

III Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea

Aguas Subterráneas: Producción de Alimentos y Abastecimiento Urbano



Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología

Compiladores:
OSCAR C. DUARTE
EDUARDO PUJATO
RICARDO A. VALENTI
MARTA PARIS



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE ENTRE RÍOS

**III Seminario
Hispano-Latinoamericano
de Temas Actuales de la
Hidrogeología**

**Aguas Subterráneas:
Producción de Alimentos y Abastecimiento Urbano**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Compiladores

Oscar C. Duarte
Eduardo Pujato
Ricardo A. Valenti
Marta Paris

III Seminario Hispano-Latinoamericano de temas actuales de la hidrología subterránea : agua subterránea, producción de alimentos y abastecimiento urbano - compilado por Oscar C. Duarte, Eduardo Pujato, Ricardo A. Valenti y Marta Paris 1a ed. - Buenos Aires : Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos - AIH, 2007.

160 p. : il. ; 26x19 cm.

ISBN 978-987-23936-2-5

1. Geofísica. 2. Hidrología. 3. Educación Superior. Lo. . I. Duarte, Oscar Carlos comp. II Pujato, Eduardo, comp. III Valenti, Ricardo A., com. IV Paris, Marta, comp
CDD 551

Fecha de catalogación: 27/09/2007



**Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología**

Primera Edición – Octubre 2007

Tirada: 500 ejemplares

Fecha de aparición: 01/10/2007

ISBN: 978-987-23936-2-5

Diseño y Diagramación: Impresos S.A.

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina – Printed in Argentina

Queda prohibida la reproducción total o parcial del texto de la presente obra en cualquiera de sus formas, electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y escrito del/los autores y/o del/los editores.

PRÓLOGO

Es una gran satisfacción presentar las Actas del III Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología. “Aguas Subterráneas: Producción de Alimentos y Abastecimiento Urbano”, desarrollado en el marco del V Congreso Argentino de Hidrogeología en la ciudad de Paraná en Octubre de 2007.

El objetivo general de este tercer Seminario es contribuir al conocimiento del agua subterránea como elemento clave de la producción de alimentos, riego, suministro de agua para ganado y el abastecimiento de agua potable. Se ha seleccionado esta temática, dada la importancia que reviste el recurso hídrico subterráneo en la Provincia de Entre Ríos, ya sea en las actividades productivas agropecuarias y como en el abastecimiento a más de 100 localidades en todo el territorio provincial.

Somos concientes que un modo de asegurar estos beneficios, no es sólo la concreción de la reunión en sí misma, sino la publicación de trabajos completos en extenso, pues ello asegura una más amplia difusión de los avances científicos presentados. Agradecemos a los integrantes del Comité Científico la dedicación y aportes puestos en la revisión de todas las ponencias. La cantidad y calidad de las contribuciones aquí presentadas, pone de manifiesto el continuo crecimiento y esfuerzo de los investigadores de esta disciplina.

Esperamos que esta publicación contribuya a la reafirmación de la importancia que tiene la generación y transferencia de conocimiento científico para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y, para lograr la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente aquellos involucrados en el proceso productivo agropecuario y el desarrollo urbano. Sin dudas todo esto, redundará en gran medida en beneficio de la Hidrogeología en la Argentina, pero fundamentalmente permitirá abrir puertas que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de la gente.

Queremos señalar los aportes y colaboraciones de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Argentino, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, la Universidad Nacional de Entre Ríos y las empresas privadas que han contribuido y colaborado para hacer realidad este Seminario.

COMISIÓN ORGANIZADORA
V CONAHI
Paraná, Octubre de 2007



V CONGRESO ARGENTINO
DE HIDROGEOLOGÍA

Organizan



Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE ENTRE RÍOS

Auspician





V CONGRESO ARGENTINO DE HIDROGEOLOGÍA

Comisión Organizadora Local

PRESIDENTE

Eduardo Luis Díaz (UNER)

SECRETARIO

Oscar Duarte (UNER –DH Entre Ríos)

TESORERO

Dora Sosa (INA)

VOCALES

Eduardo Pujato (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos)

Jorge Tomás (Dirección de Minería Entre Ríos)

María Santi (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos)

Marta Paris (UNL)

Mónica D'Elía (UNL)

Ricardo Valenti (UNER)

REVISOR DE CUENTAS

Oscar Dalla Costa (PROINSA)

Comisión Directiva Grupo Argentino – AIH

PRESIDENTE

Ofelia C. Tujchneider (CONICET - Univ. Nacional del Litoral)

VICE-PRESIDENTE

Mónica Blarasín (Univ. Nacional de Río Cuarto)

SECRETARIO

Marcela Pérez (Univ. Nacional del Litoral)

TESORERO

Daniel Martínez (Univ. Nacional de Mar del Plata)

VOCALES

Guillermo Baudino (Univ. Nacional de Salta)

Norberto Bucich (Instituto Nacional del Agua)

Eduardo Kruse (Univ. Nacional de La Plata)

(Past-President) Daniel Martínez (Univ. Nacional de Mar del Plata)



III SEMINARIO LATINOAMERICANO DE TEMAS ACTUALES DE HIDROGEOLOGÍA

Los artículos incluidos en la presente acta han sido evaluados por el comité científico. Ha sido responsabilidad de los autores realizar las correcciones según las sugerencias de los evaluadores, los editores no asumen responsabilidad alguna por eventuales errores gramaticales u ortográficos (incluido el abstract), por la calidad y tamaño de los gráficos e imágenes, ni por los contenidos de los trabajos incluidos en esta publicación. Las contribuciones se publicaron tal como fueron enviadas en soporte informático con leves adaptaciones de su formato con la finalidad de conferirles uniformidad con el resto, en un todo de acuerdo con las normas de edición previamente establecidas.

Comité Científico

René Albouy (Universidad Nacional del Sur. Argentina)
Miguel Auge (Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina)
José Benavente Herrera (Universidad de Granada. España)
Mónica Blarasin (Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina)
Emilia Bocanegra (Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina)
José Bolzicco (TUBKAL S.L. España)
Guillermo Bonorino (Universidad Nacional del Sur. Argentina)
Norberto Bucich (Instituto Nacional del Agua. Argentina)
Lucila Candela (Universidad Politécnica de Catalunya. España)
Jorge Carrica (Universidad Nacional del Sur. Argentina)
Antonio Martín Castillo (Universidad de Granada. España)
Ernani F. Da Rora Filho (Universidad de Federal de Paraná. Brasil)
Mónica D'elia (Universidad Nacional del Litoral. Argentina)
Eduardo L. Díaz (Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina)
Nilda González (Universidad Nacional de La Plata. Argentina)
Mario Hernández (Universidad Nacional de La Plata. Argentina)
Eduardo Kruse (Universidad Nacional de La Plata. Argentina)
Claudio Lexow (Universidad Nacional del Sur. Argentina)
Eduardo MARIÑO (Universidad Nacional de La Pampa. Argentina)
Daniel MARTINEZ (Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina)
Xavier Jorge Montaña (Universidad de La República. Uruguay)
Héctor Panarello
(Inst. de Geocronología y Geología Isotópica-INGEIS. Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina)
Marta Paris (Universidad Nacional del Litoral. Argentina)
Antonio Paz González (Universidad de La Coruña. España)
Marcela Pérez (Universidad Nacional del Litoral. Argentina)
Antonio Pulido Bosch (Universidad de Almería. España)
Leticia Rodríguez (Universidad Nacional del Litoral. Argentina)
Carlos Schulz (Universidad Nacional de La Pampa. Argentina)
Adrián Silva Busso (Universidad de Buenos Aires. Argentina)
Alfredo Tineo (Universidad de Tucumán. Argentina)
Ofelia Tujchneider (Universidad Nacional del Litoral. Argentina)
Eduardo Usunoff (Instituto de Hidrología de Llanuras-UNICEN. Argentina)
Marcelo Raúl Varni (Instituto de Hidrología de Llanuras-UNICEN. Argentina)
Luis Vives (Instituto de Hidrología de Llanuras-UNICEN. Argentina)
Pablo Weinsettel (Instituto de Hidrología de Llanuras-UNICEN. Argentina)
Eric Zimmermann (Universidad Nacional de Rosario. Argentina)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS

RECTOR

Cr. Eduardo Francisco José Asueta

VICERECTORA

Lic. Eloísa De Jong

SECRETARÍAS DE RECTORADO

Secretaría Académica

Secretaria: Lic. Susana Esther Celman

Subsecretaria de Asuntos Académicos

Subsecretaria: Prof. María Margarita Hraste

Secretaría de Inv. Científicas, Tecnológicas y de Formación de Recursos Humanos

Secretaria: Ing. Schwab, María del Carmen

Secretaría de Extensión Universitaria y Cultura

Secretario: Ingeniero Agrónomo Diego Eduardo SAINTE MARIE

SECRETARÍA GENERAL

Secretario: Cr. Hipolito B. Fink

SECRETARÍA ECONÓMICA FINANCIERA

Secretario: Cr. Hugo Rómulo Larrazábal

SECRETARÍA DE ASUNTOS ESTUDIANTILES Y DE LOS GRADUADOS

Coordinador a cargo de la Secretaría: Contador Guillermo Victorio

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DECANO

Ing. Agr. Gabriel Villanova

VICEDECANO

Ing. Agr. Liliana Zimmermann

SECRETARIO ACADÉMICO

Ing. Felicia Dora Zuriaga

SECRETARIO GENERAL

Lic. Ricardo Antonio Valenti

SECRETARIO DE CIENCIA Y TÉCNICA

Ing. Agr. Víctor Hugo Lallana

SECRETARIO DE EXTENSIÓN

Ing. Agr. Betina Tonelli

DIRECTOR DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Ing Agr. Rafael Sabattini

RESUMEN DE CONTENIDOS

Estudio para la provisión de agua subterránea a la localidad de La Toma Dpto. Pringles San Luis - Argentina	
Mora, P. y Hauria, N.	13
Diagnóstico y gestión del recurso hídrico subterráneo en la ciudad de San Carlos de Bolívar, Buenos Aires, Argentina.	
Comas, R. y Ruíz de Galarreta, A.	25
Pautas para la planificación ambiental sustentable del recurso hídrico en Tandil, Provincia de Buenos Aires	
Latella, B. y Ruíz de Galarreta, A.	35
Interrelación entre variables socioeconómicas y la calidad del agua de bebida para la gestión integral del recurso hídrico.	
Peluso, F.; Othax, N. y Usunoff, E.	47
Sustentabilidad de la explotación de aguas subterráneas en el partido de La Costa, Provincia de Buenos Aires	
Bocanegra, E; Massone, H.; Ferrante, A; Iuretig, M.; Quiroz Londoño, M. y Bernasconi, M. V.	57
Problemática del agua para consumo humano en dos barrios de la ciudad de Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina.	
González Castelain, J.; Suhurt, V. y Othax, N.	65
Análisis de la calidad del agua de pozos de provisión a la localidad de Catrillo, La Pampa.	
Dalmaso, M.; Mariño, E. y Tullio, J.	75
Caracterización geoambiental en el área de Quemú-Quemú, La Pampa, con énfasis en los recursos hídricos.	
Schulz, C. y Irrbarre, M.	85
Variación areal y temporal del recurso hídrico subterráneo en el sector nororiental de la costa bonaerense.	
Carretero, S. y Kruse, E.	95

Situación actual del uso del recurso hídrico con fines de riego, en la zona de Traslasierra, Provincia de Córdoba.	
Fiorentino, S.; Cebollada y Verdaguer, M. del P.	105
El sistema de información geográfica de la formación Salto Chico. Entre Ríos.	
Romero, E.; Díaz, E.; Duarte, O. y Valenti, R. A.	117
Las aguas subterráneas de la formación Salto Chico. Hidroquímica y aptitud en la producción agropecuaria.	
Díaz, E.; Duarte, O.; Romero, E. y Valenti, R. A.	125
Uso conjunto de herramientas para la detección de agua dulce. Departamento Vera, Santa Fe, Argentina.	
Delgadino, C.	133
Estudio hidrogeológico del SAG en los alrededores de la ciudad de Tacuarembó, Uruguay.	
Montaño, M.; Montaño, J.; Gaucher, C.; Gagliardi, S. y Collazo, P.	145

ESTUDIO PARA LA PROVISIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA A LA LOCALIDAD DE LA TOMA DPTO. PRINGLES - SAN LUIS - ARGENTINA

Morla, Pedro N.^{1,2} y Hauria, Norberto U.²

¹ Dpto. Geología, Universidad Nacional de San Luis – Ejercito de Los Andes 950 –San Luis (5700), Argentina. pmorla@unsl.edu.ar Tel. 02652-423917

² Subprograma Obras Hídricas, Ministerio de Obra e Infraestructura, Gob. Prov. de San Luis – Ayacucho esq. Rivadavia –San Luis (5700). Tel. 02652- 451263/65

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo, el estudio hidrogeológico de un área aledaña a la localidad de La Toma, con el fin de poder determinar la existencia de agua subterránea de calidad físico-química y caudal suficiente para la provisión a dicha localidad. Se realizó una recopilación y evaluación de todos los antecedentes hidrogeológicos de las zonas más cercanas a la localidad, elaborándose mapas hidroquímicos con la ubicación de las áreas de mejores condiciones de aptitud para uso humano. En base a los mapas ejecutados se delimitó un área de aproximadamente 150 Km² al SSE de la localidad, en donde en una segunda etapa se realizó una campaña para toma de datos actualizados de los pozos y perforaciones, extrayéndose muestras de agua para análisis físico-químicos completos, con los que se elaboraron nuevos mapas. Con estos nuevos datos se propuso y ejecutó una perforación de estudio hasta el basamento cristalino, con el fin de determinar la posibilidad de alumbramientos de nuevos acuíferos, realizándose perfilaje eléctrico, análisis granulométrico y entubado en seis pulgadas. Se realizó un ensayo de bombeo de larga duración, con toma de muestras de agua cada 12 horas, por duplicado, para análisis físico-químico, los que indicaron que el agua es apta para consumo humano de acuerdo al Código Alimentario Argentino. Se determinaron los parámetros hidráulicos de los acuíferos, dando una transmisividad de 345 m²/día y permeabilidad de 9 m/día, con un caudal específico de 19 m³/h/m.

Palabras claves: Hidroquímica - parámetros hidrológicos - caudal.

ABSTRACT

This work aims to study the hydrogeology of an area located nearby the town of La Toma with the purpose of determining the existence of underground water with physical-chemistry quality and enough flow for supplying this town. It was conducted a compilation of the available hydrogeological information of the surrounding areas and hydrochemical maps have been developed with the location of areas with better performance for human use. Based on the refereed maps, an area of approximately 150 Km² SSE of La Toma was targeted, where in a second stage a field work was conducted to obtain data of the wells. Water samples allowed the construction of new maps. With these new data it was proposed and conducted an exploratory

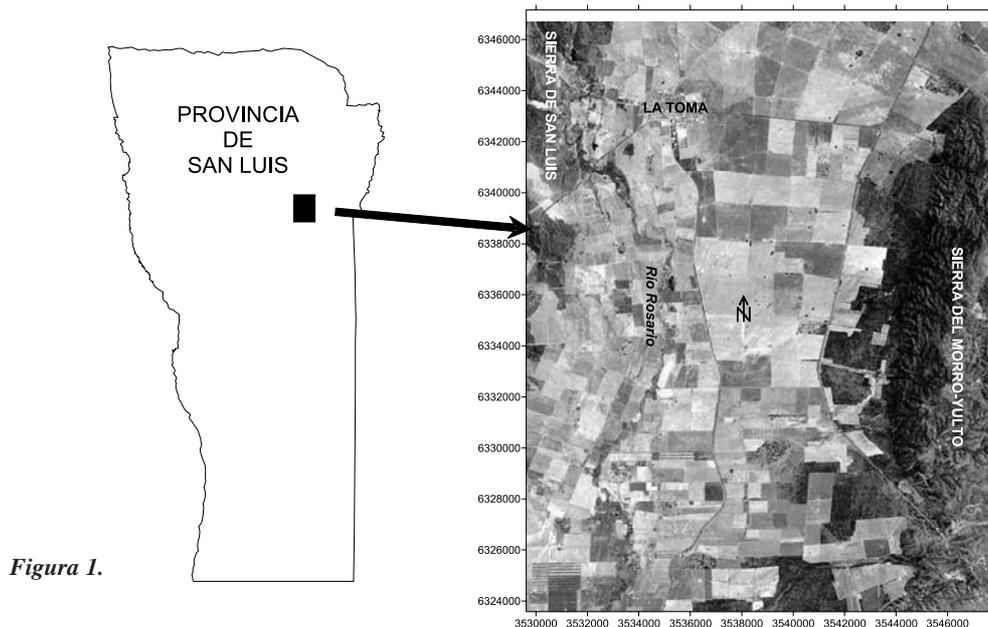
well until the top of the crystalline basement with the goal of discovering new aquifers. Therefore electric profiling, granulometric analysis was done, and then a twelve inches pipeline was settled.

A long-lasting pumping test was done taking duplicated water samples every twelve hours, for physico-chemical analysis, which indicated that its quality meets the standards required by the Cod. Aliment Arg. for human use. The hydraulic parameters of the aquifers indicated a “transmissivity” of 345 m²/day and permeability of 9 m/day, with an specific flow of 19 m³/h/m.

INTRODUCCIÓN

La localidad de La Toma capital del departamento Coronel Pringles, está ubicada aproximadamente a 85 km al noreste de la ciudad de San Luis, desde donde se accede por Autopista Ruta 20. El abastecimiento de agua para uso humano a la localidad de La Toma históricamente se ha efectuado desde el río Rosario, el cual drena el agua superficial de la cuenca homónima, con una superficie de 265 Km². La captación de agua se hace a través de un dique parrilla ubicado al oeste noroeste de la localidad, y es conducida por un canal revestido hasta la planta potabilizadora. Dicho río con un caudal medio de 0,660 m³/seg, en época de estiaje disminuye su caudal a valores extremos, llegándose a secar; motivando que en varias ocasiones fuera declarada la emergencia hídrica en la localidad. Para dar solución a este problema se han realizados perforaciones en el subálveo del río, cerca de la planta potabilizadora, las que no dieron caudales suficiente para asegurar la provisión. Por tal motivo el Gobierno de la Provincia de San Luis, a través del Subprograma Obras Hídricas, realiza el estudio hidrogeológico de un área aledaña a la localidad de La Toma, con el fin de poder determinar la existencia de agua subterránea de calidad físico-química y caudal suficiente para el abastecimiento a la población.

La zona de estudio se ubica según coordenada gauss krugger X: entre 3.529.650 y 3.478.000 e Y: entre 6.323.600 y 6.347.000, abarcando el valle del río Rosario entre la Sierra del Morro y Yulto al este y la Sierra de San Luis al oeste (Figura N° 1).



GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

En la región de estudio pueden distinguirse tres unidades fisiográficas que guardan estrecha relación entre sí, siendo su diferenciación, consecuencia de los movimientos tectónicos que modificaron el relieve primitivo. Estas unidades son: 1- conformada por el Cerro El Morro, Los Morrillos y la Sierra de Yulto, al este 2- la Sierra de San Luis al oeste, y 3- la porción central que corresponde a la antigua penillanura de la Sierra de San Luis rellena por sedimentos Terciarios y Cuaternarios como consecuencia del hundimiento de la misma hacia el este, y sur por la fracturación que afectó a dicho sector, la que se verifica con el fallamiento al pie de la Sierras del Morro y Yulto, y su prolongación al norte en la Sierra de San Felipe (Figura N° 1).

En las dos primeras unidades se destacan complejos metamórficos dominados por diversos tipos de esquistos, gneises y migmatitas, cuyas edades se asignan al Precámbrico superior-Paleozoico inferior. Aparecen también litologías representativas de eventos ígneos del Paleozoico inferior y del Cenozoico.

