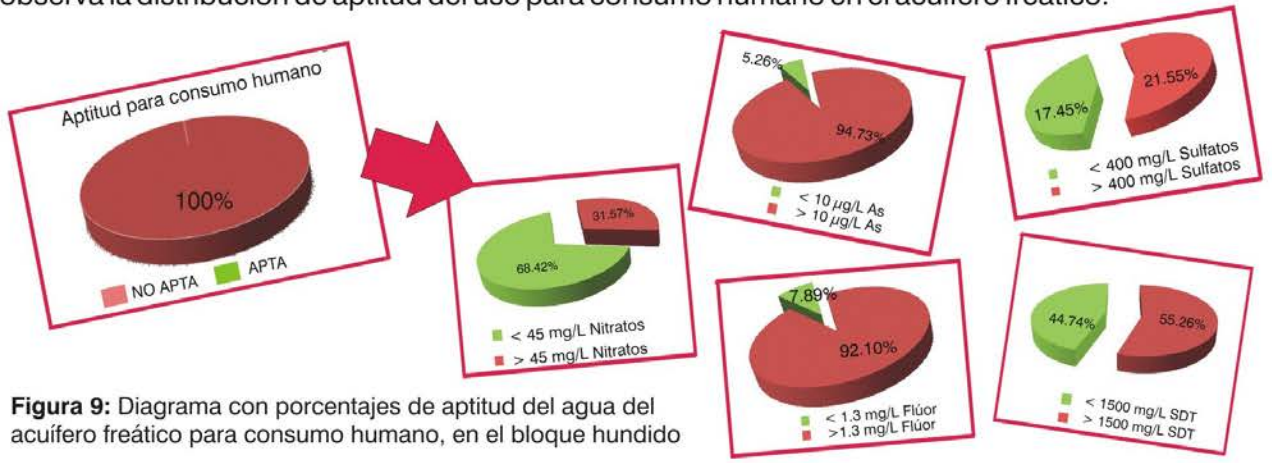


Figura 9: Diagrama con porcentajes de aptitud del agua del acuífero freático para consumo humano, en el bloque hundido

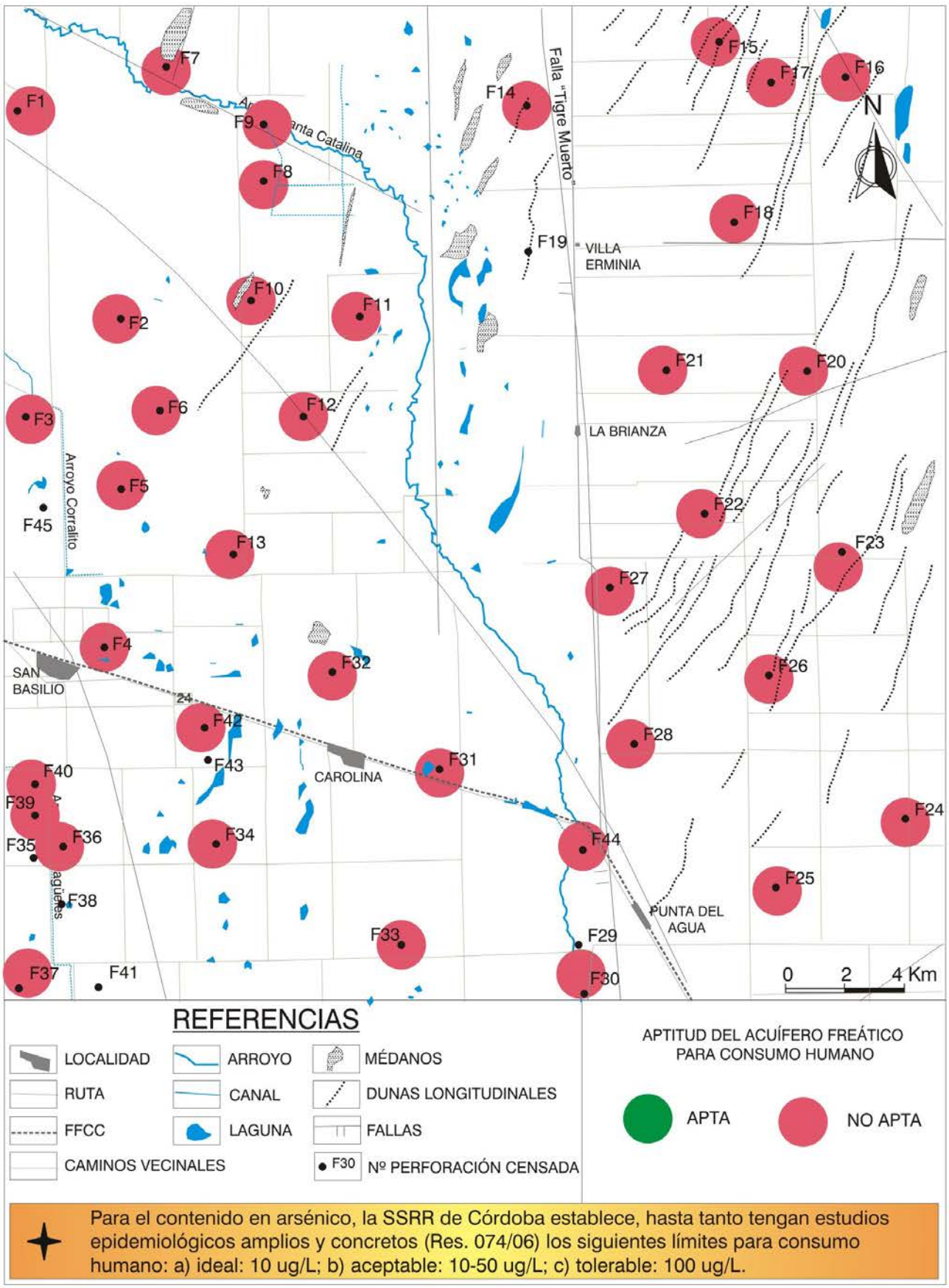


Figura 10. Mapa de Aptitud de uso para consumo humano del agua del acuífero freático.

Para **ganadería**, el agua del **acuífero freático** en el **bloque hundido** es en un 4 %, **muy buena** para bovinos de tambo e inverne; 72 % **buena**; 20 %, **aceptable** y 4% **mala usable**. Sin embargo, un 72 % de las muestras poseen contenidos en arsénico superiores a 150 μg/L, por lo que pueden resultar tóxicas para este fin, por lo que se sugiere precaución en su uso. En el **bloque elevado**, el 23 % de las muestras resultaron **muy buenas** para bovinos de tambo e inverne; 8 % **buenas** y 69 % **deficientes** en sales para el ganado, lo que obliga en este último caso, a suplementar su alimentación con minerales. El 69 % pueden resultar **tóxicas** por los niveles de arsénico determinados (figura 11).