Los procesos fluviales y eólicos se destacan en el modelado del paisaje y en la depositación de los sedimentos recientes. Los bloques serranos exhiben un paisaje tectónico que aún muestra una vinculación directa con las fallas responsables del levantamiento de los mismos.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres etapas:

- En la primera etapa se realizó la recopilación y evaluación de los antecedentes disponibles de las zonas más cercanas a la localidad de La Toma; los trabajos hidrogeológicos consultados corresponden a: 1- Estudio de las características hidrogeológicas y químicas de las aguas superficiales y subterráneas en la localidad de La Toma y alrededores – ATEAS –(1974/75); 2- Estudio hidrogeológico de la cuenca del Río Quinto (Porción superior y media), Provincia de San Luis. INCYTH- (1978); e 3- Hidrogeología de los acuíferos superiores de la zona central de la Provincia de San Luis - Proyecto de Recursos Hidrológicos Subterráneos de San Luis, Convenio Bureau of Rural Sciences, Australia – Gobierno de la Pcia. de San Luis, 2002.

En base a estos trabajos se seleccionó el área de estudio (Figura N° 1), ubicándose dentro de ella 57 manifestaciones hídricas censadas de pozos y perforaciones que se encuentran en los archivos del Subprograma de Obras Hídricas de la Provincia de San Luis. Con los datos hidroquímicos se elaboraron mapas con los contenidos de sólidos disueltos, sulfatos, arsénico y flúor en el agua subterránea (Figuras 2, 3, 4 y 5), los que se superpusieron para seleccionar un área en la que todos los parámetros físico-químico están dentro de las condiciones de aptitud para consumo humano (Figuras 6, 7, 8, 9 y 10).

- En una segunda etapa se realizaron salidas de campo para tomar datos actualizados de las 13 manifestaciones hídricas existentes en el área seleccionada en la primera etapa. Se ubicaron mediante GPS la posición de los pozos y perforaciones, se midió el nivel estático, la conductividad eléctrica del agua, y se tomaron muestras de agua de cada una de las manifestaciones para la ejecución de análisis físico-químico, las que fueron enviadas al Laboratorio de Bromatología del Ministerio de Salud del Gobierno de la Provincia de San Luis. Con los resultados de los análisis realizados del agua subterránea se confeccionaron nuevos mapas de contenidos de sólidos disueltos, cloruros, dureza total, sulfatos y arsénico, y a partir de la superposición de estos mapas, se seleccionó un área con valores menores a los máximos permitidos para uso humano. Dentro de esta se propuso la ejecución de una perforación de estudio o exploratoria que atraviesa-

ra toda la secuencia sedimentaria por encima del basamento cristalino, debido a que los pozos y perforaciones existentes han sido perforados o cavados a cielo abierto hasta la capa freática (Figura 11).

- La tercer etapa consistió en la ejecución de la perforación de estudio o exploratoria, la que se realizó hasta la profundidad de basamento cristalino. Los trabajos se iniciaron el día 19 de Octubre del 2004, y la perforación se ubicó a 7 Km al SSE de la localidad de La Toma en la Estancia “La Guillermina”, propiedad de los señores Remo y Emilio Nicola, según coordenadas gauss krugger X: 3.538.178 e Y: 6.337.028. Se perforó con diámetro 8 5/8 pulgadas, utilizándose una máquina rotativa Franks 2.000, extrayéndose muestras de terreno cada metro; una vez finalizada la perforación exploratoria se realizó perfilaje eléctrico, en el que se utilizó un equipo perfilador MOUNT SOPRIS, modelo 1000-C, con una sonda combinada MOUNT SOPRIS HLP-2375/S. Las unidades usadas fueron: cps (cuentas por segundo) para gama, mV para potencial espontáneo y ohm/m para resistividad.

Se ejecutaron análisis granulométricos de las muestras de terreno atravesado, que corresponden a capas acuíferas según lo determinado por perfilaje geoelectrico.

Una vez entubado se realizó la limpieza y engravado de la misma, mediante la utilización de jet hidráulico y compresor. Para el desarrollo de la perforación se bajó una electrobomba, con una capacidad de extracción de 120.000 lts/h a 80 m de profundidad.

RESULTADOS

En la primera etapa del trabajo, con la confección y superposición de los mapas hidroquímicos de sólidos disueltos, sulfatos, arsénico y flúor (Figuras N° 2, 3, 4 y 5) se pudo seleccionar un área de condiciones físico-químicas del agua subterránea, aptas para uso humano, la que se representa en las figuras N° 6, 7, 8, 9 y 10.

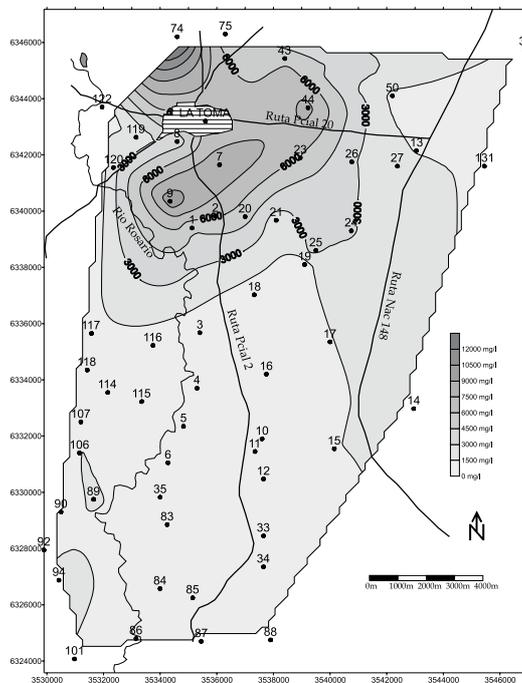


Figura N° 2. Sólidos Disueltos.

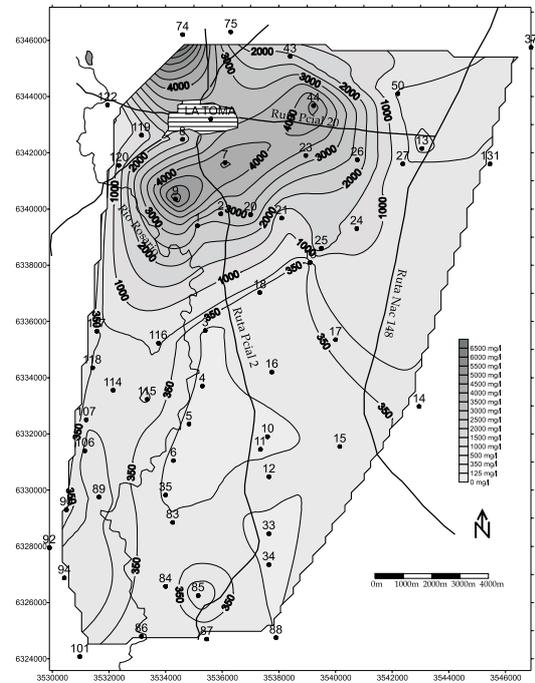


Figura N° 3. Sulfatos.

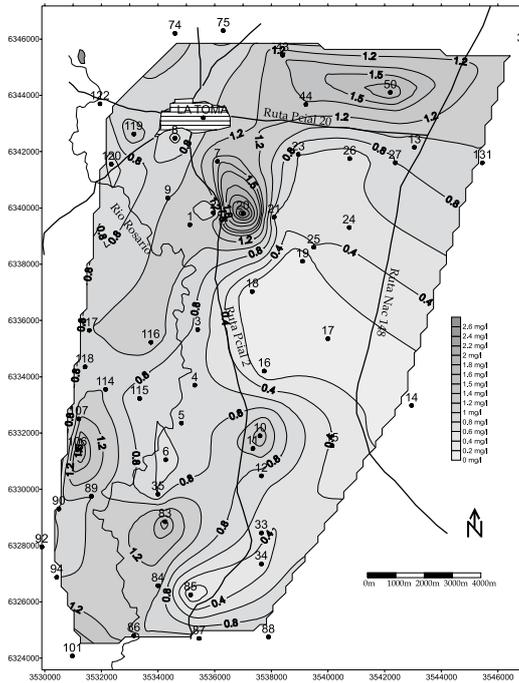


Figura N° 4. Flúor.

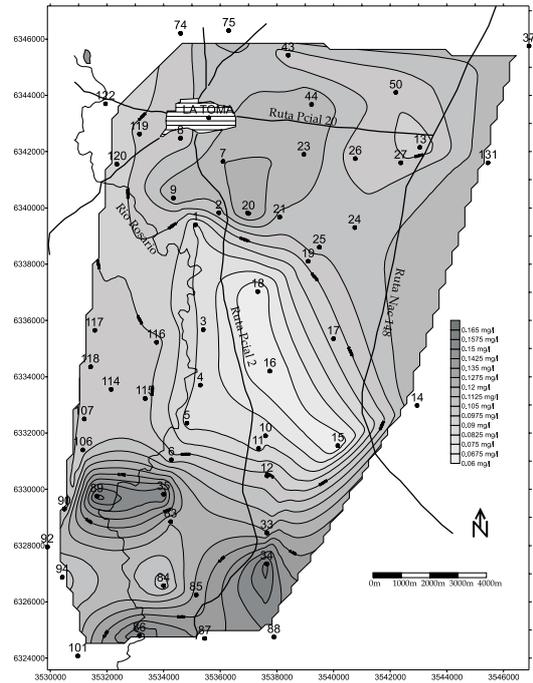


Figura N° 5. Arsénico.

En la segunda etapa del trabajo, en base a la información de campo y resultados de análisis físico-químico del agua extraída en las 13 manifestaciones hídricas (Tabla N°1), se ejecutaron mapas hidroquímicos de contenido de sólidos disueltos, cloruros, dureza total, sulfatos y arsénico (Figuras N° 6, 8, 9 y 10). Como resultado de esta etapa se pudo determinar que los datos obtenidos de los análisis físico-químico, los valores del contenido de los diferentes aniones y cationes se mantenían similares a los datos de archivo; estableciéndose que el nivel del agua en los pozos ha subido entre 3 y 10 m. En base a los mapas confeccionados en esta etapa y donde los contenidos de los elementos químicos eran menores a los máximos permitidos para uso humano según el Código Alimentario Argentino, se estableció la ubicación del pozo exploratorio, que se ejecutó en la tercer etapa del trabajo.

Tabla N° 1.

Coordenadas		N	Cota Terreno	Prof. Perforada	Nivel Estático	TSD	Cl ⁻	Dur. Total	Dur. Ca ²⁺	Dur. Mg ²⁺	Alc Total	SO ₄ ²⁻	As ⁻	CE	pH
X	Y	Identificación	m	m	m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
3536296	6339740	Mol 1			23.8	3061	245	484	400	84	28	1625	0.02	3600	7.6
3538236	6338362	GDHN1				1033	99.4	288				192		1347	8.2
3537152	6339930	20	874.8	38.7	27.4	1150	88.7	156	114	42	26	315	0.012	1353	8.2
3538295	6339860	21	875.0	56.7	40.3										
3537530	6337127	18	871.2	37.9	26.2	1143	176	400	340	60	68	231	0.006	1345	7.8
3538195	6334288	16	858.7	45	34.3	1096	131	156	84	72	30	372	0.013	1289	7.8
3536167	6339903	2	870.8	33.5	22.9	4175	419	700	590	110	28	2048	0.023	4910	7.2
3538073	6330381	12	861.0	55	46.7	1318	551	200	128	72	21	411	0.006	1550	7.5
3541011	6331353	15	877.1	86	69.8	1819	469	560	436	124	19	285	0.002	2140	8.4
3537761	6331411	11	859.4	47.8	39.3	1020	106	168	52	116	16	301	0.006	1200	8.0
3537962	6332133	10	860.0	48.2	37.9	2279	326	428	350	78	19	970	0.018	2680	8.4
3535697	6333742	4	852.0	24.8	11.7	399	21.3	156	124	32	31	74.3	0.004	557	8.2
3535786	6335636	3	859.0	27.1	14.1	459	24.8	190	140	50	25	125	0.012	641	7.8

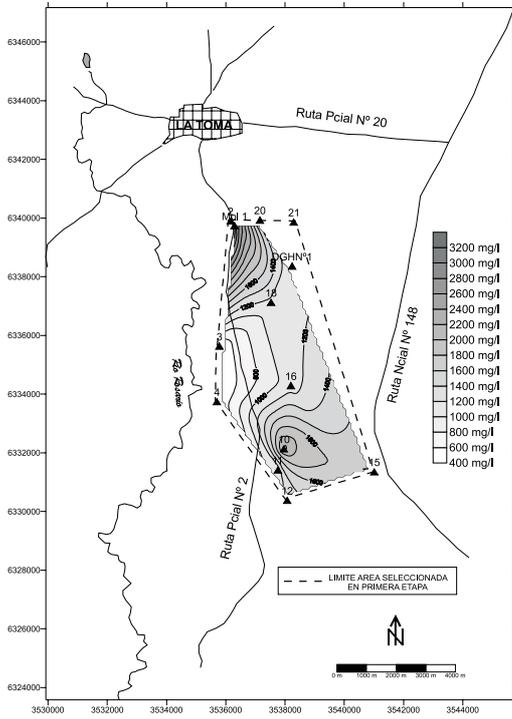


Figura 6. Sólidos Disueltos.

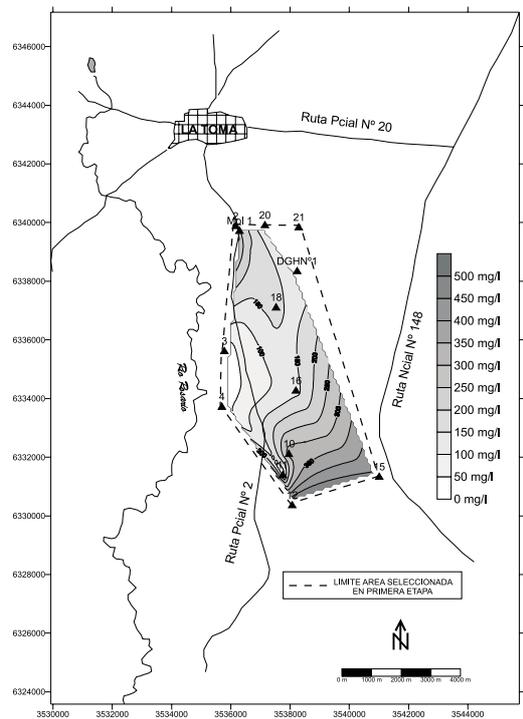


Figura 7. Cloruros.

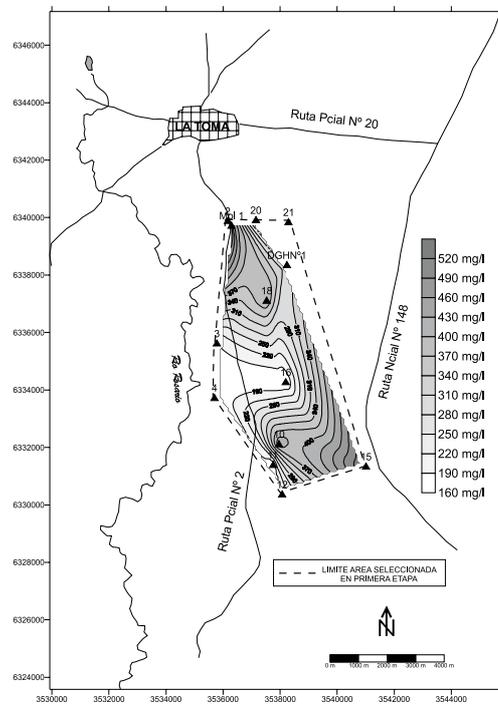


Figura 8. Dureza Total.

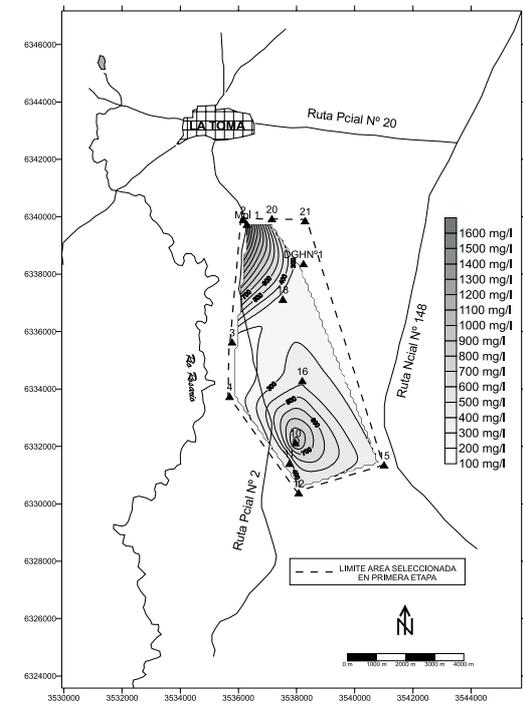


Figura 9. Sulfatos.

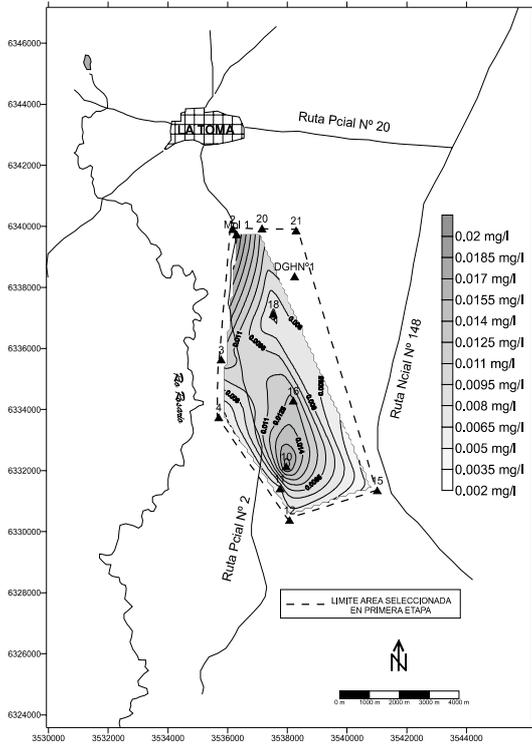


Figura 10. Arsénico.

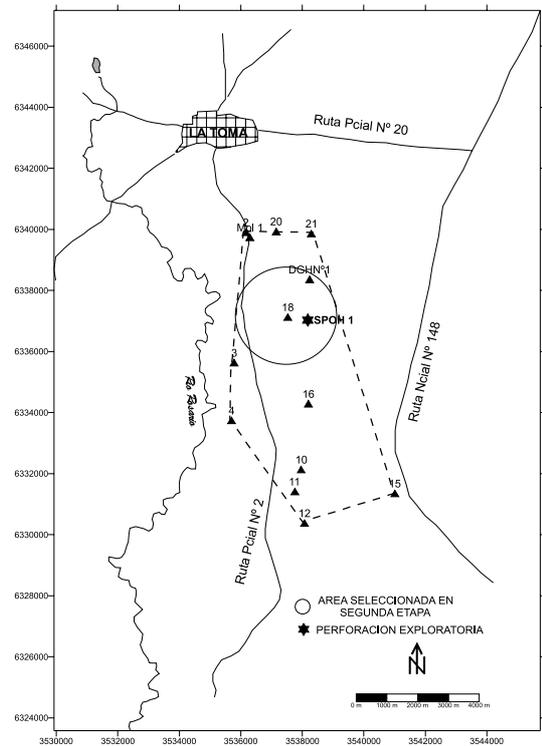


Figura 11. Ubicación Perforación de Estudio.

Como resultado de la tercer etapa, sobre la base de la columna estratigráfica atravesada, el perfilaje eléctrico y análisis granulométricos de las zonas acuíferas, se realizó el detalle de entubación, ubicándose los filtros en la parte inferior del acuífero libre, y en seis formaciones acuíferas semiconfinadas (Figura Nº12). La profundidad del basamento cristalino se tocó a 139 m desde boca de pozo. La cañería de entubación colocada es de 12 y 8 pulgadas de diámetro, de acero sin costura y sin rosca, y con un espesor de pared de 6,5 mm; los filtros colocados son de 12 y 8 pulgadas de diámetro, galvanizados y de ranura continua de 1,00 y 0,75 mm de abertura. El detalle de la cañería de entubación se describe en la Tabla Nº 2.

Detalle de entubado			Detalle de Filtros			
Diámetro En pulg.	Desde (m)	Hasta (m)	Diámetro en pulg.	Espesor ranura en mm	Desde (m)	Hasta (m)
12	+ 0,50	-42,00	12	1,00	-42,00	-47,00
12	-47,00	-64,50	12	1,00	-64,50	-69,50
12	-69,50	-77,00	12	1,00	-77,00	-85,00
12	-85,00	-88,00	12	0,75	-88,00	-91,00
12	-91,00	-99,00	8	1,00	-99,00	-102,00
8	-102,00	-123,50	8	1,00	-123,60	-130,60
8	-130,60	-133,60	8	1,00	-133,60	-138,60
8	-138,60	-139,00				

Tabla Nº 2

LOCALIDAD: LA TOMA - PROVINCIA: SAN LUIS

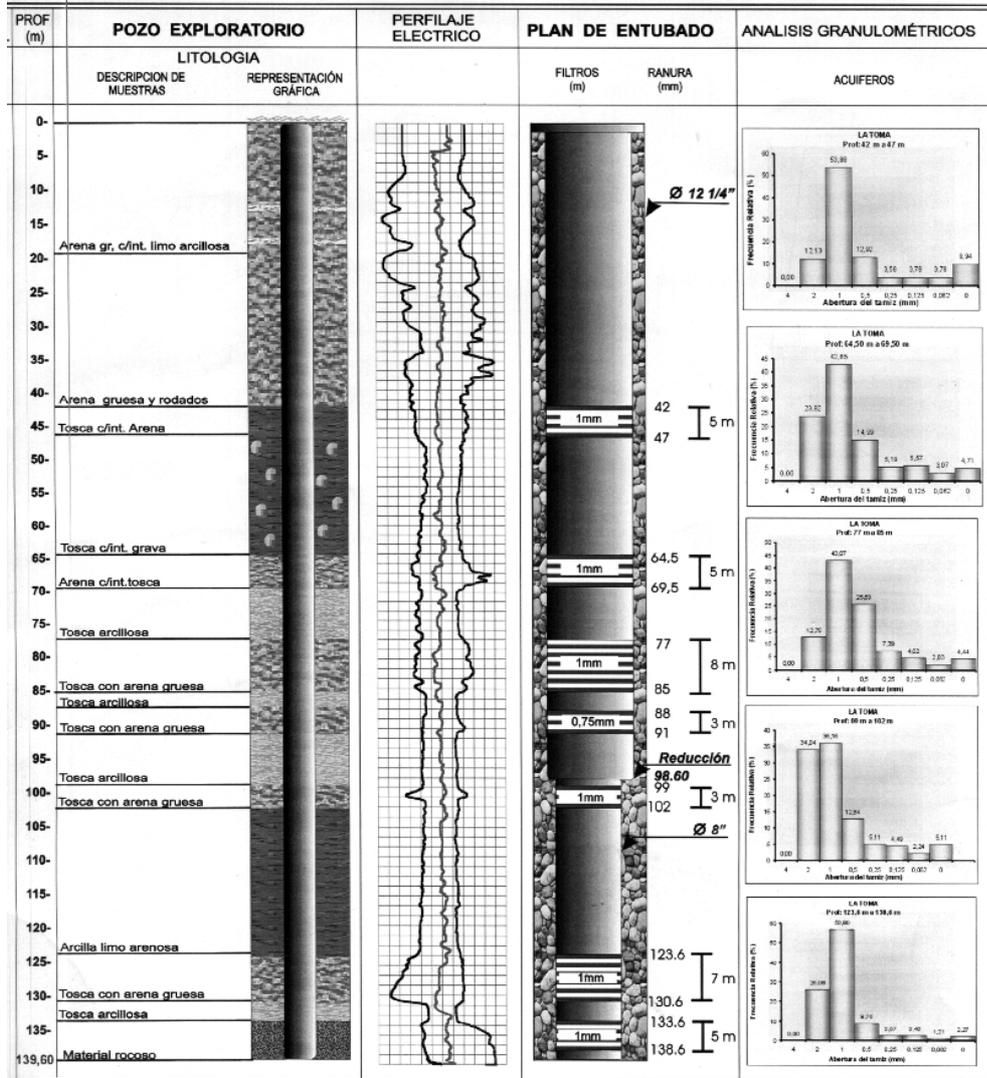


Figura 12. Perfil integral de la perforación de estudio.

Después del desarrollo se realizó entre los días 3 y 6 de noviembre de 2004 un ensayo de bombeo de larga duración; donde se tomaron los datos de nivel estático, nivel dinámico, depresión, caudal de bombeo, y además se extrajeron siete (7) muestras de agua por duplicado, a intervalos de 12 horas c/u, para análisis físico-químico completos. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de la Facultad de Química-Bioquímica y Farmacia de la Universidad Nacional de San Luis, y el duplicado al Laboratorio de Bromatología del Gobierno de la Provincia de San Luis, cuyos datos se encuentran en la Tabla N° 3.

Datos análisis físico-químico perforación La Toma SPOH N° 1												
Laboratorio: de Química Analítica Ambiental -Facultad de Química-Bioquímica y Farmacia UNSL												
Muestra N°	Hora Muest	TSD mg/l	pH	Dureza ppm CO3	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	As ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	So4 ²⁻ mg/l	F ⁻ mg/l
1	10,30	589	7,85	193,0	77,2	4,70	221,6	9,6	n/d	111,8	370,0	1,21
2	21,00	590	7,83	227,7	83,2	4,80	205,0	8,8	n/d	111,2	365,0	1,22
3	9,00	591	7,83	202,9	77,2	2,38	209,2	9,7	n/d	108,5	350,0	1,22
4	21,00	583	7,88	212,8	79,2	3,59	204,0	9,6	n/d	110,2	342,0	1,18
5	9,00	584	7,88	183,0	73,2	2,44	202,1	9,4	n/d	107,9	335,0	1,24
6	21,00	570	7,85	202,1	80,8	5,01	213,2	10,2	n/d	109,2	369,0	1,22
7	9,00	582	7,88	212,3	84,9	2,55	210,0	9,9	n/d	121,3	345,0	1,24
Laboratorio de Bromatología del Gobierno de la Provincia de San Luis												
1	10,30	987	7,90	184,0						118	312	
2	21,00	1000	8,20	182,0						118	307	
3	9,00	1000	8,10	184,0						116	301	
4	21,00	987	8,20	180,0						115	327	
5	9,00	988	8,20	183,0						112	327	
6	21,00	988	8,20	182,0						113	331	
7	9,00	985	8,00	184,0						110	311	

Tabla N° 3

La calidad físico-química de las muestras extraídas durante el ensayo de bombeo, se mantuvo constante durante las 72 horas que se ejecuto el mismo.

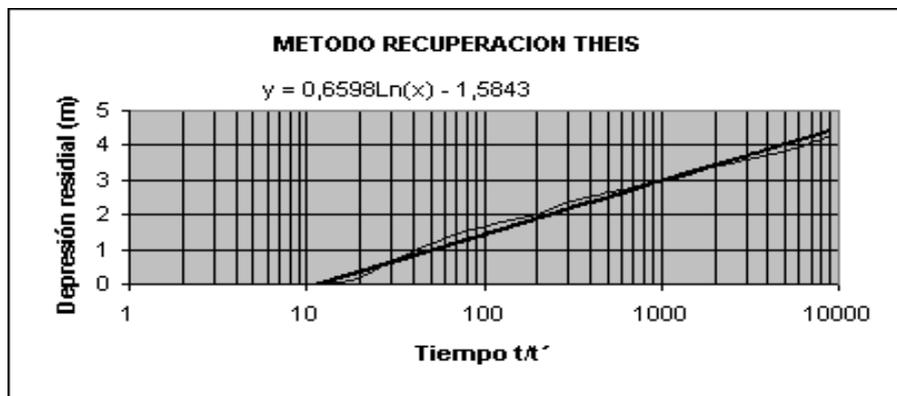
En el ensayo de bombeo se determinó que: el nivel estático es de - 36,25 m a boca de pozo, y con un caudal de bombeo constante de 120.000 lts/h, el nivel dinámico fue de -42,47 m, produciéndose una depresión de 6,22 m; lo que da un caudal específico de 19 m³/h/m (Tabla N° 4). Con estos datos del ensayo de bombeo y usando el método de recuperación de Theis, se determinó para el conjunto de los acuíferos una transmisividad de 345 m²/día y una permeabilidad 9 m/día (Figura N° 13).

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los antecedentes con los que se elaboraron los mapas de la etapa 1 del presente trabajo, donde las perforaciones y/o pozos no fueron realizados hasta basamento cristalino, sino que extraen agua de la capa freática y los análisis físico-químico corresponden a ésta; y que posteriormente al término de este estudio, en la Estancia La Onakera, ubicada 8 km al NNE de la ciudad de La Toma fueron ejecutadas varias perforaciones hasta basamento cristalino, y de acuerdo a lo informado verbalmente por la Empresa perforista Pagliano Perforaciones, que la secuencia sedimentaria atravesada es de similares características a las encontrada en la zona de estudio, como así también la calidad físico-química del agua alumbrada; los autores proponen que se deberían intensificar los estudios en la zona intermedia entre estancia La Onakera y el área estudiada, con el objeto de determinar si los acuíferos semiconfinados tienen o no continuidad espacial.

Tabla N° 4. Ensayo de bombeo.

DEPRESIÓN					
Hora/día	Tiempo progr. en minutos t	Nivel de Agua m	Depresión m	Caudal Aforado m3/h	
9 (03/11/2004)	0	36,25			
	10	40,60	4,35		
	15	40,80	4,55	120	
	20	41,06	4,81		
	26	41,25	5,00		
	32	41,32	5,07		
	46	41,46	5,21		
	60	41,59	5,34	120	
	120	41,85	5,60		
	360	42,03	5,78		
	720	42,45	6,20		
	2160	42,47	6,22		
	4320	42,47	6,22	120	
RECUPERACIÓN					
Hora	Tiempo inició t (minutos)	Tiempo detención t' (minutos)	Nivel de Agua m	Depresión residual en m s'	t/t'
9 (06/11/2004)	4320,0	0,00	42,47	6,22	
	4320,5	0,50	40,47	4,22	8640,0
	4321,0	1,00	40,00	3,75	4320,0
	4322,0	2,00	39,70	3,45	2160,0
	4323,0	3,00	39,50	3,25	1440,0
	4325,0	5,00	39,20	2,95	864,0
	4330,0	10,00	38,80	2,55	432,0
	4335,0	15,00	38,57	2,32	288,0
	4340,0	20,00	38,32	2,07	216,0
	4350,0	30,00	38,12	1,87	144,0
	4380,0	60,00	37,70	1,45	72,0
	4440,0	120,00	37,05	0,80	36,0
	4500,0	180,00	36,62	0,37	24,0
	4560,0	240,00	36,38	0,13	18,0
	4620,0	300,00	36,30	0,05	14,4
15,00	4680,0	360,00	36,26	0,01	12,0
	4700,0	380,00	36,25	0,00	11,4



T= 345 m²/día
K= 9,6 m/día

Figura 13.

CONCLUSIONES

En base a estos resultados el Subprograma de Obras Hídricas llamó a Licitación Pública a fines del año 2005, para la ejecución de la obra para provisión de agua a la localidad de La Toma, con la ejecución de dos perforaciones de explotación, una estación de bombeo y un acueducto de aproximadamente 9 km de longitud hasta planta potabilizadora. Las perforaciones fueron ubicadas a 100 m una de otra desde la perforación de estudio, con características similares a la exploratoria. Durante su explotación en el verano 2006-2007 con un caudal de 180.000 lts/h, se han realizado periódicamente análisis físico-químico del agua, la que ha mantenido sus parámetros menores a los máximos permitido por el Código Alimentario Argentino.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Jefe del Subprograma Obras Hídricas del Ministerio de Obra Pública e Infraestructura de la Provincia de San Luis, Ing. Héctor Filipello, el haber permitido el uso de la información generada en el ámbito del departamento Hidrología de ese Subprograma; como así también al Dr. Carlos Costa, director del proyecto "Principales estructuras neotectónicas Argentinas", Universidad Nacional de San Luis, por la lectura crítica de todo el trabajo; y a la Empresa Pagliano Perforaciones por la información verbal aportada.

REFERENCIAS

- ASOCIACIÓN TÉCNICA PARA ESTUDIOS DE AGUA Y SUELO (ATEAS), 1974/75.** Estudio de las características hidrogeológicas y químicas de las aguas superficiales y subterráneas en la localidad de La Toma y alrededores.
- CONVENIO BUREAU OF RURAL SCIENCES, AUSTRALIA - GOBIERNO DE LA PCIA. DE SAN LUIS (2002).** Proyecto de Recursos Hidrológicos Subterráneos de la Provincia de San Luis. Hidrogeología de los acuíferos superiores de la zona central de la Provincia de San Luis. Informe Final Fase II.
- COSTA, C., ORTIZ SUÁREZ, A., R. MIRÓ, CHIESA, J., GARDINI, C., OJEDA, G., ULACCO, H., TOGNETTI, MORLA, P. Y E. STRASSER (2002).** Hoja Geológica 3366-IV Villa Mercedes, provincias de San Luis y Córdoba - Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, escala 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino - Instituto de Geología y Recursos Minerales - Universidad Nacional de San Luis. Inédito
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M. R. (1976).** Hidrogeología subterránea, Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- VARGAS ARANIBAR, A. T., (1978).** Estudio hidrogeológico de la cuenca del Río Quinto (Porción superior y media), Provincia de San Luis. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH), Buenos Aires - República Argentina.

DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA CIUDAD DE SAN CARLOS DE BOLÍVAR, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Comas, Rocío¹ y Ruiz de Galarreta, Alejandro²

¹ Salustiano Rivas 963 Dpto 6. Tandil. 02293-15477503 rocio_comas@hotmail.com

² CIC - CINEA - Universidad Nacional del Centro (UNICEN) - Tandil Campus Universitario, Tel.: 0054-2293-439751/52/58/70, agala@fch.unicen.edu.ar

RESUMEN

A efectos de conocer el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo del cual se abastece la ciudad de San Carlos de Bolívar, es que se efectuó el análisis integral caracterizando tanto el medio natural como el de explotación del recurso. El objetivo del trabajo se centró en realizar el diagnóstico del recurso hídrico subterráneo, analizar su gestión y establecer pautas para un manejo sustentable del mismo. A partir de la caracterización del medio físico de un área mayor a la de estudio (partido de Bolívar) como marco regional, la etapa de diagnóstico comprendió los análisis hidrogeológico, hidrodinámico e hidroquímico del sistema hídrico subterráneo local, y las condiciones de aprovechamiento. Se describió el funcionamiento del sistema de explotación de las aguas subterráneas, incluyendo la evaluación del sistema de agua potable y la hidráulica de pozos. Se confeccionó un registro histórico de la explotación, que llega hasta el presente, a partir del cual se evaluó la gestión. Como conclusiones del análisis se han determinado pautas para mejorar la gestión actual, proponiendo dos zonas con condiciones propicias para una futura ampliación del sistema de explotación del recurso en la ciudad.

Palabras claves: San Carlos de Bolívar, recurso hídrico subterráneo, diagnóstico y gestión.

ABSTRACT

With the propose to know underground water system works in San Carlos de Bolivar city, we made an integral analysis what characterizes natural environment as well as resource exploitation conditions. Main study's goal was focus to make a diagnostic of underground water resource, analysing it management and establishing guidelines for a sustainable management. Since physical environment in a bigger study area (partido of Bolívar) as regional framework, diagnostic steps compress hydro-geological analysis, hydrodynamic and hydro-chemical local underwater system, as well as use conditions. We describe underground exploitation system's performance, including drink water system as well as whirlpool hydraulic. We made a file of historical exploitation that allow us evaluate today management. As conclusions associated to the analysis, we can determinate guidelines to improve today management, and also propose two zones with favourable conditions for the future expansion of water resource exploitation system in the city.

Key words: San Carlos de Bolívar, underground water resources, diagnosis and management.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que puede ser considerado como crítico para el mantenimiento de la calidad de vida y el desarrollo de muchas actividades económicas en las ciudades. Su importancia está principalmente vinculada a que, si bien está disponible en muchas regiones, ésta puede degradarse en su calidad y llegar a condiciones físico-químicas y biológicas no aceptables, y por ende, poner en riesgo su potencial uso para consumo humano.

El objetivo del trabajo en la ciudad de San Carlos de Bolívar, cuya población se abastece de agua subterránea, se centró en realizar el diagnóstico y el análisis de la gestión del recurso hídrico subterráneo y en establecer pautas para el manejo sustentable del mismo. La etapa de diagnóstico comprendió los análisis hidrogeológico, hidrodinámico e hidroquímico y las condiciones de aprovechamiento del sistema hídrico subterráneo.

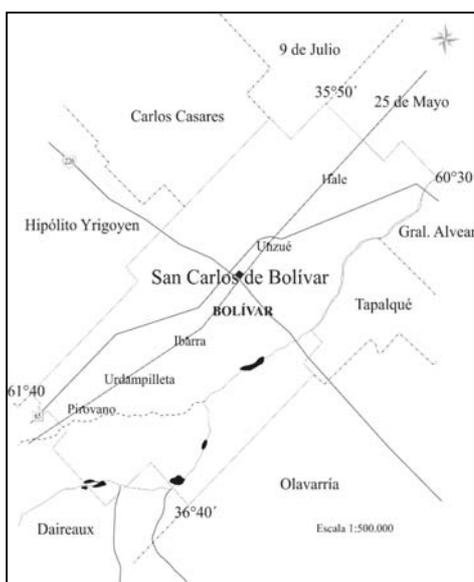


Figura 1. Ubicación del partido de Bolívar.

GEOHIDROLOGÍA

Análisis hidrodinámico

Se observa al norte en la carta IGM 3760-1-4 la curva de 90 msnm y al sur la de 92,5 msnm. En la zona de estudio el gradiente de las aguas superficiales acompaña ésta mínima pendiente topográfica en dirección noreste (Figura 2).¹

¹ En ésta figura se ubican los sondeos de la transecta A, tema que se trata más adelante.³

Área de estudio

El partido de Bolívar se ubica en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, abarcando una superficie total de 5.027Km² (Figura 1). A los 92 msnm, en la llanura medanosa, se encuentra la ciudad cabecera de partido, San Carlos de Bolívar, con una población aproximada de 25.000 habitantes.

San Carlos de Bolívar posee un clima templado con una precipitación media anual de 986mm, para el periodo 1970-2004. Es una región semiárida o semihúmeda debido a la alternancia de períodos con déficit o excesos hídricos. Presenta un escaso relieve y mínima pendiente topográfica en dirección noreste.