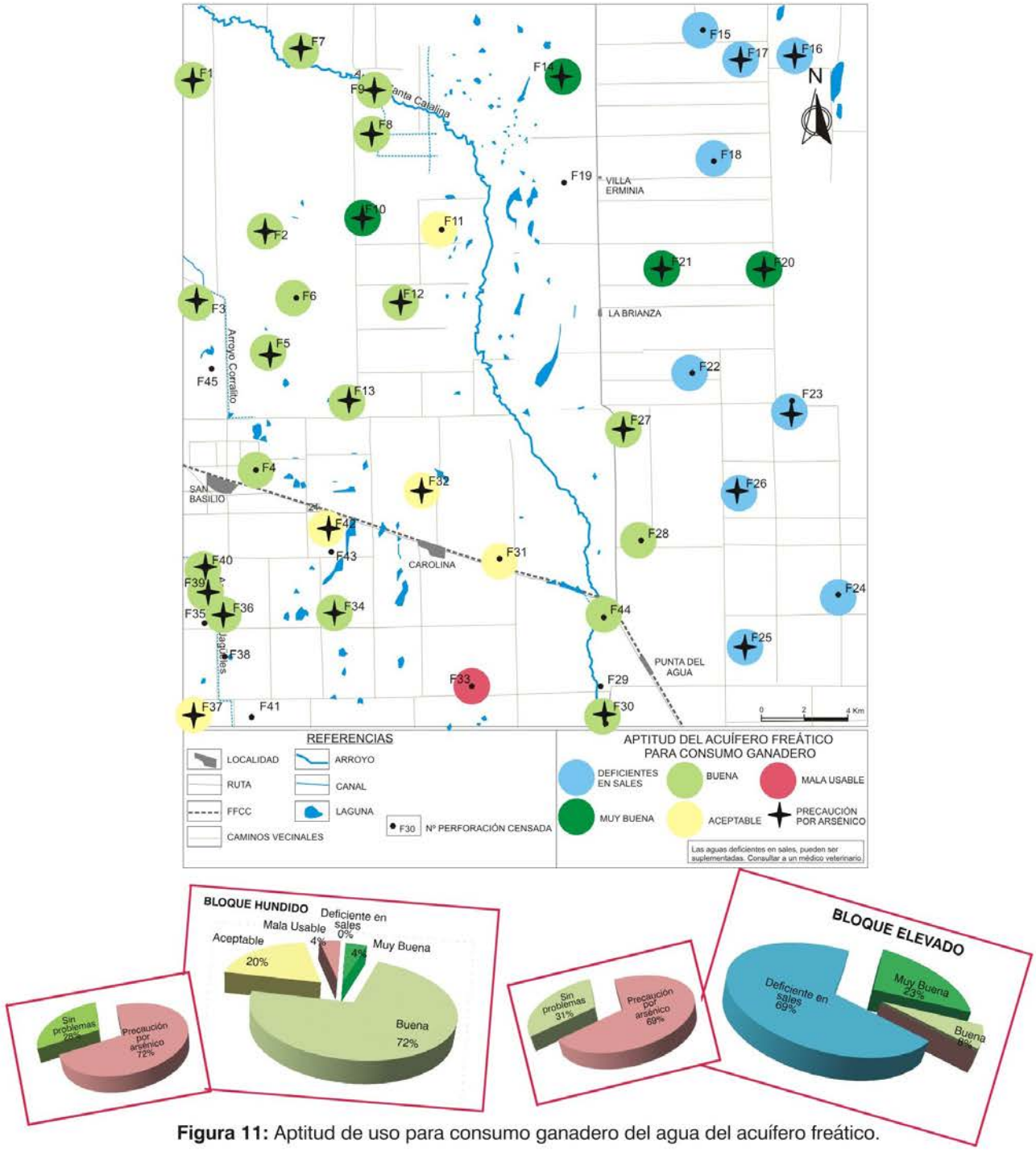


Figura 11: Aptitud de uso para consumo ganadero del agua del acuífero freático.

Para **riego**, el agua del **acuífero freático** en el **bloque hundido** resultó, según FAO, en un 28 % **apta** con ligeras restricciones y en un 72 % **no apta** con restricciones severas de salinización y pérdida de infiltración. En el **bloque elevado** en cambio, resultó en un 46 % **apta** y en un 54 % **no aptas** por las restricciones mencionadas (figura 12 y 13).

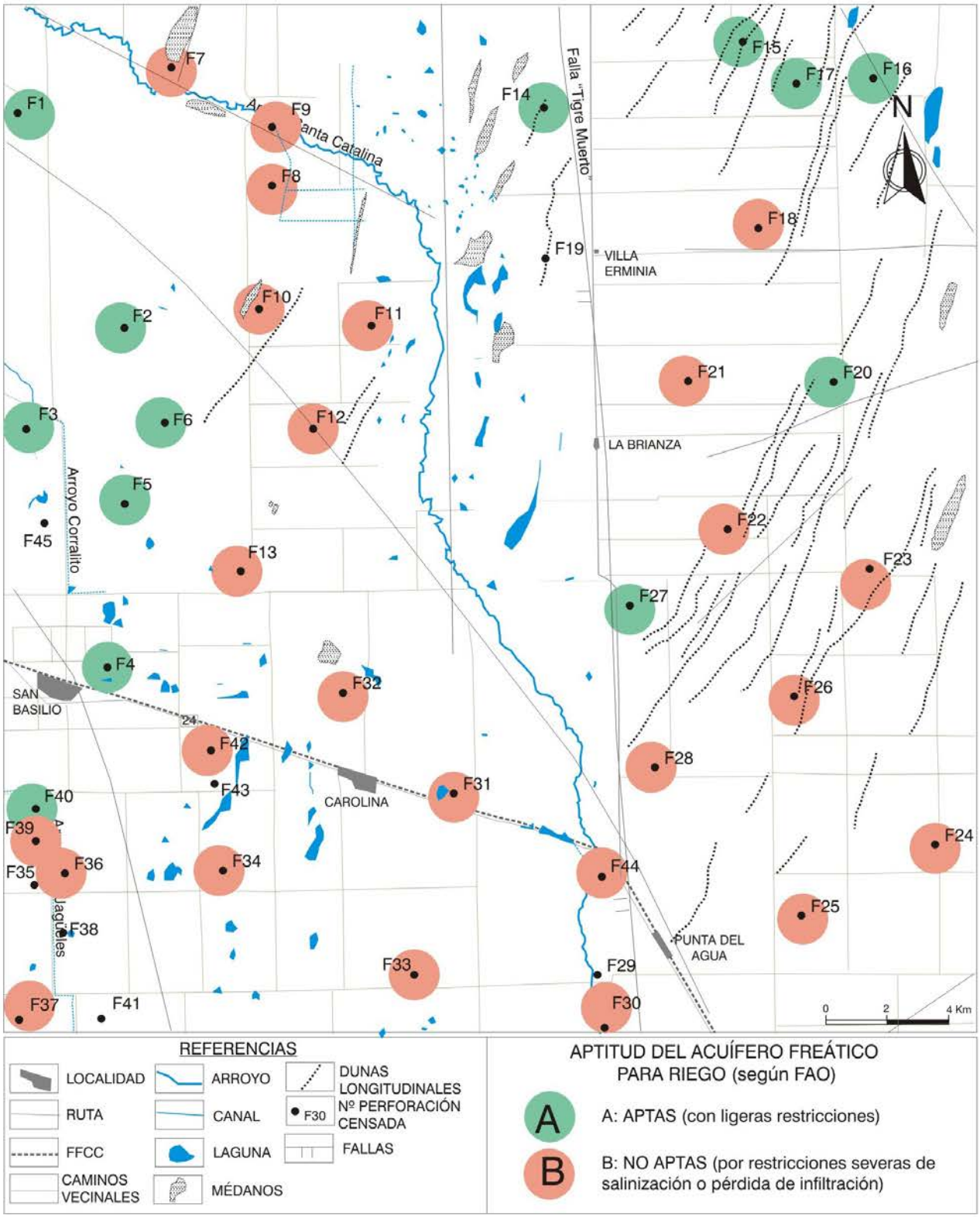


Figura 12: Mapa de Aptitud de uso para riego del agua del acuífero freático.