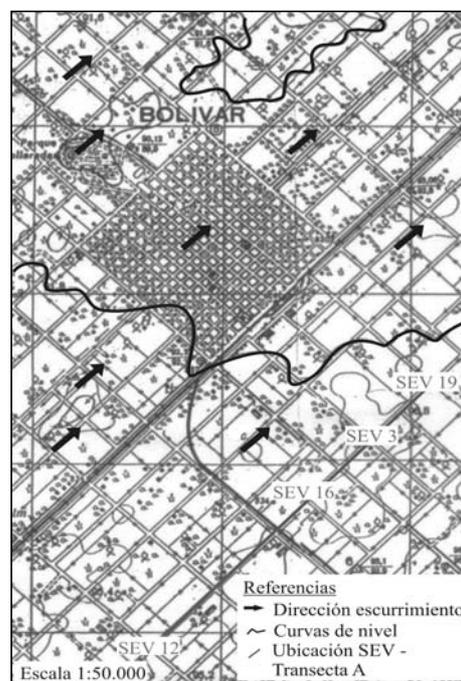


Figura 2. Escorrentamiento superficial.

Con el fin de obtener una visión amplia de la dinámica hídrica subterránea, se realizaron salidas de campo para localizar pozos en los alrededores de la planta urbana, abarcando un área total de 285 Km². Éstos se han denominado pozos domiciliarios (PD) y se los menciona en solo este apartado. En general, los niveles del agua subterránea se encuentran entre 1,30 y 1,80 metros de profundidad, solo en períodos de déficit se sitúa alrededor de los 2 metros (Tabla 1 y figura 3).

El escurrimiento subterráneo es muy lento, según los cálculos efectuados en base al mapa equipotencial, considerando el gradiente hidráulico de 0,0009 y una porosidad efectiva del 0,07, la velocidad efectiva del escurrimiento sería de 0,025 m/d. Esto demuestra en general que el escurrimiento subterráneo no es significativo en la eliminación de los excesos hídricos.

Tabla 1

N° de pozo	Cota nivel freático (m).	
	PD	PM
1	94,5	82,5
2	94,0	81,5
3	93,0	x
4	95,5	83,0
5	94,0	x
6	93,5	81,0
7	92,5	79,5
8	92,0	84,5
9	93,0	86,5
10	93,5	89,5
11	91,0	85,5
12	90,5	83,0
13	90,5	83,0
14	91,0	85,5
15	89,5	87,5
16	91,0	83,5
17	84,5	85,5
18	82,0	88,5
19	87,5	89,0
20	x	90,0

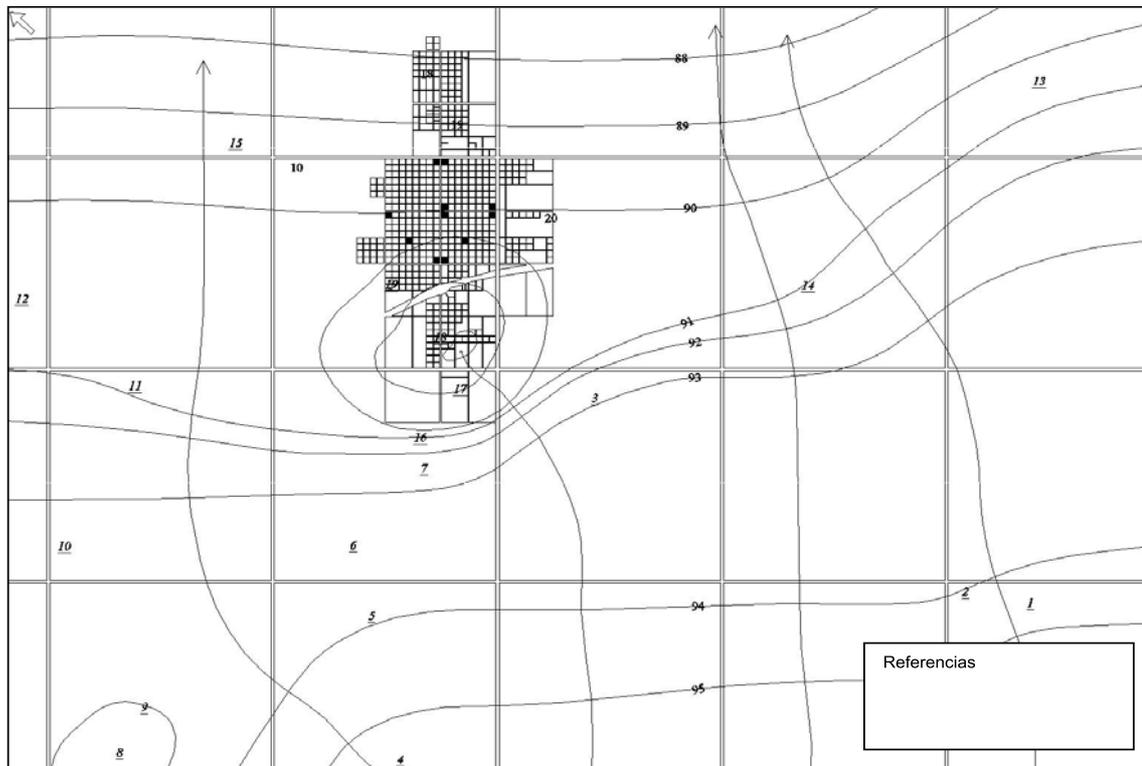


Figura 3. Mapa equipotencial. Ubicación pozos domiciliarios.

Específicamente, en el área donde se encuentran en funcionamiento la mayoría de los pozos municipales (PM), se manifiesta la variación sobre el nivel estático. Existe un descenso generalizado del nivel en el área

de influencia de los conos de depresión, ubicándose en promedio a 8,80 metros de profundidad (Figura 4).

Análisis hidrogeológico

Estudios regionales distinguen cuatro secciones en la secuencia estratigráfica en relación a las aguas subterráneas (Sala J, 1975), siendo la más importante la Epiparaniana constituida por sedimentos pampeanos y en donde se realiza la explotación del acuífero.

Con los perfiles litológicos de los pozos municipales se determinó que la sucesión estratigráfica corresponde a 60 metros de sedimentos limo arenosos de edad Plio-pleistocena, con intercalaciones calcáreas y con un nivel arenoso superior de edad reciente.

Teniendo como antecedente, 20 sondeos eléctricos verticales (SEV) localizados al sur del área de captación de los PM y 5 transectas (Plusagua 2005) se interpretó la morfología del subsuelo. En todos los

sondeos, los valores de resistividad fueron agrupados en tres capas. La transecta A se considera la más representativa del área en explotación (Figura 4).¹

Según la resistividad de los materiales se diferenciaron tres sustratos: En superficie, la capa de mayor resistividad corresponde a arenas y limos arenosos de alta permeabilidad en parte limitado por el agregado de cementación constituido por materiales calcáreos (tosca). Debajo se encuentra una secuencia de limos y, en profundidad, el sustrato conductor por su mayor presencia de sales, que limita la calidad del sistema acuífero. La profundidad del techo de éste sustrato varía de 30 a 65 metros según el lugar de los sondeos, siendo el promedio 50 metros.

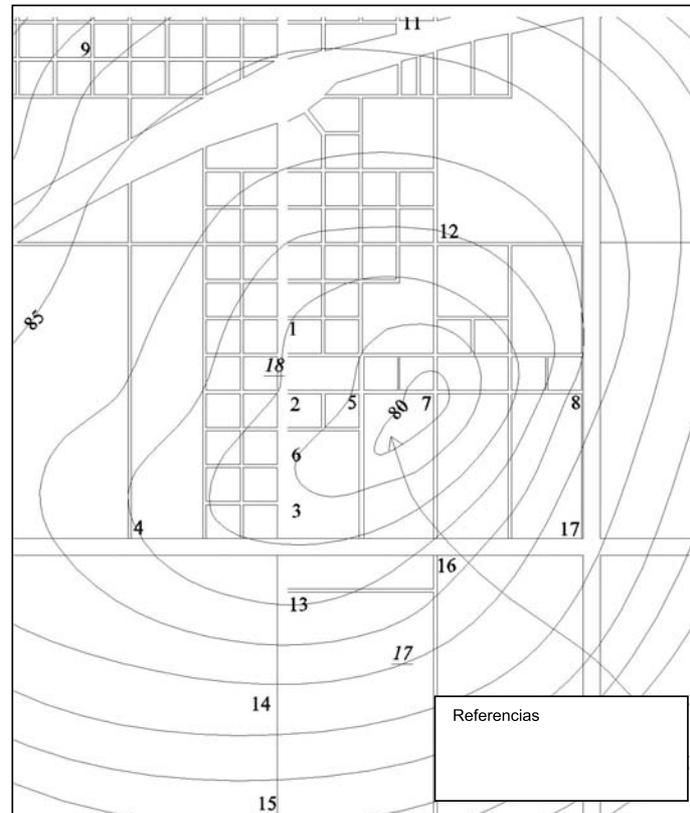


Figura 4. Área principal. Ubicación pozos municipales.

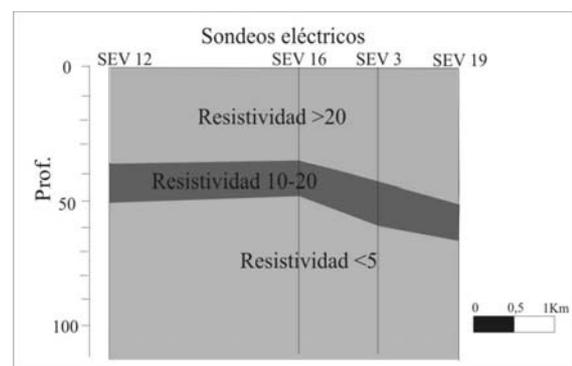


Figura 5. Perfil transecta A.

¹ En la figura 2 se ubican los sondeos que componen la transecta A.

Análisis hidroquímico

En referencia a las características químicas del agua, se obtuvieron y compararon los análisis de los años 1977, 1994 y 2004 procedentes de distintos laboratorios. Luego, se efectuó con los datos del Laboratorio Regional Bolívar (LRB) del 2004 éste análisis de los distintos elementos químicos comparándoselos con los límites de potabilidad establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA) (Tabla 2).

	Pozo N°1		Pozo N°2		Pozo N°4		Pozo N°5		Pozo N°6		Pozo N°7	
Fecha	14/05/2003	17/12/2004	14/05/2003	22/10/2004	14/05/2003	22/10/2004	14/05/2003	20/10/2004	14/05/2003	22/11/2004	27/10/2003	08/03/2004
Laboratorio	LRB											
PH	7,7	7,7	7,4	8,3	7,5	8,2	7,8	7,7	7,6	7,8	7,8	7,4
Sólidos	1083	1650	1025	1420	1176	1170	1246	1181	1527	1250	1123	1190
Alcalinidad	613	1025	564	825	693	725	475	587	773	800	438	525
Dureza total	151	190	149	190	194	200	129	146	190	170	158	170
Cloruros	150	275	165	240		160	317	237	285	160	297	320
Fluoruros	1,2	1,1	1,5	1	1,2	0,9	1,5	1,4	1,4	1	1,8	1,6
Nitratos	40	21	15	5	40	28	25	10	10	25	25	25
Sulfatos	87	78	88	115	98	92	123	81	114	85	115	63
Arsénico	0,05	0,07	0,05	0,053	0,05	0,049	0,05	0,054	0,05	0,03	0,05	0,12

	Pozo N°8		Pozo N°9		Pozo N°10		Pozo N°11		Pozo N°12		Pozo N°13	
Fecha	01/12/2003	30/12/2004	27/10/2003	19/06/2004	25/06/2003	26/07/2004	02/10/2003	08/03/2005	01/12/2003	30/12/2004	27/10/2003	05/01/2005
Laboratorio	LRB											
PH	7,8	7,1	7,73	7,7	7,6	7,6	7,2	7,3	7,9	7,9	7,7	7,6
Sólidos	1379	1480	1654	1679	1726	1748	1520	1620	1256	1030	936	930
Alcalinidad	338	450	865	840	792	800	479	600	462	550	531	525
Dureza total	193	220	163	176	150	161	278	270	138	160	136	127
Cloruros	468	500	275	299	262	262	472	480	334	190	131	117
Fluoruros	1,8	1,7	1,8	1,7	1,5	1,9	1	1	2,1	2,2	1,5	2,1
Nitratos	20	20	10	25	10	10	70	57	10	25	20	10
Sulfatos	113	123	163	185	375	370	165	100	113	80	75	72
Arsénico	0,081	0,1	0,05	0,049	0,1	0,1	0,05	0,04	0,089	0,12	0,05	0,09

	Pozo N°14		Pozo N°15		Pozo N°16		Pozo N°17		Pozo N°18		Pozo N°19	Pozo N°20
Fecha	01/12/2003	05/01/2005	01/12/2003	22/11/2004	01/12/2003	08/03/2005	16/04/2003	22/11/2005	21/10/2002	20/07/2004	11/05/2005	17/12/2004
Laboratorio	LRB		LRB	LRB								
PH	7,7	7,5	7,4	7,8	7,5	7,5	7	7,9	7,8	7,6	7,5	7,6
Sólidos	1130	1088	1081	1200	902	1400	749	980	2074	1960	2210	910
Alcalinidad	585	592	595	775	472	575	395	475	248	590	560	425
Dureza total	152	185	145	160	114	130	116	140	219	240	220	160
Cloruros	185	164	163	160	151	425	114	190	731	600	800	250
Fluoruros	1,1	0,9	1,1	1	1,6	1,7	1,5	1,6				1,1
Nitratos	10	10	10	10	30	35	20	20	10	25	25	15
Sulfatos	112	88	75	85	63	40	35	70	167	170	200	30
Arsénico	0,034	0,06	0,04	0,04	0,056	0,075	0,05	0,09	0,05	0,05	0,1	0,06

Tabla 2. Comparación de análisis químicos.

Existe elevada presencia de sólidos totales disueltos, solo en los pozos 13, 17 y 20 su concentración está por debajo de 1000 mg/l (CAA: máx. 1000 mg/l). Alcalinidad muy elevada, encontrándose alrededor de los 800 mg/l, mientras que la dureza se mantiene dentro de los 200 mg/l, a excepción de los pozos 8, 11 y 18 (CAA: máx. 400 mg/l). Esto evidencia la alta presencia de sales de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺. Los cloruros superan el valor máximo de 350 mg/l, los pozos 8, 11, 16, 18 y 19. Los fluoruros se deben encontrar entre 0,8 mg/l y 1,3 mg/l, sin embargo los pozos 12, 13, 16 y 17 presentan superior concentración. Los nitratos se encuentran dentro de los valores permitidos (CAA: máx. 45 mg/l), excepto pozo 11. En la mayoría de las muestras la concentración de arsénico es de 0,05 mg/l, lo que establece el CAA como valor máximo, los pozos número 1, 7, 8, 10, 12, 13, 16 y 17 presentan alrededor de 0,1 mg/l. El valor promedio de PH es de 7,8. Se verifica que la concentración de la mayoría e los elementos se ha ido incrementando con los años, lo que evidencia la disminución en la calidad del agua.

De la clasificación química, teniendo en cuenta el porcentaje de los iones mayoritarios del agua, los resultados observados en la figura 7 muestran que, el 83% corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas y el 17% a cloruradas y/o sulfatadas sódicas. Encontrándose éstas últimas en los pozos 18 y 19 ubicados al norte del damero principal, y el pozo 8 que presenta elevada concentración de cloruros.

Del análisis surge que, la calidad del agua varía según los pozos en explotación, y en algunos casos se ve comprometida la potabilidad de la misma. Por tanto, es necesario conocer el sistema o red de distribución y abastecimiento para estimar los beneficios que traería la dilución con la mezcla de agua proveniente de diferentes pozos.

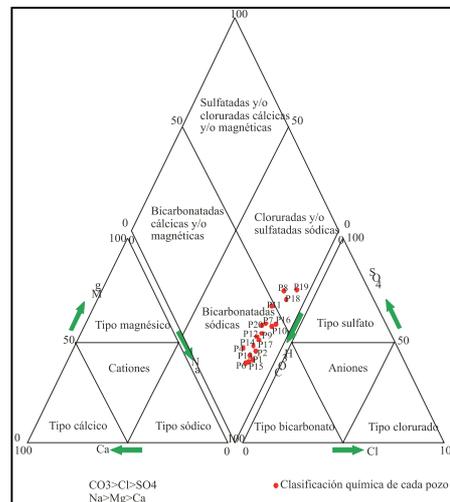


Figura 6. Diagrama de Piper Hill.

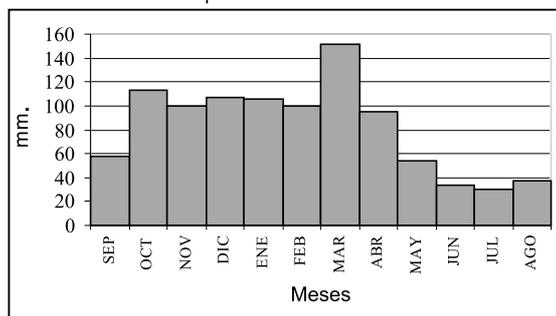


Figura 7. Precipitación 1970-2004.

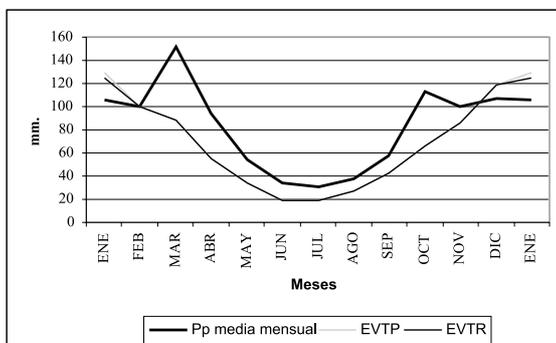


Figura 8. Balance hídrico.

Balance hídrico

Con el balance efectuado en régimen permanente (modular), se establecieron los déficit y los excesos, con el fin de estimar la infiltración eficaz.

Con la representación gráfica de la distribución mensual de las precipitaciones para un período de 35 años, 1970 - 2004 (Registros pluviométricos INTA) se calcula que el promedio anual total de las Pp es de 986 mm.

Conociendo que la temperatura anual promedio para San Carlos es de 15,5 °C se realizó el cálculo de la evapotranspiración real siguiendo la metodología empleada por Thornthwaite (1957). El I, índice calórico anual arrojó un resultado de 69,44, a partir del cual se obtuvo la Evt potencial de 783 mm y la Evt real de 780 mm anuales.

El déficit solo se presentó con un total de 3 mm anuales, correspondiendo al mes de enero, siendo el 0,35% de la Pp. El valor de los excesos es de 238 mm anuales, lo que alcanza un 24% de lo precipitado.

En la ciudad de San Carlos, ubicada en la llanura medanosa, donde no existen cursos superficiales y se caracteriza por un relieve poco marcado y una

mínima pendiente, el escurrimiento superficial se considera ínfimo y es la transferencia vertical del agua la que predomina. A los fines de analizar este balance, el exceso puede atribuirse a infiltración eficaz que aportará agua al acuífero. El cálculo dio como resultado 206 mm anuales que representan el 21% de la precipitación anual. Por lo tanto, la recarga del acuífero es autóctona directa de las precipitaciones.

EXPLOTACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Con el objetivo de analizar la gestión y contribuir a un registro de la explotación se desarrolla este apartado. El sistema de aprovisionamiento de agua potable se realiza a través de 20 pozos verticales distribuidos al suroeste de la planta urbana, ubicados en los alrededores de la Av. Calfucurá. Los pozos más antiguos, corresponden a los pozos del N° 1 al 4, terminados de construir en 1946 y 1950. El servicio de agua corriente fue habilitado en 1953. Excepto el pozo N° 3 que se encuentra desmoronado, los demás funcionan. Las perforaciones fueron realizadas por Obras Sanitarias de la Provincia hasta 1985 cuando pasaron a cargo de la gestión municipal. Varios pozos se ubican en los alrededores del cementerio, fundado en 1882. La profundidad promedio de las perforaciones es de 58 metros y la profundidad de las bombas oscila en los 34 metros. Éstas trabajan con un caudal que varía entre 30 y 80 m³/h. Solo cuatro pozos se localizan hacia el norte, fuera de la zona delimitada por el cono de bombeo: el N° 10 que abastece al área del parque industrial, el N° 18 ubicado en el Barrio Pompeya, el N° 19 en Los Zorzales y el N° 20 en Barrio Las Flores.