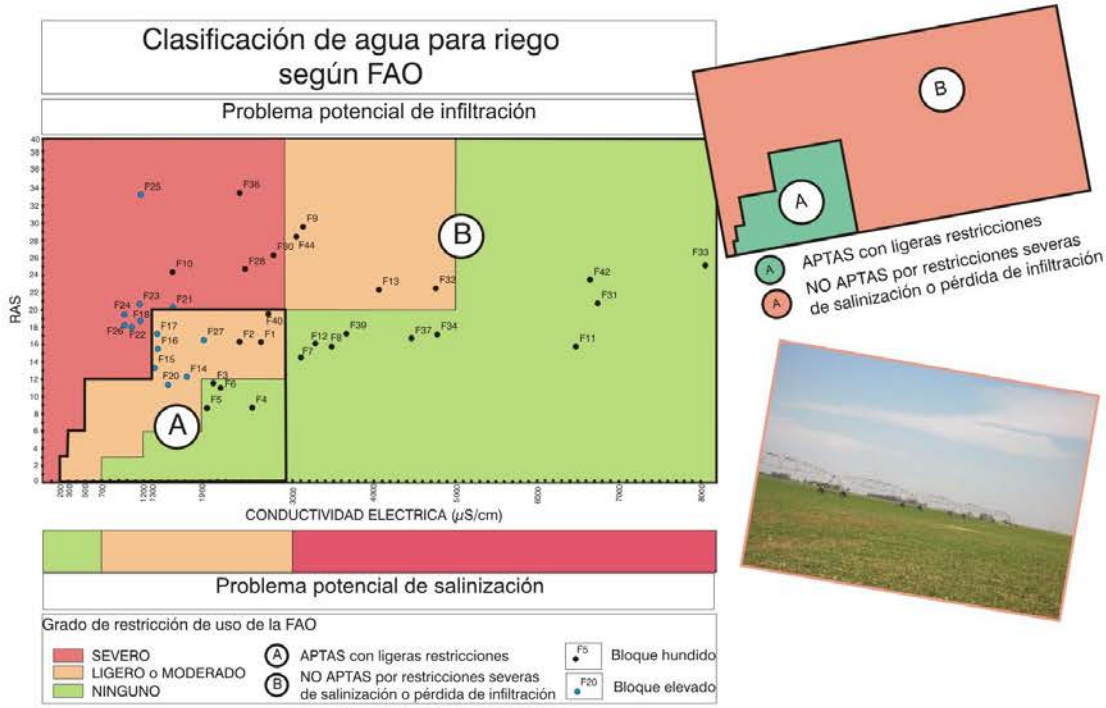


Figura 13: Diagramas para clasificacón para riego, según FAO.

Si se clasifica según Riverside (Richards, 1954), en el **bloque hundido** las aguas resultan en un 12 % de **buenas a regulares**; 72 % de **regulares a malas** y en un 16 % restante en **inapropiadas** para este fin (figura 14). En el **bloque elevado** en cambio, resultan en un 31 %, de **buenas a regulares** y en un 69 % de **regulares a malas**. Se observa que la última clasificación establece menores restricciones en el uso del agua para regar.

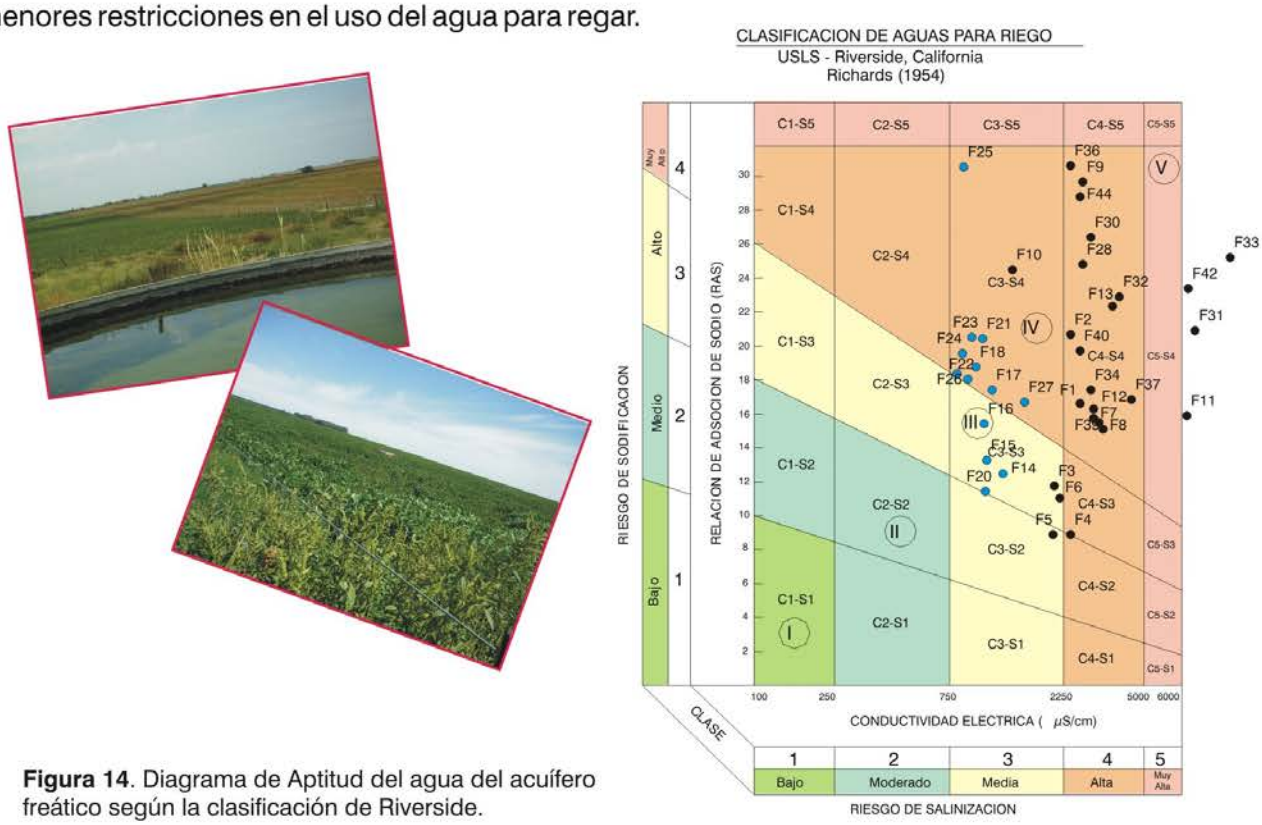


Figura 14. Diagrama de Aptitud del agua del acuífero freático según la clasificación de Riverside.

Sistema de acuíferos confinados: Las aguas presentes en estos sistemas son **termales**, es decir, con temperaturas de surgencia (de hasta 35,8º C) que superan hasta en 10º C las esperadas por la profundidad de yacencia (figura 15), si se consideran gradientes geotérmicos normales (aumento de 1ºC por cada 33 m de profundidad).

Figura 15. Temperatura de surgencia de los acuíferos confinados.

Se distinguen tres sistemas acuíferos que muestran calidad de agua diferentes, y si bien todos presentaron aguas dulces, termales, con tenores en arsénico y flúor muy bajos y sulfatadas, los dos sistemas menos profundos y con menor grado de confinamiento presentaron las aguas más saladas (entre 1.300 2.100 mg/L) y las mayores concentraciones en arsénico y flúor (de hasta 9 μg/L y 1,4 mg/L, respectivamente), aunque muy inferiores que las del acuífero freático. Por el contrario, el sistema más profundo y más confinado, presenta aguas más dulces (inferiores a 1.200 mg/L) y en general, de mejor calidad que los restantes acuíferos (Tabla 2).