Para dar respuesta a la demanda funcionan constantemente doce o trece pozos, los que se rotan una vez por semana con los 5 pozos restantes. La extracción de agua es continua durante las 24 horas del día, todos los días del año. El tanque de agua que posee una capacidad de 1.000 m³, no se utiliza porque con los caudales solicitados diariamente se vacía en pocas horas, bombeándose directamente hacia la red. La población servida de agua corriente es de 25.000 habitantes aproximadamente. La ciudad no cuenta con servicio de medidores y tampoco se conoce el valor de las pérdidas. Si bien no se dispone de datos fehacientes respecto al consumo de agua, información suministrada señala un gasto medio diario de 10.500 m³. Pero, estimativamente según los caudales erogados de cada uno de los pozos y solo en función de la cantidad de habitantes, el resultado es mayor, en promedio 50 m³/h por 13 bombas en funcionamiento por 24 horas, da un total de 15.548 m³ explotados, dividido por cantidad de habitantes el caudal erogado representa aproximadamente 600 litros de agua por persona por día.

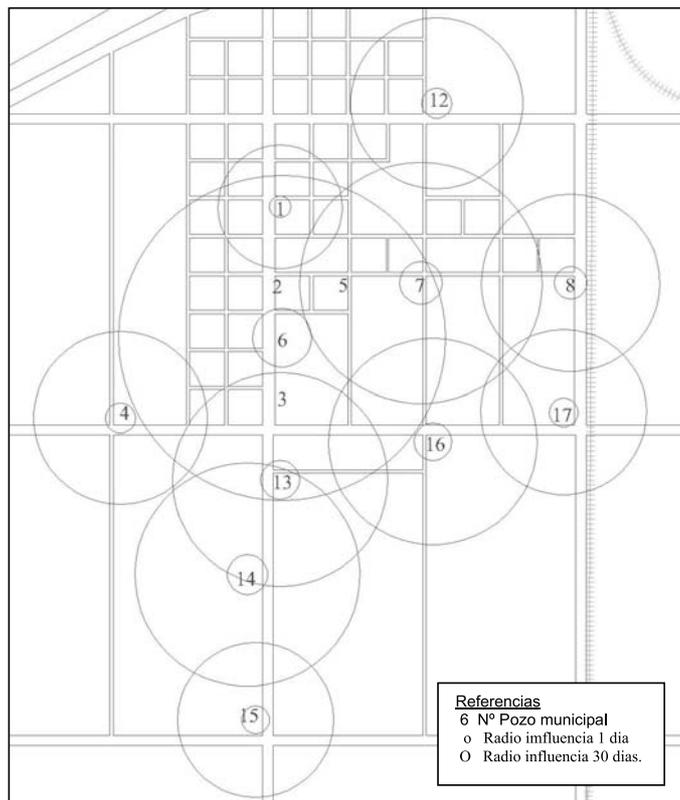
Teniendo como antecedente los valores de 13 ensayos de bombeo (Plusagua 2005), se realizó una comparación de los parámetros hidráulicos de cada pozo, entre la fecha de su puesta en funcionamiento y datos correspondientes al 2004. En la tabla los valores de nivel estático (NE), nivel dinámico (ND) y caudal bombeado (Qb) del 2004 corresponden a los ensayos de bombeo mientras que depresión (s), transmisividad (T), caudal característico real (Qcr), caudal característico teórico (Qct), eficiencia y radio de influencia fueron calculados en este trabajo.

Promediando los parámetros se obtuvo que: el Qcr es de 2,4 m³/h, el Qct asciende a 3,7 m³/h, la transmisividad es de 83 m²/d, y en base a una porosidad efectiva de 7%, la eficiencia ronda el 63%. Se puede establecer que el caudal específico muestra a lo largo de los años la disminución en el rendimiento de los pozos.

Pozo N°	1		4		6		7		8		11		12	
Año	1946	2004	1950	2004	1964	2004	1969	2004	1977	2004	1983	2004	1983	2004
NE	1,5	9,31	2,3	9,7	3	10,85	11	11,79	2,23	8,15	4	6,83	8,6	8,5
s	29,8	30,19	29,66	26,08	14	16,52	20,5	15,93	33,07	29,18	18	19,88	20,4	31,5
ND	30	39,5	31,96	35,78	17	27,37	31,5	27,72	35,3	37,33	22	26,71	29	40
Q _{bom}	81,9	30	74,7	50	88	115	70	60	80	60	40	61	60	60
T		33,39		64,42		233,90		126,55		69,09		103,10		64
Q _{cr}	2,75	0,99	2,52	1,92	6,29	6,96	3,41	3,77	2,42	2,06	2,22	3,07	2,94	1,90
Q _{ct}		1,68		3,05		9,90		5,64		3,24		4,68		3,03
Eficiencia		59		62		70		66		63		65		62
Radio Infl.		32,7		45,5		86,7		63,7		47,1		57,5		45,3

Pozo N°	13		14		15		16		17		20	
Año	1983	2004	1986	2004	1992	2004	1992	2004	1992	2004	1996	2004
NE	8	10	6	8,1	4,59	6,45	5,7	8,92	3,4	6,96		2,71
s	22	23,07	19	13,2	21,14	19,05	14,87	8,08	17,6	26,32		18,49
ND	30	33,07	25	21,3	25,73	25,5	20,57	17	21	35,28		21,2
Q _{bom}	80	70	40	43	40	30	40	23	40	50		36
T		101,95		109,45		52,91		95,64		59,32		65,42
Q _{cr}	3,64	3,03	2,11	3,26	1,89	1,57	2,69	2,85	2,27	1,77		1,95
Q _{ct}		4,62		4,94		2,55		4,36		2,82		3,09
Eficiencia		65		65		61		65		62		62
Radio Infl.		57,2		59,3		41,2		55,4		43,6		45,8

Tabla 3. Comparación parámetros hidráulicos.



Para visualizar la zona delimitada por el bombeo se graficaron los valores de radio de influencia proyectando la explotación en 30 días. Se observa la intersección de los conos de depresión, provocando conos compuestos que se traduce en un incremento del descenso del nivel (Figura 9).

Figura 9. Radios de influencia.

CONCLUSIONES

El análisis pormenorizado de todos los aspectos tratados: Geología, dinámica, química y explotación de las aguas subterráneas, permitió realizar un diagnóstico integral del sistema hídrico en San Carlos de Bolívar.

La región presenta bajos gradientes hídricos tanto superficiales como subterráneos, con predominancia marcada de vectores de flujo verticales sobre los subhorizontales. El acuífero en explotación es el freático con espesores que rondan los 50 metros siendo el límite inferior una capa con mayor presencia de sales.

El sistema en explotación representado por 18 pozos de extracción continua, abastece a una población de 25.000 habitantes, estimándose un volumen per cápita de 600 litros/día.

De acuerdo a las mediciones y los radios de influencia obtenidos, se observa un importante descenso generalizado en los niveles al sur del centro de la ciudad por interferencia de conos de depresión.

En referencia a la hidroquímica del sistema, su clasificación manifiesta que el 83% corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas y el 17% a cloruradas y/o sulfatadas sódicas. Encontrándose éstas últimas en los pozos 18 y 19 ubicados al norte de la ciudad, y en el pozo 8 que presenta elevada concentración de cloruros. La dureza en términos generales es aceptable y los niveles de nitratos se encuentran por debajo de los 45 mg/l, a excepción del pozo 11 con niveles levemente superiores. Casi el 50 % de los pozos presentan niveles de arsénico cercanos a 0,1 mg/l, el resto están por debajo del límite establecido por el CAA.

RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico y el análisis de la gestión actual, se proponen pautas específicas y generales para la gestión integral del sistema:

Pautas técnicas específicas:

- Establecer la causa del desmoronamiento del pozo 3 y realizar el sellado del mismo. Descartar la utilización de los pozos que se consideren con problemas no solucionables.
- Realizar la cloración en forma adecuada y asegurar su efectividad en todas partes de la red. Utilizar el tanque como reserva para situaciones de emergencia. Controlar las fluctuaciones de nitratos, cloruros y arsénico.
- Para una futura zona de explotación, las áreas con mejores perspectivas serían: a) Al suroeste del pozo N° 20, ya que el sustrato de menor resistividad se encuentra alrededor de los 60 metros de profundidad y el agua posee características hidroquímicas aceptables; y b) Al sur del área principal de explotación actual, donde las concentraciones de cloruros es menor, el piso del acuífero es profundo y no es zona contaminada por los efluentes de la ciudad.

Pautas de gestión:

- Llevar registros y confeccionar archivos con la información de cada pozo, mantenerlos actualizados. Conservar las planillas constructivas y demás informes de años anteriores. Completar los registros municipales faltantes referidos a los años de gestión provincial y a través de encargados anteriores del servicio.
- Inspeccionar las cañerías para establecer su estado y hallar posibles pérdidas. Calcular volúmenes por pérdidas y fugas en el sistema de conducción. Aumentar la frecuencia de las tareas de mantenimiento del sistema. Especificar la rotación de los pozos teniendo en cuenta los barrios y la época del año.
- Registrar el consumo energético de las bombas. Medir periódicamente los descensos en el nivel del agua. Controlar los agentes de corrosión y de incrustación en el sistema de captación

- Diseñar las futuras perforaciones, considerando las características del medio físico y los aspectos constructivos como: colocación de filtros, longitud del mismo, potencia de bomba, etc.
- Controlar los posibles focos de contaminación: En particular, los pozos sépticos. Desarrollar un programa de educación ambiental que favorezca el uso eficiente del agua. Mejorar el tratamiento de los efluentes tanto domiciliarios, como industriales. Evaluar los diferentes usos de agua y clasificar a los usuarios.

Sería conveniente que los tomadores de decisión implementen estrategias de Gestión Ambiental sustentables del sistema hídrico subterráneo local. En base a los estudios existentes de la región y desde una perspectiva interdisciplinaria, deberían estimularse los procesos de Planificación Ambiental a nivel municipal. La planificación debería garantizar el uso sustentable del recurso, a través del manejo eficiente del servicio y la adecuación de las prácticas que complementan la explotación.

REFERENCIAS

AGUA POTABLE Artículo 982 capítulo XII del código alimentario argentino.

AHRENS, TP. Criterios para el diseño de perforaciones de agua. Traducido del original: Water well desing criteria, por **Auge M.** Consejo federal de investigaciones.

CUSTODIO E. Y LLAMAS M. (1996). Hidrología subterránea. Omega, tomos I y II. Barcelona España.

IGM, Carta 3760-1-4. Bolívar.

INTA Bolívar, (2004). Registros de lluvias.

MUNIZAGA DÍAZ E. Y MORALES SÁNCHEZ C. (1976). Texto hidráulica urbana: Agua potable. Universidad Católica de Chile. Facultad de Ingeniería. Escuela de Construcción Civil. Chile.

PLUSAGUA, (2005). Informe exploración geoelectrica. Municipalidad de San Carlos de Bolívar.

SALA J. M. (1975). Recursos hídricos, especial mención a las aguas subterráneas. Relatorio. VI Congreso geológico argentino. Buenos Aires Argentina.

PAUTAS PARA LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL SUSTENTABLE DEL RECURSO HÍDRICO EN TANDIL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Latella, Bettina¹ y Ruiz de Galarreta, Alejandro²

¹ Canadá 778. 7000 Tandil. 02293-15500660, ttinalatella@hotmail.com

² CIC - CINEA – Universidad Nacional del Centro (UNICEN) – Tandil Campus Universitario, Te:0054-2293-439751/52/58/70, agala@fch.unicen.edu.ar

RESUMEN

El manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos solo es posible a partir de un conocimiento acabado del recurso a gestionar. La población del área urbana y periurbana de la ciudad de Tandil, se abastece de agua a través del acuífero freático, destinándola principalmente al uso domiciliario, comercial e industrial. Específicamente, el ente municipal, Obras Sanitarias de Tandil (O.S.T), se encarga de proveer a la población los servicios de agua corriente y de desagües cloacales. La presente investigación estuvo dirigida a evaluar el desarrollo de las actividades de gestión del agua tanto en lo referente al aprovisionamiento como a la disposición de los efluentes en la ciudad de Tandil, y relacionarlo con la legislación vigente, esencialmente con el Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires que establece herramientas para la protección, conservación y manejo del recurso hídrico. Para la concreción del objetivo planteado se efectuó la:

- Caracterización hidrogeológica de Tandil.
- Descripción del servicio de agua corriente, cloacas, y de la gestión municipal de Obras Sanitarias Tandil (O.S.T).
- Análisis de la legislación nacional y provincial, haciendo hincapié en el Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires.

Finalmente, del análisis de la gestión municipal del recurso hídrico tomando como referencia el Código de Aguas provincial, se ha corroborado en primera instancia, la ausencia de una planificación ambiental integral del recurso, proponiéndose pautas de manejo específicas para la ciudad de Tandil.

Palabras claves: Tandil, Recurso Hídrico Subterráneo, Código de Aguas, Planificación Hídrica.

ABSTRACT

Integral and sustainable management hydrological resources are made possible through a deep knowledge of management. Tandil urban and periphery urban people have water from underground system given it mainly a domestic, commercial and industrial use. Specifically, municipal Obras Sanitarias de Tandil (O.S.T) entity, is who supplies water to the people and management sewers systems to. Present paper was directed to evaluate how are development management activities related water supply both provision as sewers issues in the city and also analyses legal framework, mainly Buenos Aires Waters Code what state tools to protection,

conservation and management hydrological resources.

To concrete proposed goals we done:

- Hydrological Tandil characterization.
- Water and sewers services and municipal management of Obras Sanitarias Tandil (O.S.T).
- Analysis national and provincial norms, mainly Buenos Aires Water Code.

Finally, since municipal management analysis and taken as references Water code, we can conclude they are a environmental plan absence and in this sense, we proposed specifically lines for a sustainable management to Tandil City.

Key words: Tandil, hydrogeological resource, Water code, hydrological planning

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para el hombre y para el desarrollo socio - económico. Si bien es un recurso abundante, su mal uso puede acarrear consecuencias en su disponibilidad, en cuanto a cantidad y calidad. Por ello es esencial un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, acompañado de una planificación hídrica y una regulación normativa adecuada. Para lo cual es necesario un conocimiento acabado del recurso a gestionar.

La Argentina, presenta una serie de normativa legal del recurso de pocos años de desarrollo, y carente de la eficiencia necesaria para el fin que pretenden, la preservación y conservación del recurso. A ello se suma un inadecuado manejo del mismo, por parte de los organismos encargados del sistema de abastecimiento de agua potable, y del tratamiento de los desagües cloacales. Los cual se puede ver a nivel local, en la ciudad de Tandil.

En relación a las condiciones generales del recurso hídrico local cabe decir que la población del área urbana y periurbana de la ciudad de Tandil, explota el recurso hídrico subterráneo, destinándolo principalmente al uso domiciliario, comercial e industrial, y en menor medida al uso agropecuario.

La gestión del recurso en Tandil, por parte del ente Municipal Obras Sanitarias Tandil, comprende los servicios de abastecimiento de agua potable y el tratamiento de los efluentes cloacales. Dichas actividades se llevan a cabo sin tener en cuenta una planificación y normativa legal adecuada.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La presente investigación estuvo dirigida a evaluar el desarrollo de las actividades de gestión del agua, que conllevan al aprovisionamiento de agua potable y a la disposición de los efluentes, en la ciudad de Tandil, y relacionarlo con la legislación vigente, puntualmente con el Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires.

Por ello, en esta investigación se realizó la caracterización hidrogeológica de Tandil.

Se describe el servicio de agua corriente y la gestión municipal, de Obras Sanitarias Tandil (O.S.T). Incluye su captación, almacenamiento y distribución. Ligado a lo cual se debió describir brevemente la disposición final y el tratamiento que reciben las aguas residuales.

También, se analiza la legislación nacional y provincial que regula a las aguas, haciendo hincapié en el Código de Aguas de la provincia de Buenos Aires.

Y finalmente, se establecen relaciones entre el Código de Aguas provincial y la gestión municipal de los recursos hídricos por Obras Sanitarias Tandil, lo que ha permitido corroborar la ausencia de una planificación ambiental integral del recurso.

Se puede decir que la investigación expuesta se apoyo esencialmente, en la recopilación documental como técnica de investigación. Subsidiada con las entrevistas realizadas a profesionales idóneos y al personal de O.S.T.

Los tipos de documentos utilizados fueron los escritos (bibliografía, estudios e informes, documentos oficiales y/o legales y diarios locales); documentos cartográficos (mapas y planos) y; documentos estadísticos o numéricos (censo, datos de bombeo, de abastecimiento, de pozos de explotación, entre otros).

Recurso Hídrico Subterráneo de Tandil

Específicamente en el área seleccionada, se diferencian dos unidades geológicas: el *Basamento Cristalino* y, los *Sedimentos Pampeanos* (Teruggi y Kilmurray, 1980). Estas unidades en función de su constitución, textura y estructura se comportan de manera diferente en lo que respecta a la admisión y circulación del agua subterránea, correspondiendo a ambientes geohidrológicos diferentes: fisurado y poroso clástico, respectivamente. El basamento cristalino, presenta una importante fisuración por fallas y diaclasas que le confiere una porosidad y permeabilidad secundaria.

En cuanto al medio poroso clástico (Sedimentos Pampeanos), podemos decir que se trata de un sistema acuífero multiunitario, constituido por el acuífero freático. Y es aquí donde se ubica la batería de pozos explotados por Obras Sanitarias del municipio, para el abastecimiento de agua potable, de la ciudad (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

GESTIÓN MUNICIPAL DEL RECURSO HÍDRICO

En sus inicios (año 1940), los servicios de agua corriente y desagües cloacales, de la ciudad de Tandil, estuvieron a cargo de Obras Sanitarias de la Nación, pero en marzo de 1980 Obras Sanitarias de la Nación transfirió el servicio a la Provincia de Bs. As., y ésta posteriormente, en septiembre de ese mismo año, a la Municipalidad de Tandil. Por lo tanto, actualmente, la Dirección de Obras Sanitarias pertenece a la Secretaría de Planeamiento y Obras Públicas del Municipio. Cabe destacar que la actividad de la misma carece de reglamentación alguna que guíe la explotación del recurso hídrico subterráneo. Solo se cuenta con un estudio ingenieril específico del año 1982 (denominado Plan Director) que solo marca lineamientos hidráulicos y que fue parcialmente tenido en cuenta.

Actualmente, el consumo de agua por la población de Tandil se efectúa mediante dos sistemas, uno provisionado a través de un sistema de red integrado y manejado por la Municipalidad, y el otro mediante pozos domiciliarios gestionado por los propietarios.

La distribución municipal de agua, se realiza a través de dos sistemas independientes, distinguidos por O.S.T en dos zonas, bien diferenciadas:

- Una zona baja, al noreste de la ciudad, y comprende el predio de O.S.T, Villa Italia y Villa Aguirre.

- El resto de la ciudad es lo que O.S.T, denomina zona de cisterna y sus respectivos rebombeos.

Según la información aportada por O.S.T., el servicio de agua potable provee actualmente al 97 % de la población, y se basa en las 35.208 conexiones que O.S.T tenía registradas hasta agosto del 2005.

Distribución del Servicio de Agua Potable por O.S.T

La zona baja denominada por O.S.T, del Tanque Bajo, se alimenta directamente de los pozos que están ubicados en la zona noreste, zona de Villa Aguirre. Ahí se tiene como reserva el primer tanque de agua que se construyó en la ciudad, que se encuentra en la actual Plaza Martín Rodríguez. Este “subsistema de tanque bajo” abastece al 25 % de la población, aproximadamente.

Este tanque reserva, en realidad consta de dos cisternas: una con cota 204,91 metros con una capacidad de almacenamiento de 1.000.000 de litros de agua (1.000 m³); y la otra tiene una cota 219,91 metros y una capacidad de 400.000 litros (400 m³). Está última cisterna, en sus inicios (año 1940), abasteció la zona más alta, por aquel entonces la faja céntrica de la ciudad.

Del Plan Director de O.S.T datan dos cisternas. Una en la calle Fianza y otra en la Av. Brasil (en las proximidades del Cementerio Municipal de Tandil). Cada cisterna tiene 3000 m³, sumando en total 6 millones de litros de capacidad, con una cota de 226 metros. En realidad el Plan Director originalmente estipulaba una cisterna de 5500 m³. La idea de hacer dos cisternas menores obedeció a la necesidad de mantenimiento de las condiciones de higiene de dichas cisternas. La función específica de la cisterna es la de reserva de agua, recibe el agua de los pozos y de allí se distribuye. Dada su cota de 226 metros, la misma se encuentra 7 metros por encima de los tanques pertenecientes a los rebombeos.

Ambas cisternas se encargan de abastecer el 75 % de la población local. El resto es abastecido por el subsistema del tanque bajo y por las perforaciones S₁ y S₂, estas últimas localizadas en el Parque Industrial de Tandil, abastecen a la zona de la Movediza.

La cañería maestra, que se proyecta desde la cisterna, es la que abastece a los rebombeos. Los rebombeos consisten en un sistema de bombas que mandan el agua a tanques mucho más chicos y más elevados, permitiendo suministrar agua a la población que está al mismo nivel o por encima de la cota de la cisterna, garantizando el servicio.

En relación a las condiciones de higiene del agua cabe comentar que toda el agua que llega a la población es clorada, para ello se utilizan bombas que inyectan el hipoclorito de sodio en la cañería, en cada grupo de pozos de abastecimiento hay una cañería de impulsión, y cada bomba dosifica el cloro de acuerdo al caudal de agua. La cantidad de cloro libre residual es de 0,20 ppm.

Ubicación, Construcción y Diseño de los Pozos de Explotación

Se debe aclarar que no existe ninguna reglamentación municipal sobre el diseño y forma de explotación del recurso subterráneo. Ante esta situación, la localización en la que se va a llevar a cabo la apertura de un nuevo pozo se decide en base a la información que aportan los antecedentes de pozos existentes en la zona y sus alrededores, considerándose principalmente la calidad físico-química del agua.

Para la realización de la perforación, O.S.T, contrata a terceros. En las últimas perforaciones realizadas han participado empresas locales. Para llevar a cabo el trabajo, se les exige la participación de un geólogo responsable de cada obra a desarrollar. No obstante el ente no cuenta con un especialista en la materia que

pueda guiar y fiscalizar el trabajo, y además no existe ningún estudio hidrogeológico previo, lo que hace que el profesional actuante carezca de estudios técnicos de base para el desarrollo de la perforación.

En relación al diseño, también se parte de pautas preestablecidas y en general se hacen previamente pozos de estudio donde se efectúan ensayos de bombeo. A partir del informe del geólogo de la empresa, se plantea el diseño definitivo del pozo de explotación. Se hacen los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. De esta manera, se determina si el pozo es productivo tanto en cantidad como en calidad.

Del total de 36 pozos de explotación, (*ver Plano N° 1*) 13 de estos se encuentran con un distanciamiento menor a los 500 metros entre sí. La escasa distancia entre ellos genera una superposición de conos de depresión, lo que ocasiona un mayor descenso del nivel dinámico y por ende, un menor rendimiento de los pozos. A su vez, sería recomendable evaluar los distintos usos del suelo en las inmediaciones de las posibles localizaciones de perforaciones con la idea de prevenir problemas futuros. En tal sentido, el caso más problemático son los pozos S_1 y S_2 , ubicados en el Parque Industrial, para los que sólo se tuvo en cuenta la existencia de agua, mas allá de las actividades que lógicamente se desarrollan en dicho Parque, fuentes potenciales de contaminación.



Fuente: Latella, 2006.

El Consumo, su Control y la Calidad del Agua

Los datos de O.S.T dicen que el consumo promedio de agua potable de cada tandilense es, de 360 a 400 litros por habitante por día, aproximadamente. Este dato es suministrado a partir de las potencias de las bombas instaladas ya que no existe medición directa del consumo a través de caudalímetros (los que hay no funcionan).

A su vez, hay sectores de la ciudad donde el servicio es medido y otros no. Las primeras coinciden con los sectores del centro de la ciudad. En tanto, no poseen servicio medido los sectores de zonas abiertas con

mayores superficies de terrenos, generalmente estos últimos hacen uso de agua para piletas, regado de jardines, quintas y de las calles de tierra para asentar el polvillo.

Relacionado con la demanda, el consumo y control del agua, se suman las pérdidas a través de las cañerías de O.S.T. El ente carece de los equipos técnicos necesarios para el control de las mismas.

De las Perforaciones Domiciliarias

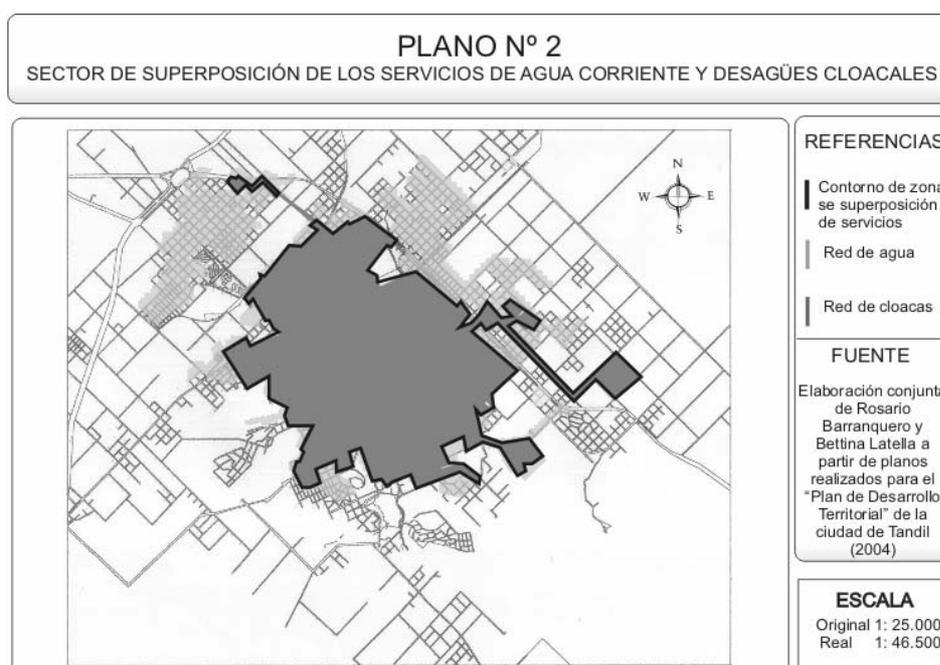
En lo concerniente a los pozos domiciliarios, que recordemos representan el 3 % del abastecimiento de agua de la población de la ciudad de Tandil, no se tiene conocimiento sobre la existencia, características, cantidad y calidad de los mismos.

La situación en relación a la perforación es bastante complicada, ya que habiendo 10 o 12 perforistas en la ciudad de Tandil, la mayoría de las personas que no tienen agua corriente ni posibilidad de acceder a la red, contratan a aquel perforista que resulta más barato. No evalúan en absoluto la calidad de la misma. Más grave aún, si se trata de una zona poblada con varios pozos de captación de agua y varios pozos ciegos o sépticos, se torna peligroso y puede convertirse en una recirculación de líquidos cloacales.

El Servicio de Red Cloacal

El servicio de red cloacal en Tandil tiene menor cobertura que el suministro de agua potable. El número de conexiones era de 19.183 en agosto del 2005. O.S.T calcula una cobertura del 50 a 55 %, aproximadamente. El resto de la ciudad tiene pozos negros o sépticos para la eliminación de excretas y efluentes en general (*ver Plano N° 2*).

El transporte a través de la red cloacal es por gravedad, y debido a esto requiere una mayor inversión en la construcción de las redes, por su gran extensión.



Fuente: Latella, 2006.

El área urbana de Tandil norte, más allá de la ruta Nacional 226, hacia el noreste, no posee servicio de cloacas, pero tampoco permitiría volcar a la planta depuradora actual, principalmente por dos motivos: a) su cota es más baja que la cota de la planta y, b) la planta depuradora no tiene capacidad suficiente.

Por lo tanto del total de la población que tiene agua corriente, el 50 % aproximadamente, no tiene red de cloacas.

Concluyendo, se reconoce que la red cloacal es un servicio esencial para la población de toda comunidad. Desde el punto de vista ambiental se debe pensar que todo lo que sean pozos ciegos es una fuente de contaminación de las aguas subterráneas, por lo tanto cuanto más se pueda extender el servicio de cloacas menor va a ser la contaminación al recurso hídrico subterráneo. No obstante, se debe tener presente que la carga contaminante de los efluentes cloacales será dispuesta finalmente en un curso superficial, por tal razón la implementación de un sistema de cloacas debe ser acompañado de una planta de tratamiento para reducir dichas cargas.

La planta depuradora fue construida originalmente para una población máxima de 46.000 habitantes, habiéndose alcanzado actualmente una población de más de 108.109 habitantes (Censo INDEC, 2001), por lo cual hoy se encuentra sobrepasada en su capacidad y al trabajar exigida, su eficiencia se reduce.

Es importante comentar que los días de lluvia, debido a las conexiones pluviales clandestinas a la red de desagües cloacales, la capacidad de la planta de tratamiento se ve desbordada, por lo cual se eliminan parte de los efluentes, a través de una cañería, directamente sin tratamiento, al arroyo Langueyú.

La Red Colectora y la Planta de Tratamiento

La *Red Colectora* consiste en el transporte del líquido residual a través de las cañerías colectoras.

En lo que respecta a la *Planta de Tratamiento*, este es el lugar donde se tratan las aguas residuales para su posterior evacuación. El tratamiento se divide en dos partes, un proceso físico (sedimentación) y una segunda etapa con un proceso biológico de lechos percoladores.

El último paso del tratamiento consiste en el clorado del líquido y su posterior vertido sobre las aguas del arroyo Langueyú.

Cabe aclarar que el tratamiento realizado por la planta, no elimina compuestos como los cloruros y nitratos, algo importante a considerar ya que el A° Langueyú, en ese tramo de su recorrido, es influente con respecto a las aguas subterráneas, y corre a cielo abierto sobre zona urbanizada al norte de la ciudad. También en épocas excepcionales sobrepasa su cauce generándose inundaciones sobre sus márgenes.

O.S.T y la Proyección de Nuevas Obras

En el transcurso del año 2005, el Estado Nacional y el Municipio de Tandil, firmaron un acuerdo marco, por un presupuesto de 40 millones de pesos, para la realización de nuevas obras y mejoras de los servicios de agua potable y cloacas. Que consisten en:

- *Servicio de agua de red:* La realización de 9 perforaciones de agua y sus cañerías de impulsión. Las cuales se están llevando a cabo en diversos puntos situados al norte de la Ruta Nacional 226. En predios situados en las calles Cuba y Los Ceibos, Los Ceibos y Palacios y en inmediaciones de la Estancia Ramón Primero.

▪ *Servicio de desagües cloacales:* La construcción de una nueva planta de tratamiento de efluentes cloacales en la zona de Villa Aguirre (zona norte de la ciudad), la instalación de las cañerías maestras y cañerías domiciliarias, y la ampliación de la actual planta depuradora ubicada en la calle Dinamarca.

La obra abarcará toda la zona norte de Tandil, desde arroyo Languyú a Reforma Universitaria, y desde la Ruta Nacional 226 hasta la calle Chapaleofú. Y permitirá proveer del servicio a más de 15.000 tandilenses.

La Legislación Hídrica Actual de Argentina

Se cree que la falta de una política hídrica nacional recae en la ausencia de una ley nacional de política hídrica, que instaure las bases sobre las que cada provincia pueda ampliar su normativa de acuerdo a sus características y particularidades, que incluyan por ejemplo, los derechos y obligaciones de los usuarios, valor económico del agua, la cuenca hídrica como unidad de gestión, etc.

Sin embargo encontramos la Ley Nacional 25.688/02¹ de Gestión Ambiental del Agua, la cual ha sido muy debatida por las autoridades provinciales del agua, y carece de reglamentación que la haga aplicable.

La mencionada Ley, establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional, según lo expresa su Art. 1.

En tal sentido esta norma es ineficiente, ya que como ley de presupuestos mínimos de los recursos hídricos, no hace mención de instrumentos de política y/o gestión hídrica, como son la planificación hídrica, y los estudios hidrológicos. Tampoco hace cita alguna de los diferentes usos del agua (agua para abastecimiento humano, navegación, piscícola, recreativo, medicinal, agropecuario e industrial, entre otros).

La Provincia de Buenos Aires

En lo que a leyes de la provincia de Buenos Aires se menciona:

La Ley 5.965/58, denominada Ley de protección a las fuentes de provisión a cursos y cuerpos receptores de agua, y a la atmósfera. La ley prohíbe los vuelcos de efluentes de cualquier tipo a toda fuente receptora de agua, sea superficial o subterránea, sin previo tratamiento de depuración, purificación o neutralización que los convierta en inocuos e inofensivos para la salud de la población y que impida la contaminación.

La Ley 11.723/95 de Medio Ambiente, también llamada Ley Marco, conforme al artículo 28 de la Constitución de la Provincia, tiene por objeto la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente de la provincia, con el fin de preservar la vida en su sentido más amplio, asegurando la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica, intergeneracional.

Ley Provincial 12.257: Código de Aguas

La provincia de Buenos Aires, al igual que otras provincias del país, tiene su propio Código de Aguas, que es la Ley Provincial 12.257/99.

Dicho código, *establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la pro-*

¹ Es dable señalar, que las leyes nacionales y provinciales mencionadas, pueden ser consultadas en la página Web: www.medioambiente.gov.ar/mlegal

vincia de Buenos Aires. Se ha dicho que la ley 12257 dispone:

- La obligación de aplicar “técnicas eficientes” (Art. 33 inc. a, conc Art. 45 inc. a).
- Institucionaliza mecanismos de control preventivo, publicidad y participación comunitaria, a saber: Evaluación de Impacto Ambiental, Declaración de Impacto Ambiental, consulta pública, auditorías ambientales (Art. 97 a 100).
- Reducción del canon, para el concesionario que utilice métodos más racionales de aprovechamiento del agua, con prioridad a la renovación de concesión (Art.71).

El Código de Aguas y su Contenido Ambiental

El Código de Aguas de la provincia de Buenos Aires si bien es un instrumento de política y gestión ambiental, con énfasis en el recurso que le compete, mucho de su contenido es de índole netamente administrativo.

Los tres pilares fundamentales de acción del Código de Aguas, son, la “protección”, la “conservación” y el “manejo” del recurso hídrico de la provincia de Bs. As. (Art. 1).

En la denominación, “recursos hídricos”, engloba al agua superficial, subterránea y atmosférica, ya que entiende que el agua es parte de un ciclo, el ciclo hidrológico (Art. 90), y que forma parte de un sistema, el medio ambiente, con el cual interactúa (Art. 101, 103, 104 y 122).

De acuerdo al código, el agua, al igual que el resto de los recursos naturales, es susceptible de contaminación, degradación y sobreexplotación (Art. 84, 103, 104 y 106), todos estos, procesos antrópicos producto del desarrollo. Su uso o estudio nos impone obligaciones implícitas como ser, el uso de técnicas eficientes que minimicen el desperdicio y la degradación tanto de las aguas, como del medio ambiente en general; la preservación de la cobertura vegetal protectora de fuentes, cursos y depósitos; el mantenimiento de las instalaciones u obras hidráulicas; y toda otra acción que no perjudique al recurso, ni cause daño ni peligro al hombre (Art. 33 y 175).

Para ello el Código propone el uso de herramientas tales como:

1) La Planificación Hidrológica, para satisfacer las demandas de agua y equilibrar y compatibilizar el desarrollo regional y sectorial, de acuerdo a los distintos usos, incrementando la disponibilidad del recurso, protegiendo su calidad, estableciendo zonas de reserva, economizando su empleo, optimizando su aprovechamiento en equilibrio con el resto del ambiente (Art. 5).

2) El Estudio Hidrogeológico, como requisito previo a la autorización de una nueva explotación del recurso hídrico subterráneo, elaborado por un profesional competente (Art. 85). Esto contribuiría por ejemplo, a que las perforaciones del suelo o subsuelo, y toda obra de captación o recarga de agua subterránea, no contaminen los acuíferos en forma directa o indirecta conectando hidráulicamente acuíferos (Art. 84).

3) La Evaluación de Impacto Ambiental, que se exige a toda actividad que se cree puede generar riesgo o daño alguno al agua o al ambiente (Art. 97). Y,

4) Auditorías Ambientales, una vez otorgada la declaración de impacto ambiental, y de acuerdo a la obra o actividad se exige periódicamente (Art. 100).

En lo que hace a los diferentes usos del agua: abastecimiento de agua potable; agropecuario; industrial; recreativo, deportivo y de esparcimiento; energético; terapéutico, medicinal y termal o vapor de agua; mine-

ro; piscícola; y flotación y navegación (Art. 55), se establecen distintos requisitos y documentaciones (Art. 58, 59, 65, 66, 72, 74, 75, 76, 79 y 80, respectivamente) que persiguen el cumplimiento del artículo 1 del Código.

En cuanto a las aguas para abastecimiento de la población, uno de los requisitos condicionantes para el otorgamiento de la concesión, es el grado de potabilidad del agua para consumo, la posibilidad de mantener su aptitud y cantidad. Como así también garantizar la evacuación y disposición final de las aguas residuales de forma tal de no producir contaminación. Establece que debe haber un monitoreo tanto de la fuente de agua, como de la red, y a su vez, mantener las instalaciones en condiciones adecuadas para un aprovechamiento racional y la adopción de medidas de protección y conservación del medio ambiente (Art. 58).

En lo que respecta al uso agropecuario, se establece que el terreno debe tener aptitud para el regadío, y el agua, la calidad y la cantidad para ser usada (Art. 59).

Mientras que, para el uso industrial del agua, el código establece que debe presentarse documentación más acabada como una autorización de radicación de la industria tanto municipal, como provincial; su clasificación ante la secretaria de Política Ambiental; identificar los puntos de toma y descarga de agua; poseer un proyecto y memoria técnico-descriptiva del sistema de tratamiento y de la depuración de efluentes, y certificado de aptitud ambiental (Art. 69).

El Código, enfatiza en el uso eficiente del recurso (Art. 33 inc. a), 45 inc. a), 58, 60 inc. c), y establece el beneficio para aquellos que así lo hiciesen con la reducción del canon y de la prioridad en las concesiones.

Estas son algunas de las cosas que el código de la Provincia propone, y que se han señalado por resultar las más sobresalientes y básicas para el objeto (Art. 1) que éste código persigue.

CONCLUSIONES

Para comprender la gestión de los recursos hídricos en la ciudad de Tandil se creyó conveniente analizar el estado de situación y evolución tomando como referencia el Código de Aguas provincial. Para ello son de suma relevancia aspectos discutidos en apartados anteriores.