Nivel	Estadístico	pH	CE [μS/cm]	HCO_3^- [mg/L]	SO_4^{-2} [mg/L]	Cl^- [mg/L]	Na^+ [mg/L]	K^+ [mg/L]	Ca^{+2} [mg/L]	Mg^{+2} [mg/L]	As [μg/L]	F^- [mg/L]	NO_3^- [mg/L]	T ºC
Total (n=21)	Media	7,81	1769	306,8	538,0	122,2	338,2	14,0	63,3	14,8	3,0	0,74	6,65	31,5
	Máximo	7,41	944	200,0	253,6	57,1	190,1	6,9	24,0	1,5	0,5	0,40	2,80	23,3
	Mínimo	8,16	3050	520,0	878,6	211,4	580,4	23,0	114,8	45,4	17,0	1,40	12,00	35,8
	Desv. Tip.	0,21	532,9	91,9	185,4	40,7	107,8	4,1	24,1	11,9	3,9	0,26	2,30	2,8

Tabla 2. Estadísticos más importantes de los sistemas acuíferos confinados.

Para **consumo humano**, el agua de los sistemas acuíferos confinados, resultó en un 29 % **apta** y en un 71 % **no apta** (figura 16), por no cumplir con el límite establecido para sulfatos. Si se considera que la ingesta de aguas con tenores de sulfatos elevados no es tan perjudicial, se puede establecer que la determinación de no aptitud del agua de estos sistemas profundos no es tan severa ni tan preocupante como en el caso del sistema freático.

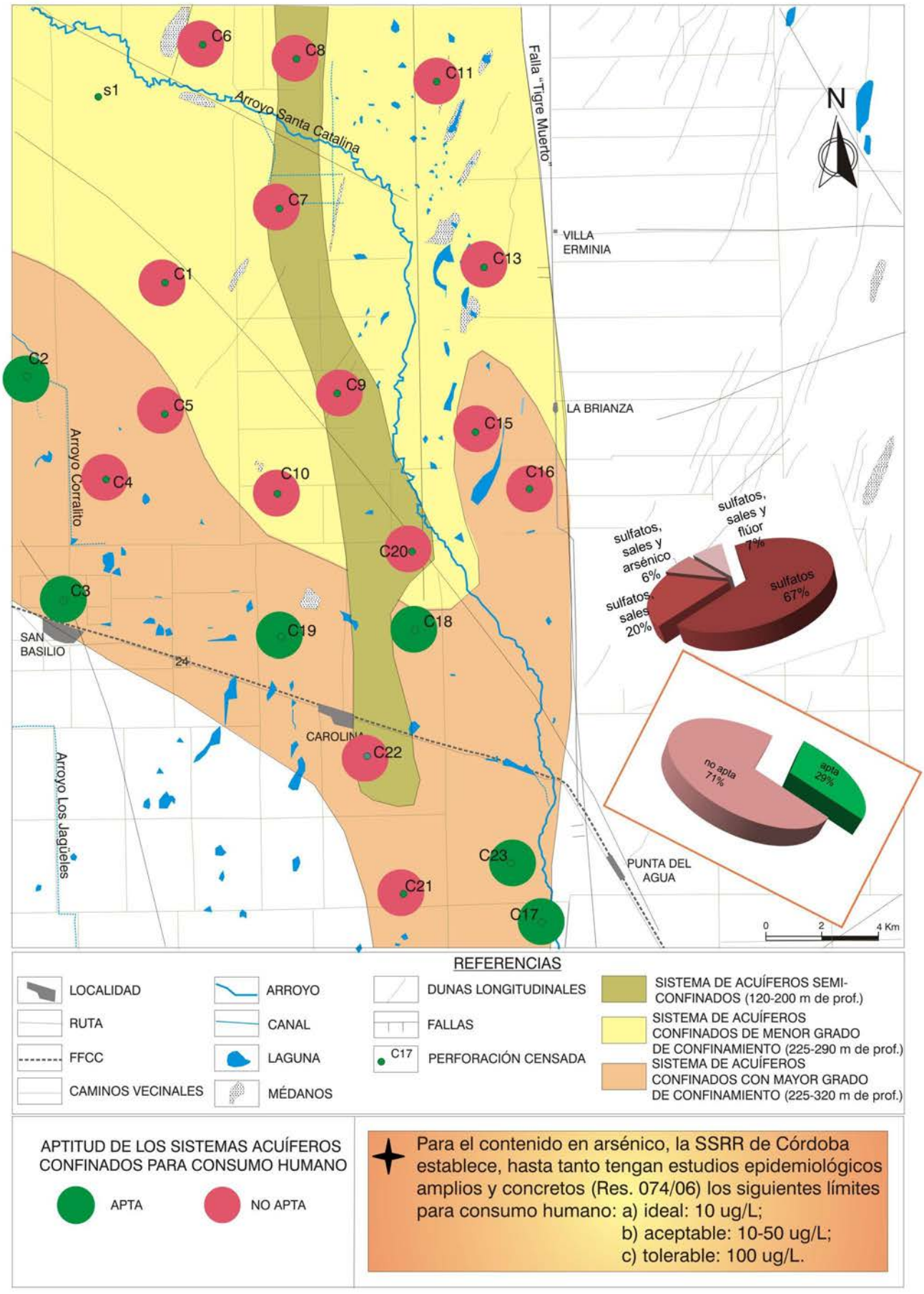


Figura 16. Mapa de Aptitud de uso para consumo humano del agua de los sistemas de acuíferos confinados.

Para **ganadería**, el agua de los sistemas profundos resultó en el 57 % **buena** para bovinos de tambo e inverne; 10 % **muy buenas** y 33 % **deficientes** en sales (Figuras 17).

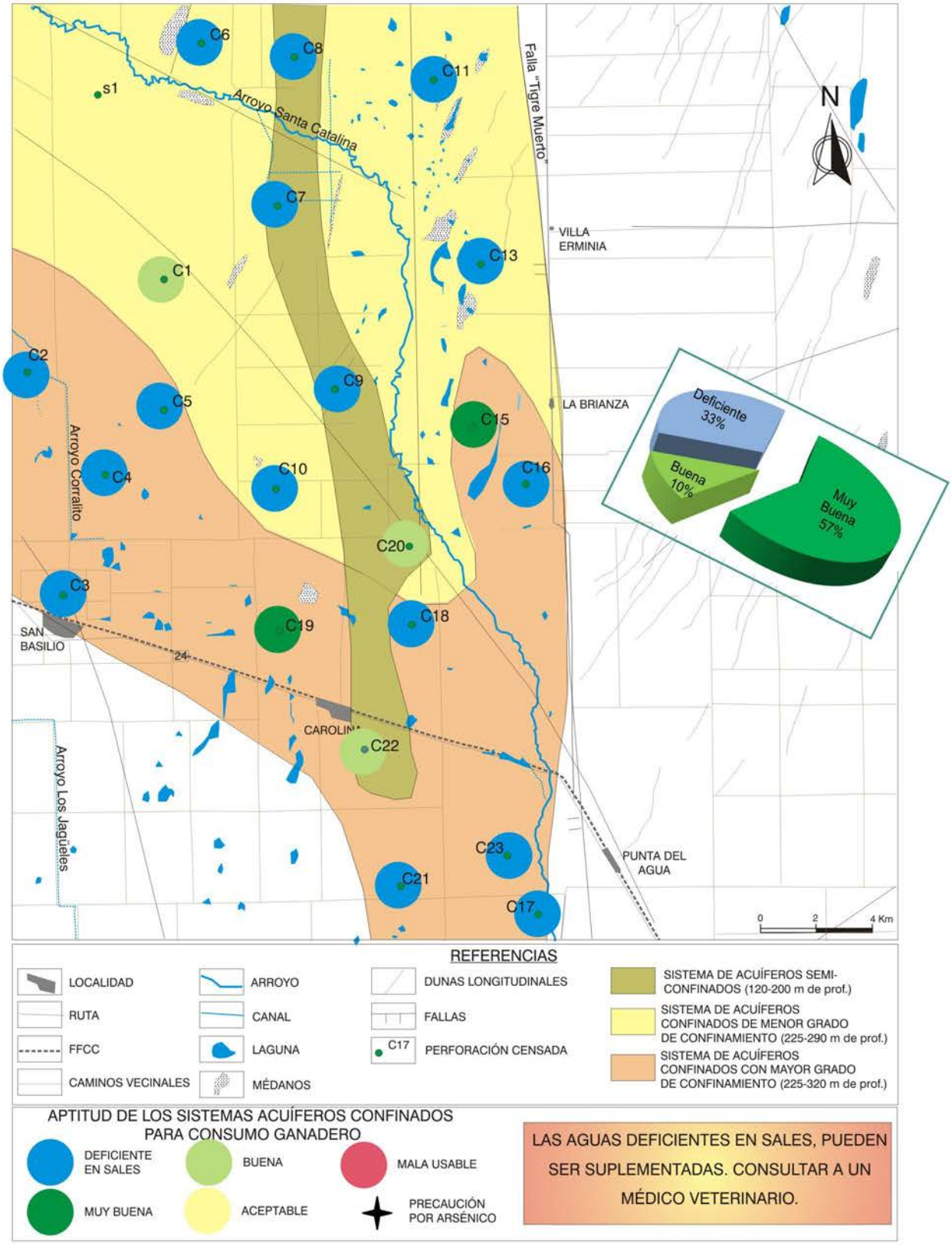


Figura 17: Mapa de Aptitud de uso para ganadería del agua de los sistemas confinados.

Para **riego**, el agua subterránea profunda resultó en un 57 % con **ligera o moderada** y 43 % **ninguna** peligrosidad de infiltración; y en un 95 % con **ligera o moderada** y 5 % severa peligrosidad de salinización (Figura 18). La clasificación por Riverside (Richards, 1954) resulta en un 86 % de **buenas a regulares** y en un 14 % de **regulares a malas** para este fin (Figura 19). En el mapa de la figura 20 se observan las aptitudes para riego que presentan las agua que provienen de perforaciones que captan de acuíferos confinados, segun la clasificación de la FAO.

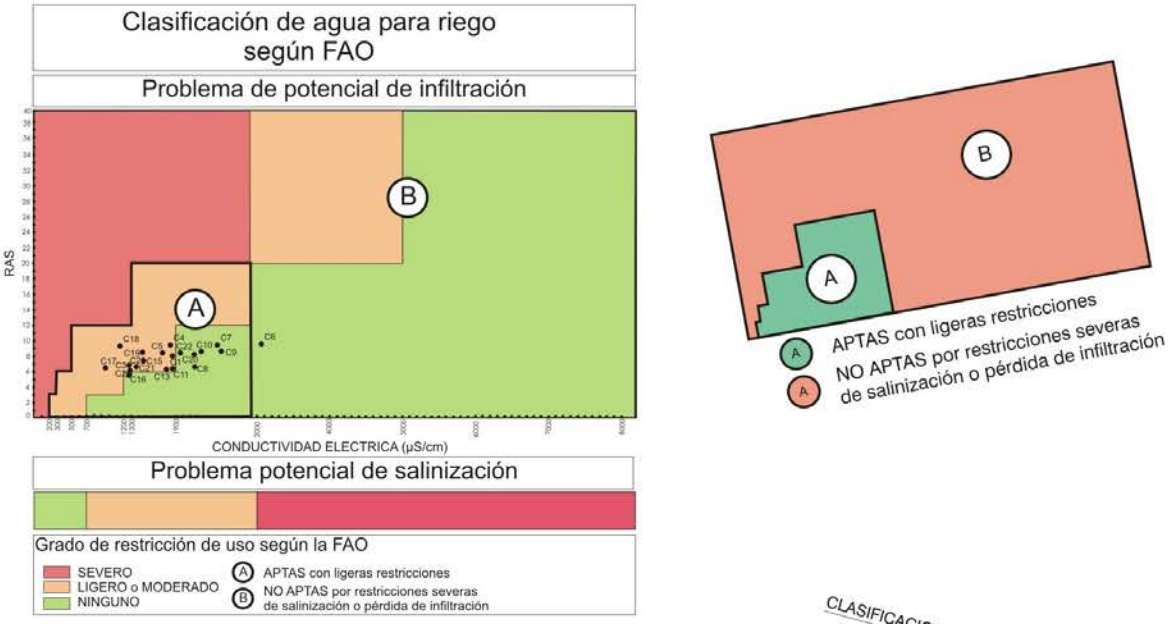


Figura 18. Diagrama de Aptitud para riego del agua de los acuíferos confinados. (Segun FAO)

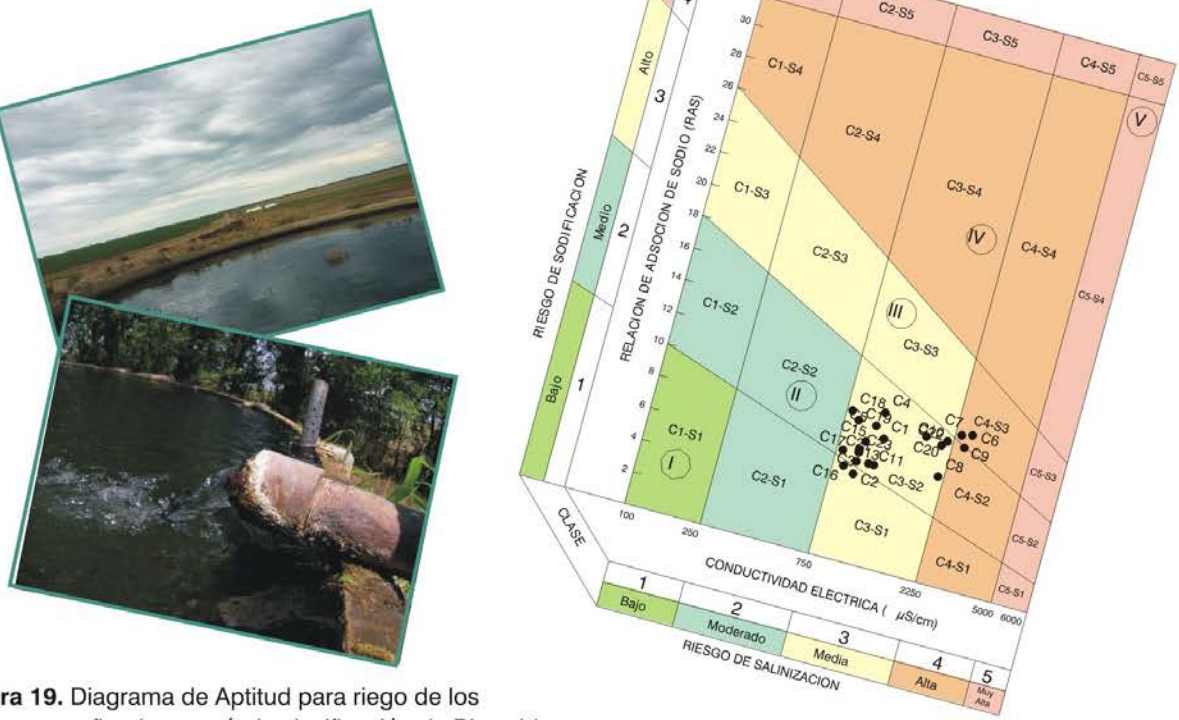


Figura 19. Diagrama de Aptitud para riego de los sistemas confinados, según la clasificación de Riverside.