Primero cabe comentar, que en las actividades de O.S.T se denota un análisis fragmentado de los recursos hídricos identificando estrategias diferenciadas para: aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas. Esta mirada no considera que todas estas aguas en conjunto, comprenden los recursos hídricos locales, y que éstos interactúan entre sí y con el medio ambiente en general, en lo que se conoce como ciclo hidrológico (Art. 90, 101, 103 y 104 del Cód. de Aguas). Esta perspectiva parcializada evidentemente dificulta su gestión integral y como consecuencia acciones particulares pueden afectar otras instancias del ciclo (por ejemplo, lo que ocurre entre las lluvias copiosas, la planta de tratamiento y el arroyo Langueyú).

La Planificación hidrológica (Art. 5 del Cód. de Aguas) en la ciudad de Tandil es deficiente, ya que el único antecedente sobre “planificación” es el Plan Director de O.S.T, elaborado en 1982, y sin una visión ambiental integral del recurso. Este trabajo tenía una proyección de 30 años, y si bien ha habido ampliaciones de las obras de infraestructura de los servicios de agua de red y cloacas, existen problemas. El ente municipal de O.S.T y el municipio en general, hoy deben tomar medidas con carácter de urgencia. En el caso de la planta depuradora, ya se encuentra sobrepasada de su capacidad de tratamiento, (recordemos que la misma fue preparada para un máximo de 46.000 habitantes. Actualmente el Municipio con apoyo del Estado Nacional, está construyendo una nueva planta depuradora, destinada a la extensión del servicio.

En cuanto al servicio de agua de red municipal, los pozos de abastecimiento se realizan en cualquier lugar, siendo la única premisa de su desarrollo la existencia de agua en cantidades suficientes.

La explotación de agua con fines de abastecimiento, tanto municipal como particular, carece de estudios hidrogeológicos de base (Art. 85 del Cód. de aguas). La ausencia de planificación hidrológica, mencionada anteriormente, genera problemas de cantidad y compromiso de la calidad del recurso. Algunos pozos son llevados a cabo sin tener en cuenta su contexto ambiental, así es que un número importante de pozos de explotación se encuentran ubicados en la zona noreste de la ciudad donde no hay servicio de cloacas, o como los pozos S_1 y S_2 , ubicados en el parque Industrial de Tandil. También hay antecedente de pozos que se realizaron en la zona de la Tandilera, cerca del Aeroclub, dónde se llevaron a cabo un grupo de perforaciones con un distanciamiento de 200-300 metros aproximadamente entre sí, lo que generó que los conos de depresión por el bombeo del agua, se interpusieran generando una mayor depresión. Esto hizo que al poco tiempo todos los vecinos que tenían pozos domiciliarios en un radio de 1.000 metros se quedaran sin agua al secárseles los pozos (Art. 84 de Cód. de Aguas). Todos estos problemas obedecen al déficit señalado, por la falta de estudios hidrogeológicos, sin los cuales no se puede conocer la dinámica y el comportamiento del agua subterránea, y superficial. Ejemplo de esto es nuevamente, la descarga del agua tratada en la planta y vertida al A° Languayu, en la zona en que dicho A° es influente con respecto a las aguas subterráneas.

A su vez los directivos de O.S.T tienen la concepción errónea, de que solo la implementación de los medidores solucionaría el problema del consumo desmedido del agua, por parte de la población. Como si este fuera además el único inconveniente a solucionar. Como paradoja, el mismo ente encargado del servicio, no tiene control alguno sobre las pérdidas de sus propias cañerías (Art. 58 Cód. de Aguas).

Como conclusión, lo comentado se debe al escaso conocimiento, por parte de los gestores municipales de los recursos hídricos como parte del medio ambiente y de su interacción con él, o sea con su entorno, del cual forma parte el hombre. Esto genera que la gestión del recurso no sea sostenible, necesiándose de pautas generales para la explotación del recurso hídrico subterráneo específicas, en base a las características del mismo.

Es necesario educar e informar a la población para que la misma tome conciencia de los perjuicios que el mal uso de recurso genera a mediano y largo plazo.

REFERENCIAS

- LATELLA, BETTINA, (2006).** Pautas Generales para el Manejo Integrado del Recurso Hídrico Subterráneo en Tandil. *Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN.* Tandil, Buenos Aires.
- PROVINCIA DE BS. AS. Y NACIÓN, (1999).** *Código de Aguas: Ley 12.257. Legislación Ambiental.* Editora Scotti. Segunda edición. Pcia. de Bs. As. Argentina.
- RUIZ DE GALARRETA, A., Y BANDA NORIEGA, R., (2005).** Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea.* Octubre 2005. UNCR. Río Cuarto, Córdoba.
- TERUGGI, M., Y KILMURRAY, J., (1980).** Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Geología Regional Argentina, Vol II.* Cordoba.

INTERRELACIÓN ENTRE VARIABLES SOCIOECONÓMICAS Y LA CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO

Peluso Fabio, Othax Natalia, Usunoff Eduardo

Instituto de Hidrología de Llanuras. Av. Italia 780, Campus Universitario UNCPBA, 7300, Azul, Provincia de Buenos Aires. Telefax: 02281-432666 e-mail: fpeluso@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

En las últimas dos décadas se ha promovido a nivel mundial la adopción de preceptos vinculados a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). En este contexto, y con el objeto de avanzar en un análisis interdisciplinario de las problemáticas de los recursos hídricos, se ha llevado a cabo un estudio de integración entre variables socioeconómicas de la ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires, con información de calidad de agua subterránea. Se analizaron variables vinculadas al área de salud, ingreso, vivienda y educación, provenientes del último censo de Población, Viviendas y Hogares del INDEC y de diversos mapas de un SIG de la ciudad. La información se manejó mediante análisis multicriterio en forma de mapas temáticos georeferenciados. El estudio ha permitido la selección de áreas urbanas con una calidad de agua subterránea objetable según la normativa y que presentan condiciones socioeconómicas inadecuadas para enfrentar ese problema. Se identificó un área problemática de 0,45 km² (19 manzanas y 67 habitantes) con una concentración de nitrato superior al nivel guía de calidad de agua para bebida y una situación socioeconómica desfavorable. Como se puede apreciar, una de las principales posibilidades que presenta esta herramienta es la identificación de áreas prioritarias para la toma de decisiones en el contexto de la gestión ambiental y de la GIRH.

Palabras claves: nitrato, agua de bebida, variables socioeconómicas.

ABSTRACT

The Integrated Water Resources Management (IGRW) precepts have been acknowledged worldwide in the last two decades. Given such a fact, and with the objective of advancing the interdisciplinary approach to problems related to water resources, a study integrating socio-economical variables and ground-water quality data has been carried out in Azul City, Buenos Aires Province. Variables related to health status, income, housing, and education level, from the last Census of Population, Housing and Homes of the INDEC, as well as several thematic maps of the GIS of Azul City were analyzed. The information used multicriteria analysis based on georeferenced maps. The study has led to a selection of urban areas whose ground-water quality is objectionable according to prevailing rules and with inadequate socio-economical conditions to cope with that problem. An area of 0,45 km² (19 blocks, 67 people) was identified to have drinking water with nitrate concentration above the permissible limits coupled with an unfavorable socio-economical situation. It can

then be inferred one of the main possibilities of this tool is the identification of foreground areas in order to make decisions in the context of environmental management and the IGWR.

Keywords: nitrate, drinking water, socio-economical variables

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los desafíos encontrados por los países en búsqueda del desarrollo económico y social están crecientemente relacionados con los recursos hídricos. La escasez de agua y su deterioro, y los impactos de las inundaciones, están dentro de los problemas que requieren más atención y acción (GWP, 2000). Con el fin de mejorar la situación planteada, un número cada vez mayor de naciones están empezando a adoptar enfoques de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) (GWP, 2006).

Específicamente, la GIRH se define como un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinada de los recursos hídricos, del suelo y otros relacionados, con el propósito de maximizar el bienestar económico y social resultante, de una manera equitativa y sin detrimento de la sostenibilidad de los ecosistemas fundamentales (GWP, 2000). El objetivo de la GIRH es alcanzar un equilibrio entre el uso de los recursos para el sustento y la conservación de éstos con el objeto de apoyar su función en beneficio de las generaciones futuras (GWP, 2000). Una estrategia de GIRH puede constituir una herramienta útil para abordar retos de desarrollo específicos y optimizar el empleo del agua en la consecución de objetivos sociales, económicos y naturales (GWP, 2006).

La ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires (ver Figura 1), cuya planta urbana posee 90 km², 1990 polígonos y 56500 habitantes, presenta una composición de agua subterránea con concentraciones de nitrato que muy frecuentemente superan los niveles máximos permisibles (50 mg l⁻¹ según la Ley 11.820 de la Provincia de Buenos Aires). Aunque la planta urbana cuenta con una amplia cobertura de la red de agua potable, existen gran cantidad de pozos domiciliarios que se usan para consumo humano a pesar de su prohibición por la normativa municipal vigente.

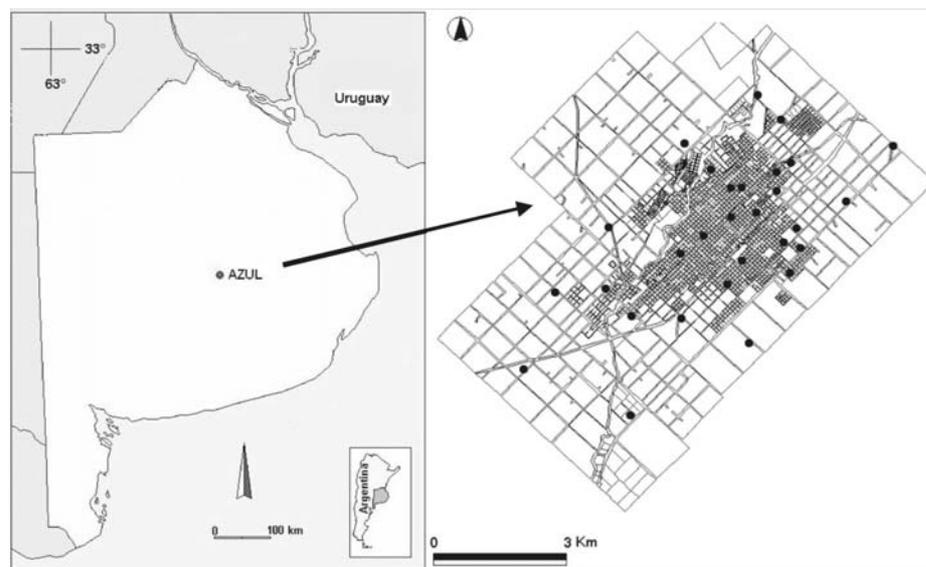


Figura 1. Detalle de la planta urbana de la ciudad de Azul con la ubicación de los pozos domiciliarios muestreados.

Reconociendo la importancia de ciertas variables socioeconómicas en determinadas evaluaciones ambientales de cara a la gestión de los recursos hídricos, el objetivo general del presente trabajo es avanzar en la integración de información multisectorial tal como demanda el enfoque GIRH, en el área urbana de la ciudad de Azul. El objetivo específico es identificar las áreas prioritarias donde concurren niveles de calidad del agua por encima de los niveles máximos permisibles (bajo la forma de concentración de nitratos) y los mayores niveles de vulnerabilidad socioeconómica, recurriendo a las potencialidades de los SIG y a la elaboración de un índice integrado por variables socioeconómicas.

METODOLOGÍA

La información se trabajó espacialmente en un entorno SIG de la planta urbana-periurbana de la ciudad de Azul. El mismo está operado con ArcView (ESRI, 1992 – 1999) y se sustenta en un mapa base georeferenciado con la información como polígonos. Tiene anexado una base de datos relacional, la cual fue generada con el aporte de información de distinta naturaleza, por ejemplo, la superficie que representa cada polígono (correspondiente a cada unidad catastral) o su población.

Concentración de nitratos por polígono

Las muestras de agua subterránea fueron tomadas de 30 pozos domiciliarios activos (ver Figura 1), los que tienen una profundidad media de 16 metros. La composición química del agua fue analizada a partir de 300 muestras obtenidas por relevamientos periódicos durante los años 2002 – 2005 (IHLLA, 2005). El contenido de nitrato por muestra fue medido por técnicas cuantitativas estándar (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

En el presente trabajo, la selección del valor de concentración representativo del conjunto de datos de cada pozo se realizó mediante la aplicación del Límite Superior de Confianza 95 % (95% UCL, o directamente UCL). El mismo se define como “el valor que, calculado repetidamente del conjunto de datos de concentración de un sitio, iguala o excede el valor de la media aritmética el 95 % de la veces” (USEPA, 1992) y consiste en un procedimiento determinístico utilizado por USEPA (USEPA, 1989; USEPA, 1992; USEPA, 2002). El UCL se computó utilizando el software Pro-UCL v. 3 (USEPA, 2004).

Con relación a la espacialización de los valores de concentración de nitrato, el conjunto de valores obtenidos por UCL se interpoló a toda la superficie del área de estudio mediante técnicas geoestadísticas aplicando krigging ordinario con variograma omnidireccional y modelo lineal (Isaaks y Srivastava, 1989, Goovaerts, 1997), con una equidistancia de 60 metros (Peluso, 2005). Aplicando una rutina de poligonización sobre la grilla de valores interpolados con el propio ArcView, se obtuvo un mapa temático de la planta urbana-periurbana con los valores de concentración de nitrato por polígono.

Información socioeconómica por polígono

La información socioeconómica se integró en un índice de vulnerabilidad denominado Sistema Integrado de Criterios socioeconómicos (SIC). Este índice está integrado por variables vinculadas al área de EDUCACION, SALUD e INGRESO provenientes del último censo de Población, Viviendas y Hogares del INDEC (2005) y de un SIG del Municipio de la ciudad de Azul (2004/2005). La elección de las mismas se realizó considerando relevantes aquellas variables que permitieran dar una visión de la distribución y gravedad de la

condiciones de vida para enfrentar casos posibles de contaminación del agua subterránea.

Cada variable se manejó mediante análisis multicriterio (AMC); esta técnica, propia del ámbito de la toma de decisiones, ofrece una herramienta de base matemática para elegir entre opciones caracterizadas por distintos atributos (Carver, 1991; Romero, 1993). Cada variable se convirtió en criterio al ser normalizada por el total de población, de viviendas o de hogares, según la variable, y luego se ponderó por la “distancia” a valores referenciales (ver ecuación 1), surgidos del Índice de Desarrollo Humano del PNUD, según el método ideado por Goncalves Gomes y Pereira Estellita Lins (2002).

$$Cri = V/T * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

Cri = criterio, V es el valor de la variable; T es el total de población, de viviendas o de hogares, según la variable.

El valor máximo que puede adoptar: 100

El valor final multicriterio es la sumatoria de todos los criterios de cada área (Educación, Salud o Ingreso) por su peso respectivo, tal como se expresa en la Ecuación 2. Es decir, el método multicriterio aplicado es el de la suma ponderada (Keeney y Raiffa, 1976; Goncalves Gomes y Pereira Estellita Lins, 2002). Este método exige que cada criterio tenga un nivel de ponderación que representaría la contribución de cada alternativa a la composición de una alternativa referencial (Goncalves Gomes y Pereira Estellita Lins, 2002). El modelo utilizado responde a la Ecuación 3.

$$\sum_{i=1}^6 Cri \lambda_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

$$\lambda_i \geq 0, i = 1, \dots, n$$

Cri = criterio i

λ_i = peso para el criterio i

$$\sum_{i=1}^6 \lambda_i = 1 \quad \text{Ecuación 3}$$

El modo en que se asignaron los pesos a cada criterio está basado en los índices de Desarrollo Humano (IDH) del PNUD (Goncalves Gomes y Pereira Estellita Lins, 2002). Estos índices representan el nivel de desarrollo de un sitio en base a un conjunto de variables agregadas en Educación, Salud e Ingreso. La

Argentina tiene sus respectivos IDH no sólo por provincia sino para las comunidades más importantes. El último IDH disponible para la provincia de Buenos Aires que sirve a los fines del presente estudio es del año 1996 (Oficina del PNUD en Argentina, 2003).

La selección de pesos fue calculada a partir de la diferencia porcentual del IDH correspondiente a Educación, Salud e Ingreso de la ciudad de Azul con respecto al mejor sitio para el mismo ámbito geográfico, en este caso, la ciudad de Vicente López. Este proceder asume que a mayor diferencia entre el nivel máximo de los niveles posibles (el de la ciudad Vicente López) y el de Azul, mayor importancia tiene el peso. En la Tabla 1 se establecen los valores de la diferencia para las áreas EDUCACIÓN, SALUD e INGRESO.

Tabla 1. Comparación de Índices IDH entre la ciudad de Azul y el correspondiente al mejor de la provincia para la asignación de los pesos de los criterios.

	IDH Educación	IDH Salud	IDH Ingreso
Azul	0.566	0.739	0.562
V. López	0.976	0.876	0.914
Diferencia	0.41	0.137	0.352

La determinación de los pesos (λ_i) a utilizarse en los criterios por área del IDH se presenta en Tabla 2. Debido a que la suma de *pesos por área* no es igual a la unidad, se ajustó proporcionalmente el valor de cada área (*Peso corregido por área* en la Tabla) para que su suma respete la Ecuación 3. Al ser dividido por el número de variables participantes del área se obtiene el *peso corregido por variable*.

Tabla 2. Determinación de los pesos por área del IDH y por variable.

	IDH Educación	IDH Salud	IDH Ingreso	Suma
Peso por área	0.41	0.137	0.352	0.899
Peso corregido por área	0.46	0.15	0.39	1
Num. de variables	1	2	3	6
Peso corregido por variables	0.46	0.075	0.13	

En el Área de Educación se seleccionaron las siguientes variables:

- Cantidad de jefes de hogar con bajo nivel educativo (información obtenida del INDEC, 2005).

En el Área de Salud se seleccionaron las siguientes variables:

- N° de hogares sin cobertura de agua de red (información obtenida del INDEC, 2005)

- N° de habitantes sin obra social (información tomada del GIS, 2004/2005)

En el Área de Ingreso se seleccionaron las siguientes variables:

- Cantidad de población con ingreso hasta \$350 (información obtenida del GIS, 2004/2005)
- Cantidad de viviendas con piso de tierra (información obtenida del GIS, 2004/2005)
- Cantidad de viviendas con baño exterior (información obtenida del GIS, 2004/2005)

Con el objeto de identificar el área urbana que presenta una situación socioeconómica desfavorable de acuerdo al SIC, se seleccionaron los polígonos con un valor igual o superior al límite mayor del tercer cuartil de la distribución de valores SIC de toda la planta urbana.

RESULTADOS

En la Figura 2 se presentan las unidades catastrales que poseen 50 mg l⁻¹ o más de concentración de nitrato en agua subterránea. El conjunto de polígonos totalizan 1.530, ocupando 28,87 km² e involucrando 54.844 personas, de los cuales 13.895 corresponden a niños.

En la Figura 3 se muestra la distribución espacial por polígono del SIC. El área de mayor vulnerabilidad corresponde a un valor igual o superior al límite mayor del tercer cuartil del conjunto de valores del SIC (62.59), lo cual se resalta en la figura. Esta tiene una superficie de 0.51 km², comprende 32 polígonos y tiene 69 habitantes, de los cuales 20 son niños.

En la Figura 4 se muestra el área de la planta urbana que presenta una concentración de nitrato superior al límite y vulnerabilidad socioeconómica. Esta posee una superficie de 0.45 km², comprende 19 polígonos y tiene 67 habitantes, de los cuales 20 son niños.