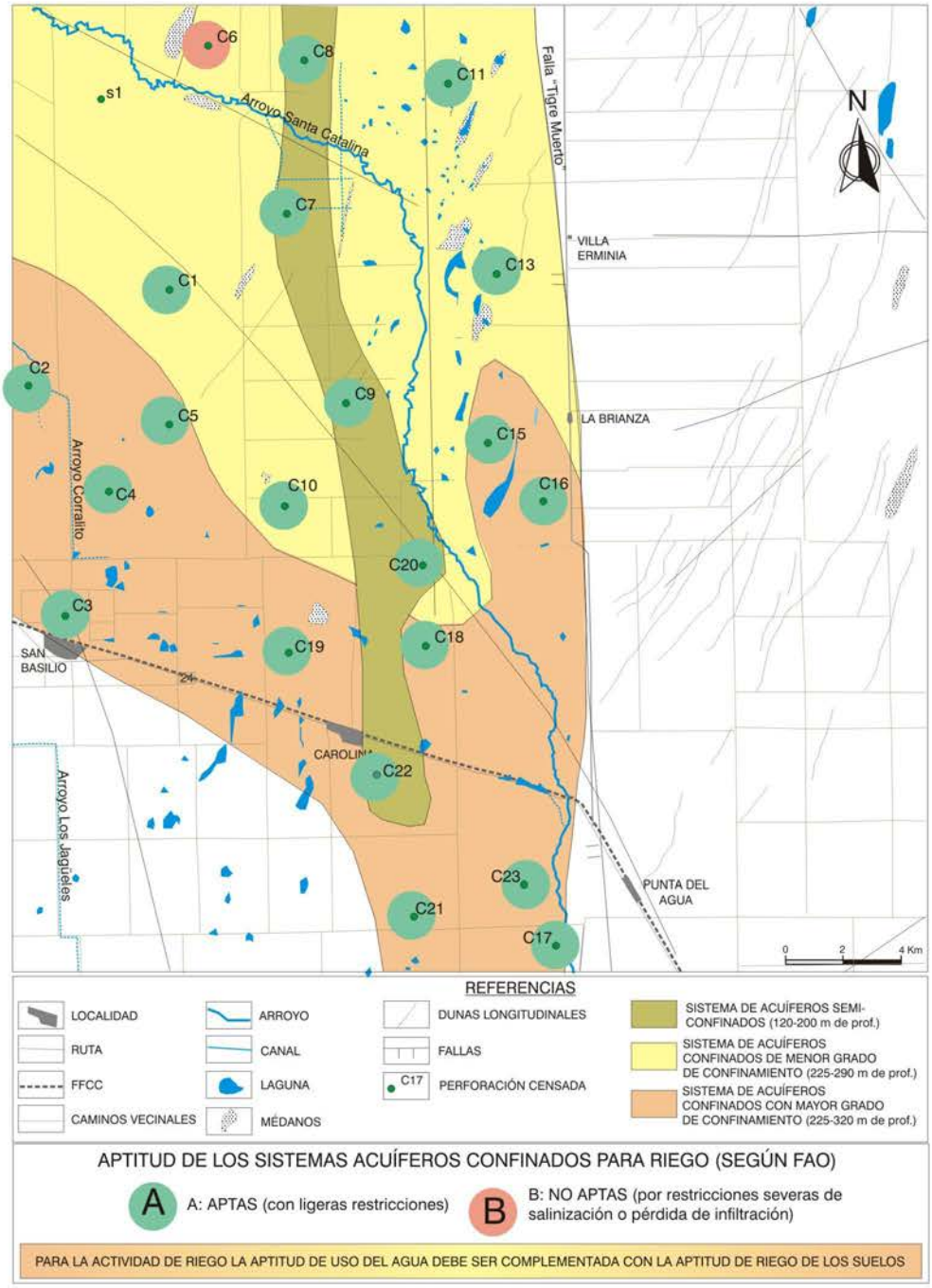


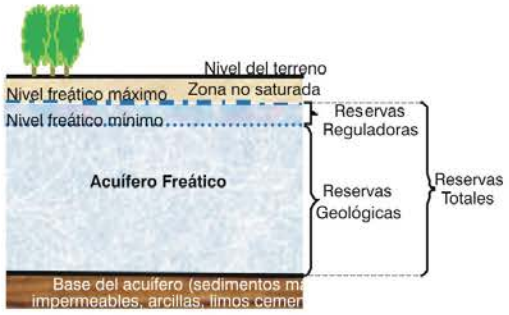
Figura 20: Mapa de Aptitud para riego del agua del acuifero confinado. Según FAO.

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 agua 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.



Reservas Reguladoras = A . h . Pe1 (Ecuación 1)

Donde
A: área abarcada por el acuífero estudiado
H: diferencia entre nivel freático mínimo y máximo
pe1: porosidad eficaz del acuífero (equivalente a su coeficiente de almacenamiento -S-)

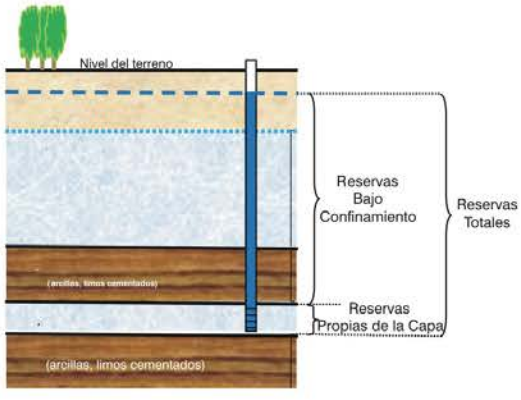
- Reservas Geológicas, Permanentes o Seculares: cantidad de agua extraíble de un acuífero pero que se encuentran entre el nivel estático mínimo y el piso del acuífero (espesor mínimo -emín-) y por lo tanto permiten una explotación más importante, si bien se debe tratar de no extraerlas en su totalidad.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

Reservas Geológicas = A . emín . pe1 (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.

b) En los **acuíferos confinados**, se considera reservas a la cantidad de agua que se puede extraer mientras éste actúe bajo confinamiento más la que se puede extraer cuando éste se encuentre sobreexplotado y actúe como si fuera un sistema freático, es decir el agua propia de la capa. De este modo las reservas bajo confinamiento se calculan mediante la ecuación 3 y las propias de la capa mediante la ecuación 4:



Reservas bajo confinamiento = A´ x S x H (Ecuación 3)

Donde
A´: área en la que se extiende el acuífero confinado
H: altura del nivel piezométrico respecto del techo del acuífero (H)
S: coeficiente de almacenamiento (S)

Reservas propias de la capa = A´ . pe2 . e (Ecuación 4)

Donde
pe2: porosidad efectiva del acuífero confinado
e: espesor del acuífero confinado

CALCULO DE RESERVAS EN LA ZONA ESTUDIADA

En la zona estudiada se considera de interés calcular RESERVAS tanto para los sistemas acuíferos confinados que son los de mayor interés de uso para todos los fines dado su mejor calidad del agua, como para el acuífero freático ya que si bien en este caso no es el recurso de mejor calidad, es el que se utiliza con fines ganaderos. De este modo y teniendo en cuenta el área de la zona estudiada (A = 1.216 Km^2), el espesor medio entre los niveles estáticos máximo y mínimo del acuífero (h = 80 cm por año) y la porosidad eficaz (pe1 = 10%), se obtuvo como resultado un valor medio de Reserva Reguladora del orden de 97 Hm^3/año. Además y considerando un espesor de acuífero del orden 60 m, las Reservas Geológicas resultan en el orden de 7.296 Hm^3. Por lo tanto las RESERVAS TOTALES, es decir la totalidad de agua libre contenida en el acuífero freático, alcanzan en promedio los 7.393 Hm^3/año.

Para el sistema acuífero confinado más somero y de menor grado de confinamiento, es decir el que se encuentra entre los 120 y 200 m de profundidad, y considerando que los mismos ocupan un área aproximada de 54 Km^2, poseen un coeficiente de almacenamiento (S) del orden de 1 x 10-4, una porosidad eficaz del orden del 20%, una altura del nivel piezométrico respecto la base del techo del acuífero (H) de 150 m y un espesor saturado, que se reparte en aproximadamente 5 - 7 capas acuíferas que alternan en este sistema con espesores de aproximadamente 8 m cada una, las RESERVAS TOTALES resultan en un valor promedio del orden de 526 Hm^3 de los cuales 8 Hm^3 (0,8 Hm^3 por cada capa) corresponden a las Reservas Bajo Confinamiento y 518 Hm^3 a Reservas Propias de la Capa.

Para los sistemas más profundos y más confinados, es decir aquellos que se ubican entre los 250 y 350 m de profundidad, y considerando que éstos ocupan un área aproximada de 608 Km^2, y poseen un S del orden de 1 x 10^{-5}, una porosidad eficaz del orden del 35 %, una H del orden de 300 m y un espesor acuífero que se reparte en aproximadamente 5 capas de aproximadamente 5 m cada una, las RESERVAS TOTALES resultan en un valor promedio del orden de 5.322 Hm^3 de los cuales 2 Hm^3 corresponden a las Reservas Bajo Confinamiento y 5.320 Hm^3 a Reservas Propias de la Capa.

Se recuerda que se recomienda explotar sólo las reservas bajo confinamiento, de manera de no sobreexplotar al sistema confinado extrayendo el agua propia de la capa, con el fin de que la explotación sea lo más sustentable en el tiempo.

ANEXOS

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

Muestra	Aptitud para consumo humano	Aptitud para riego				Aptitud	
	CAA	RAS	CE [μS/cm]	Clasif	Aptitud	Cría	Tambo e inverne
F1	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	16.3	2610	**L-M**	**L-M**	MB	B
F2	No apta (SDT, NO_3^-, F^- y As)	20.6	2360	**L-M**	**L-M**	MB	B
F3	No apta (F^- y As)	11.6	2040	**N**	**L-M**	MB	B
F4	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	8.9	2510	**N**	**L-M**	MB	B
F5	No apta (NO_3^-, F^- y As)	8.8	1988	**N**	**L-M**	MB	B
F6	No apta (SO_4^{-2} y F^-)	11	2140	**N**	**L-M**	MB	B
F7	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	14.6	3100	**N**	**S**	MB	B
F8	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	15.9	3480	**N**	**S**	MB	B
F9	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	29.6	3110	**L-M**	**S**	(t)	(t)
F10	No apta (F^- y As)	24.3	1572	**S**	**L-M**	(t)	(t)
F11	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^-, F^- y As)	15.9	6460	**S**	**S**	B	A
F12	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	16.1	3280	**N**	**L-M**	MB	B
F13	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^-, F^- y As)	22.2	4060	**N**	**S**	MB	B
F14	No apta (F^- y As)	12.3	1717	**L-M**	**L-M**	S	MB
F15	No apta (As)	13.2	1335	**L-M**	**L-M**	D	D
F16	No apta (F^- y As)	15.6	1308	**L-M**	**L-M**	D	D
F17	No apta (F^- y As)	17.1	1363	**L-M**	**L-M**	D	D
F18	No apta (F^- y As)	18.7	1170	**S**	**L-M**	(t)	(t)
F20	No apta (F^- y As)	11.4	1502	**L-M**	**L-M**	(t)	(t)
F21	No apta (NO_3^-, F^- y As)	20.2	1556	**S**	**L-M**	S	MB
F22	No apta (F^- y As)	18	1054	**S**	**L-M**	D	D
F23	No apta (F^- y As)	20.4	1140	**S**	**L-M**	D	D
F24	No apta (F^- y As)	19.3	986	**S**	**L-M**	D	D
F25	No apta (F^- y As)	33.3	1167	**S**	**L-M**	D	D
F26	No apta (F^- y As)	18.1	963	**S**	**L-M**	D	D
F27	No apta (NO_3^-, F^- y As)	16.5	1913	**L-M**	**L-M**	MB	B
F28	No apta (SDT, NO_3^-, F^- y As)	24.9	2410	**S**	**L-M**	MB	B
F30	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	26.1	2780	**S**	**L-M**	MB	B
F31	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^-, F^- y As)	20.9	6740	**N**	**S**	B	A
F32	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, F^- y As)	22.7	4780	**L-M**	**S**	B	A
F33	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^- y As)	25.1	8040	**N**	**S**	A	MU
F34	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	17.1	3270	**N**	**S**	MB	B
F36	No apta (SDT, F^- y As)	33.4	2360	**S**	**L-M**	(t)	(t)
F37	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^-, F^- y As)	16.8	4480	**N**	**S**	B	A
F39	No apta (SDT, SO_4^{-2}, NO_3^-, F^- y As)	15.2	3680	**N**	**S**	MB	B
F40	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	19.7	2710	**L-M**	**L-M**	(t)	(t)
F42	No apta (SDT, SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^-, F^- y As)	23.4	6630	**N**	**S**	B	A
F44	No apta (SDT, SO_4^{-2}, F^- y As)	28.5	3020	**L-M**	**S**	MB	B

ANEXOS

Tabla 2. Clasificación del agua del sistema de acuíferos confinados para consumo humano, ganadero y para riego.

Muestra	Aptitud para consumo humano CAA	Aptitud para riego				Aptitud
		RAS	CE (μS/cm)	Clasificación	Aptitud	Tambo e inverne
C1	No apta (SO_4^{-2})	8	1870	**L-M**	**L-M**	**B**
C2	Apta	5.5	1268	**N**	**L-M**	**D**
C3	Apta	6.1	1298	**L-M**	**L-M**	**D**
C4	No apta (SO_4^{-2})	9.5	1850	**L-M**	**L-M**	**B**
C5	No apta (SO_4^{-2})	8.5	1713	**L-M**	**L-M**	**B**
C6	No apta (SDT, SO_4^{-2} y As)	9.6	3050	**N**	**S**	**B**
C7	No apta (SDT, SO_4^{-2})	9.3	2470	**N**	**L-M**	**B**
C8	No apta (SO_4^{-2})	6.4	2170	**N**	**L-M**	**B**
C9	No apta (SDT, SO_4^{-2} y F^-)	8.7	2510	**N**	**L-M**	**B**
C10	No apta (SDT, SO_4^{-2})	8.6	2240	**N**	**L-M**	**B**
C11	No apta (SO_4^{-2})	6.2	1872	**L-M**	**L-M**	**B**
C13	No apta (SO_4^{-2})	6.1	1786	**L-M**	**L-M**	**B**
C15	No apta (SO_4^{-2})	7.4	1484	**L-M**	**L-M**	**MB**
C16	No apta (SO_4^{-2})	5.8	1286	**N**	**L-M**	**D**
C17	Apta	6.5	944	**L-M**	**L-M**	**D**
C18	Apta	9.3	1140	**L-M**	**L-M**	**D**
C19	Apta	8.5	1458	**L-M**	**L-M**	**MB**
C20	No apta (SDT, SO_4^{-2})	8.2	2170	**N**	**L-M**	**B**
C21	No apta (SO_4^{-2})	6.8	1377	**L-M**	**L-M**	**D**
C22	No apta (SO_4^{-2})	8.4	1960	**N**	**L-M**	**B**
C23	Apta	6.8	1246	**L-M**	**L-M**	**D**

LIMITES DE APTITUD ADMITIDOS PARA CONSUMO HUMANO
(Código Alimentario Argentino,CAA)

- **Arsénico**: 10 μg/L. La SSRH (Córdoba) establece, 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.
- **Fluoruros:** 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16°C).
- **Nitratos:** 45 mg/L
- **Sulfatos:** 400 mg/L
- **Cloruros:**350 mg/L
- **Sales Disueltas Totales:** 1.500 mg/L

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA GANADERÍA
(Bavera, 2001)

Tambo e Inverne	SDT	ClNa	$SO_4^{=}$	Mg^{2+}	NO_3^-
Deficiente	< 1g/l	---	---	---	---
Muy Buena	> 1g/l	0.6 g/l	0.5 g/l	0.2 g/l	0.05 g/l
Buena	Hasta = 2 g/l	1.2 g/l	1 g/l	0.25 g/l	0.2 g/l
Aceptable	Hasta = 4 g/l	2.4 g/l	1.5 g/l	0.3 g/l	0.3 g/l
Mala Usable	Hasta = 7g/l	4.2 g/l	2.5 g/l	0.4 g/l	0.4 g/l
----	Hasta = 11g/l	6.6 g/l	4 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l
----	Hasta = 13g/l	10 g/l	7 g/l	0.6 g/l	---

Se debe tener en cuenta que los tenores de Arsénico no sean superiores a los 150 mg/L y que los contenidos de Flúor no superen los 16 mg/L, ya que causan toxicidad.

CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO
(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 5000 μS/cm y RAS mayor a 30

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUAPARA RIEGO
FAO (Ayers y Westcot, 1985)

GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO			
	NINGUNO	LIGERO o MODERADO	SEVERO
Problema potencial: SALINIDAD			
C.E. (μs/cm)	< 700	700-3000	> 3000
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y C.E.=	> 700	700-200	< 200
RAS entre 3 y 6 y C.E.=	> 1200	1200-300	< 300
RAS entre 6 y 12 y C.E.=	> 1900	1900-500	< 500
RAS entre 12 y 20 y C.E.=	> 2900	2900-1300	< 1300
RAS entre 20 y 40 y C.E.=	> 5000	5000-2900	< 2900

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. Ed. 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.

Cabrera, A., 1995. Estudio Geohidrológico de la zona comprendida entre San Basilio y Monte de los Gauchos, Córdoba. 2º Informe final de Beca SECyT-UNRC. Inédito.

Cabrera, A., 2009. Evolución Hidrogeoquímica e Isótopos Ambientales del Sistema Acuífero asociado a los Ambientes Morfotectónicos de la Falla Regional Tigre Muerto. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral UNRC. Inédito. 354 pág.

Cabrera, A., M. Blarasin y E. Matteoda, 2010. Análisis hidrodinámico, geoquímico e isotópico de base para la evaluación de sistemas hidrotermales de baja temperatura en la llanura cordobesa argentina. Revista Boletín Geológico y Minero de España, 121 (4): 387-400. ISSN 0366-0176.

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

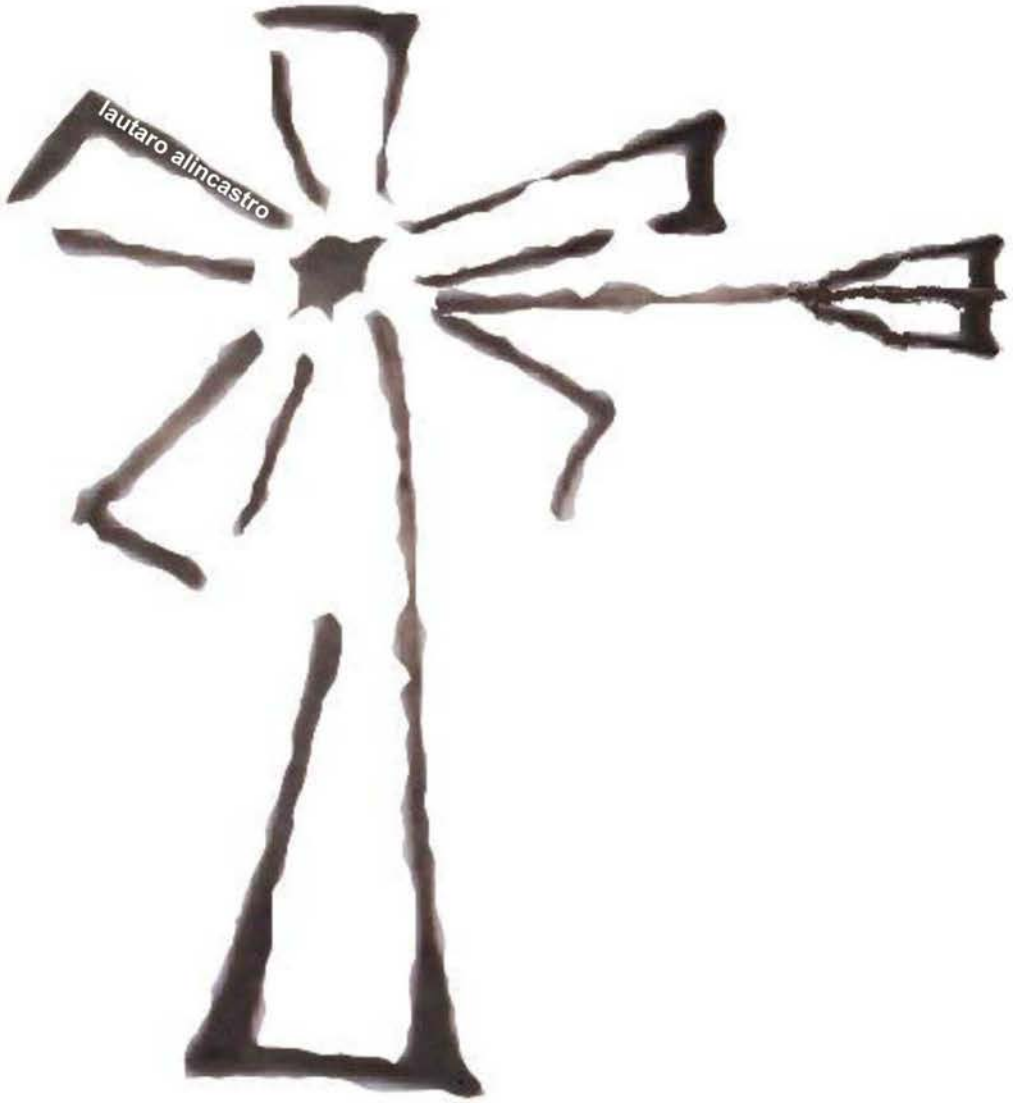
ELANEM, 2000. Quantitative indicators and indices of environmental quality and sustainability, an Euro-Latin American Network for Environmental Assessment and Monitoring. Anual Report: Río Cuarto. INCO-DC.

J**ohannesburgo, 2002.** Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Editorial Fundación Ecológica Universal. ISBN 987-98938-1-6.

Lema, M., 1999. Estudio Hidrogeoquímico de la Hoja La Brianza, Córdoba, Argentina. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédita.

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 allncastro

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 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

UNRC