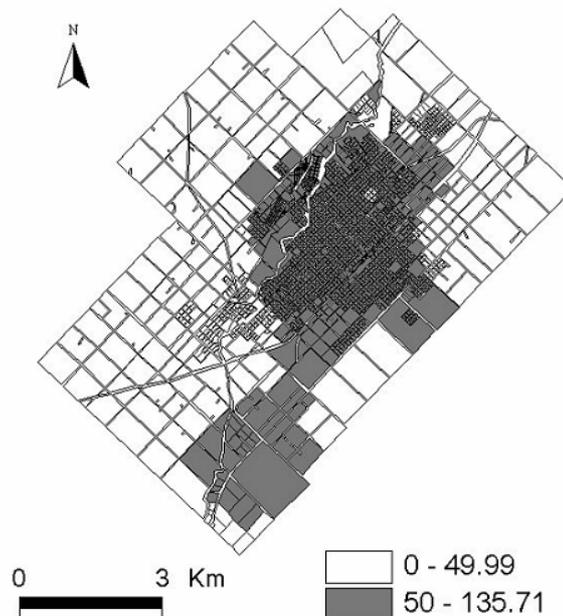


Figura 2. Área de concentración de al menos 50 mg l⁻¹ de concentración de nitrato en agua subterránea.

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido la selección de las áreas urbanas que disponen de una calidad del recurso hídrico subterráneo objetable según la normativa y que presentarían inadecuadas condiciones socioeconómicas para enfrentar ese problema.

Específicamente, se ha observado que este tipo de estudios apoyados en la geoestadística y basados en la tecnología SIG permiten una visión más completa de la afección potencial de la población por contaminantes en agua de consumo, posibilitan una visualización de áreas críticas en términos sanitarios directos y aportan información acerca de la gente expuesta.

Como se puede apreciar, una de las principales posibilidades que presenta esta herramienta es la identificación de áreas prioritarias para la toma de decisiones en el contexto de la gestión ambiental y de la GIRH.

Asimismo, se reconoce que este tipo de metodología son herramientas de alto valor con respecto a la GIRH debido al tipo de información que aportan (distribución espacial de la calidad del agua), y a su posibilidad de integración con información estratégica de otra naturaleza (en este caso información de vulnerabilidad socioeconómica), lo cual puede promover la toma de decisiones sobre el manejo territorial y los recursos hídricos asociados.

Las razones antes planteadas permitirían reconocer el alto valor que poseen estos modelos como herramientas para el manejo de los recursos hídricos para uso consuntivo, de acuerdo a los principios enmarcados en el concepto de la GIRH.

Enumeradas la serie de ventajas, parece claro que este tipo de herramienta de gestión no debería quedar fuera de las opciones metodológicas disponibles para la administración ambiental argentina redundando en tomas de decisiones mejor sustentadas técnicamente, integradoras y con una visualización más clara de los resultados.



Figura 3. Distribución espacial de la situación socioeconómica a través de los valores del índice SIC.

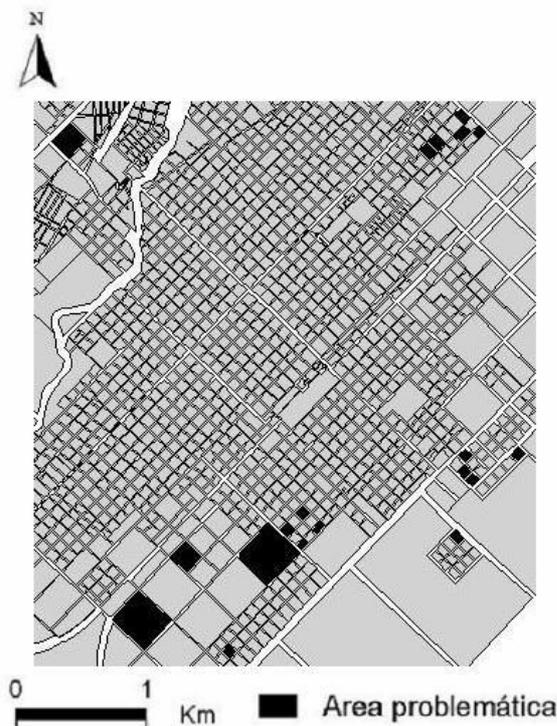


Figura 4. Identificación del área que dispone de una concentración de nitrato superior al límite y presenta situación socioeconómica desfavorable.

REFERENCIAS

- A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F., (1992).** Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Análisis de aguas potables y residuales. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. p.1816, Ediciones Diaz de Santos, S.A. Madrid, España.
- CARVER, S., (1991).** Integrating Multicriteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5 321 – 339.
- GIS, (2004/2005).** Sistema de Información Geo-referenciado. Convenio de cooperación con la Universidad Nacional de La Plata-Municipalidad de Azul.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP), (2000).** Manejo integrado de recursos hídricos. Integrated water resources management. TAC Technical background papers, No. 4. GWP Technical Advisory Committee, Stockholm, Sweden. www.gwpforum.org
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP), (2006).** Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: Fortalecimiento de las Acciones Locales. Documento Temático. Eje Temático No. 2 Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. IV Foro Mundial del Agua Ciudad de México. www.imacmexico.org
- GONCALVES GOMES E., PEREIRA ESTELLITA LINS M., (2002).** Integrating geographical information systems and multi-criteria methods: A case study. *Annals of Operations Research* 116, 243 – 269.

- GOOVAERTS P., (1997).** Geostatistics for natural resources evaluation. Applied Geostatistics Series. Oxford University Press, Inc., UK.
- IHLA, (2005).** Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense. Proyecto CIC-UNCPBA, Informe Final. Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Argentina.
- INDEC, (2005).** Censo de Población, Viviendas y Hogares 2001 por Radios Censales para la ciudad de Azul, Buenos Aires. Información en soporte digital. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- ISAAKS E., SRIVASTAVA M., (1989).** An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Inc., UK.
- KEENEY R.L., RAIFFA, H., (1976).** Decisions with multiple objectives. Preferences and value tradeoffs, Cambridge University Press, Cambridge Original publication. John Wiley and Sons, 569 p., New York.
- PELUSO F., (2005).** Metodología de análisis areal de riesgo sanitario por contaminantes en el agua de bebida para la ciudad de azul, argentina. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. p. 226.
- ROMERO, C., (1993).** La Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicación. Ed. Alianza, Madrid, España. p.195.
- USEPA, (1989).** Risk assessment guidance for superfund. Volume 1: human health evaluation manual. EPA/540/1-89/002. Washington D.C., USA.
- USEPA, (1992).** Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term. Intermittent Bulletin. Volume 1 Number 1. Publication 9285.7-081. U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA, (2002).** Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites. OSWER 9285.6-10. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response. Washington D.C.
- USEPA, (2004).** ProUCL Version 3.0 User Guide. EPA/600/R-04/079.

SUSTENTABILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL PARTIDO DE LA COSTA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Bocanegra, Emilia¹, Massone, Héctor¹, Ferrante, Angel¹, Iuretig, Mirta², Quiroz Londoño, Mauricio¹ y Bernasconi, María Virginia¹

¹ Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. Funes 3350. 7600 Mar del Plata.

TE 02234754060, Fax 02234753150, email: ebocaneg@mdp.edu.ar, hmassone@mdp.edu.ar, aferran@mdp.edu.ar, qlondono@mdp.edu.ar, mbernas@mdp.edu.ar

² Departamento de Física. Funes 3350. 7600 Mar del Plata. email: iuretig@mdp.edu.ar

RESUMEN

El área destinada al abastecimiento de aguas subterráneas a diversas localidades del Partido de la Costa, ocupa una superficie de 48 km² y se ubica en la faja costera medanosa del litoral atlántico bonaerense, entre Punta Médanos y el sur de la localidad de Mar de Ajó. El 50% de esta área constituye un acuífero libre de 15 m de espesor promedio, conformado por una secuencia de arenas de diferente granulometría con restos de conchillas. El objetivo del trabajo es evaluar las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero. Se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial y del balance hídrico promedio, la medición en 40 puntos de agua de niveles freáticos y muestreo para análisis químico y bacteriológico en pozos, en la Planta de Tratamiento, en la red, y en sistemas de abastecimiento a escuelas y salas de salud. Se concluye que se ha producido una explotación intensiva del acuífero, dado que el volumen anual extraído es similar a las reservas disponibles. A partir de la evidencia hidrodinámica, con niveles freáticos por encima del nivel del mar, e hidroquímica, basada en las concentraciones bajas del ión cloruro, puede concluirse que no se verifica intrusión marina ni la salinización desde la terraza baja. La presencia de hierro y manganeso en muestras de pozos puede deberse a la existencia de estratos portadores de dichos iones, y a su movilización en un ambiente reductor y/o a través de bacterias. La presencia de los mismos en instalaciones públicas puede deberse a problemas de corrosión en las cañerías y a suministro con fuente alternativa domiciliaria de agua freática no obstante contar con el suministro de agua corriente.

Palabras claves: acuífero, sustentabilidad, explotación, Partido de la Costa.

ABSTRACT

In the Partido de la Costa, Buenos Aires, the area assigned to groundwater exploitation occupies 48 km² and is located in a coastal dune belt between Punta Médanos and Mar de Ajó. Only 50% of this area constitutes a phreatic aquifer, 15 m mean thick, which is formed by a sequence of sandy sediments and shell remains. The aim of this paper is to evaluate the hydrodynamic and hydrochemical characteristics of the aquifer. The work plan included the estimation of the ETP and the mean monthly balance, the surveying of 40 water points for phreatic levels and for chemical and bacteriological analysis, from wells, the Treatment Plant, the

network and the supply systems of schools and hospitals. The intensive exploitation in the aquifer, since the extractions are similar to the estimated groundwater reserves, did not produce marine intrusion or salinization of the aquifer from the lateral low terrace. High concentrations of iron and manganese in samples would be caused by the mobilization of these ions, present in sediments, through the action of bacteria. Corrosion in pipelines and the use of old domestic wells, although public water supply system is operating, could cause high concentrations of these ions in school and hospital tanks.

Key words: aquifer, sustainability, exploitation, Partido de la Costa.

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de los asentamientos humanos y sus actividades económicas y lúdicas se realizan cerca del mar, en las áreas costeras, mientras que las necesidades de agua dulce son elevadas y su disponibilidad superficial es escasa. En estos casos los recursos de agua subterránea adquieren una importancia capital, muchas veces como única fuente de suministro y frecuente ausencia de problemas que obliguen a un tratamiento costoso para corregir su calidad.

Los acuíferos costeros tienen como contorno la interfaz entre el continente y el mar, a través de la cual, en condiciones naturales, el agua dulce descarga al mar. Este flujo juega un papel esencial en el mantenimiento de las condiciones de equilibrio agua dulce – agua salada. Si dicho flujo se modifica por la explotación de los recursos hídricos subterráneos, se pasa a una situación transitoria que conlleva la migración de la interfaz hacia el continente. Se puede llegar a un nuevo equilibrio sin más consecuencias que una reducción del agua dulce en almacenamiento en el sistema, si aun subsiste una descarga suficiente de agua dulce al mar y la cuña salina no penetra hasta la posición de los pozos de extracción. De otro modo se produce salinización de las captaciones al cabo de un cierto tiempo, bien sea por acceso directo del agua salada a los filtros, bien sea porque se producen conos ascensionales salinos al situarse el agua salina bajo la captación (Bocanegra y Custodio, 1994).

El presente trabajo tiene por objeto realizar un análisis de diagnóstico hidrodinámico e hidroquímico del acuífero en explotación en el Partido de la Costa, Provincia de Buenos Aires (área “Predio Chancay”) y aportar criterios de utilidad para la toma de decisión relacionada con la sustentabilidad de dicha explotación.

La Empresa Aguas de la Costa actualmente abastece de agua a las localidades de Mar de Ajó, San Bernardo del Tuyú y La Lucila del Mar. La explotación del agua subterránea tiene una variación estacional, con un mayor número de pozos en funcionamiento durante los meses de verano para abastecer a la población turística. Esta explotación se ha ido incrementando desde 1998 con 24 pozos que extraían en total un caudal promedio anual de 100 m³/h, hasta 2004 con 48 pozos que extraen 600 m³/h. Este caudal equivale a un volumen anual de 5.2 Hm³.

METODOLOGÍA

En primer lugar se tomó como antecedente de referencia inmediato un importante estudio desarrollado por el Consejo Federal de Inversiones para la evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costera atlántica comprendida entre Punta Rasa y Punta Médanos (CFI, 1990.a y b). Con respecto al el reconocimiento hidrogeológico del área de estudio se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite (1948) y del balance hídrico promedio por el método de Thornthwaite y Mather

(1957) a partir de datos de las estaciones meteorológicas de San Clemente del Tuyú y Pinamar; un censo de perforaciones con medición en 40 puntos de niveles freáticos y muestreo para análisis químico y bacteriológico en pozos explotados por la Empresa Aguas de la Costa (responsable del suministro de agua corriente); se muestreó, además, en la cañería de ingreso a la Planta de Tratamiento operada por la Empresa y utilizada para adecuar contenidos de Fe y Mn; a la salida de la misma, en la red domiciliaria, en sistemas de abastecimiento a escuelas y salas de salud, y en numerosos pozos domiciliarios. Por último, se realizó un cálculo de reservas reguladoras y se comparó esas reservas con los caudales de la explotación actual.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL PREDIO CHANCAY

El predio Chancay ocupa una superficie de 48 km², y se encuentra ubicado en la faja costera del litoral atlántico bonaerense, entre Punta Médanos y el sur de la localidad de Mar de Ajó (Fig. 1). Dicho predio ocupa parcialmente el área de explotación de segundo orden, que fue establecida en base a la tasa de renovabilidad anual por el Consejo Federal de Inversiones (CFI, 1990.a).

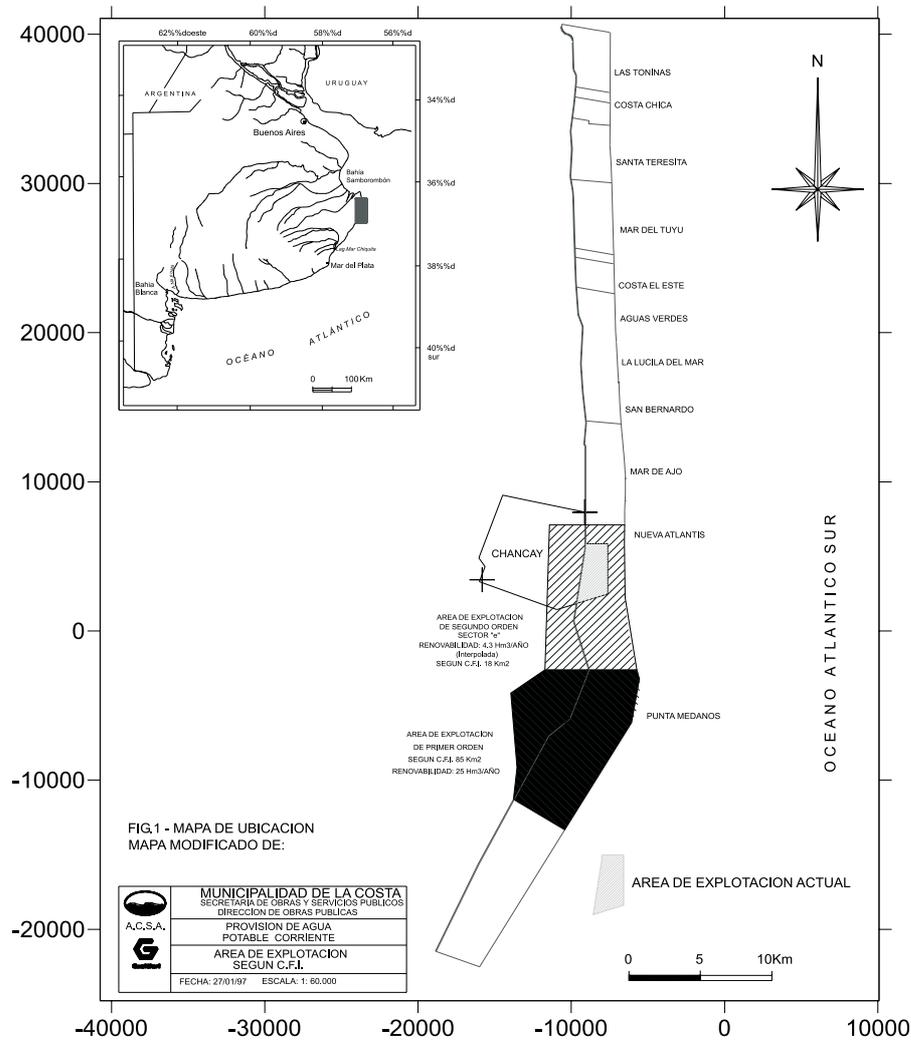


Figura 1. Mapa de ubicación (modificado de CFI, 1990.a).

El área actual de explotación de aguas subterráneas ocupa el sector oriental y abarca el 15% de dicha superficie. El espesor medio del acuífero en esta zona es de 17 m. El área de aporte de aguas subterráneas más próxima a la actual área de explotación se ubica al oeste de la misma, abarca el 35% de la superficie total del predio Chancay, tiene un espesor medio de 13 m y buenas propiedades hidrogeológicas. El total de estas áreas constituyen el 50% del predio lo que equivale a una superficie de 24 km².

El resto del predio presenta una importante disminución de los espesores acuíferos con presencia de sedimentos de baja permeabilidad, y zonas bajas inundables en las que puede esperarse un predominio absoluto del proceso de evaporación por sobre la infiltración. Por esta razón y con objeto de adoptar un mayor margen de seguridad a la hora de evaluar las reservas de agua subterránea, esta área es desestimada, asumiendo como área de recarga, solamente el 50% del predio Chancay, con una superficie de 24 km².

El acuífero es freático y está constituido por una secuencia de arenas finas a medianas de alta permeabilidad en el nivel superior, de arenas medias a gruesas con restos de conchillas, de muy alta permeabilidad en el nivel medio, y de arenas muy finas a finas arcillosas con restos gruesos de conchillas de permeabilidad media en el nivel inferior. El basamento del acuífero está constituido por arcillas muy plásticas, de muy baja permeabilidad (Vizcaíno et al, 1997).

BALANCE HÍDRICO

Las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional más próximas al predio Chancay se ubican en San Clemente del Tuyú y en Pinamar. La precipitación media anual para la estación San Clemente del Tuyú es 1034 mm (Período 1951-1980) y la evapotranspiración potencial es 754 mm, mientras que para Pinamar la precipitación media anual es 883 mm (Período 1951-1976) y la evapotranspiración potencial es 727 mm.

El balance hídrico para una capacidad de campo de 100 mm, arroja un exceso hídrico de 280 mm en San Clemente del Tuyú y de 154 mm en Pinamar, representando estas cantidades los volúmenes que pueden ingresar por infiltración al acuífero. El CFI (1990.b), para una lámina de retención de 75 mm da un excedente hídrico de 293 mm y 164 mm respectivamente.

HIDRODINÁMICA

La evaluación de los aspectos derivados de la explotación y que son potencialmente peligrosos para la sustentabilidad del recurso tales como la intrusión marina y/o el descenso pronunciado de niveles que podría poner en peligro la disponibilidad de agua, se llevó a cabo mediante la construcción de mapas de curvas isofreáticas para marzo de 2004, correspondiente a la situación de niveles más bajos luego del período estival, y para octubre de 2004, en que se estima que ya se ha producido la recuperación del acuífero y se comparó con el mapa previo a la explotación, preparado por Vizcaíno et al (1997).

El mapa isofreático de marzo 2004 (Fig. 2) muestra que no existen niveles de cota cero, por debajo del nivel del mar; las cotas freáticas oscilan entre 4 y 8 msnm y se verifican las tres direcciones de escurrimiento subterráneo presentes en la situación previa a la explotación: hacia el este y oeste, como las más notables y hacia el norte algo desdibujada. La presencia de una divisoria E-O indica la presencia de un “domo” de agua dulce que impide el ingreso del agua salina. El mapa isofreático de octubre 2004 (Fig. 3) evidencia una mejor situación relativa. En comparación con el estado previo a la explotación, puede observarse que la situación actual en el predio implica un descenso de entre 1 y 3 metros en los niveles freáticos.

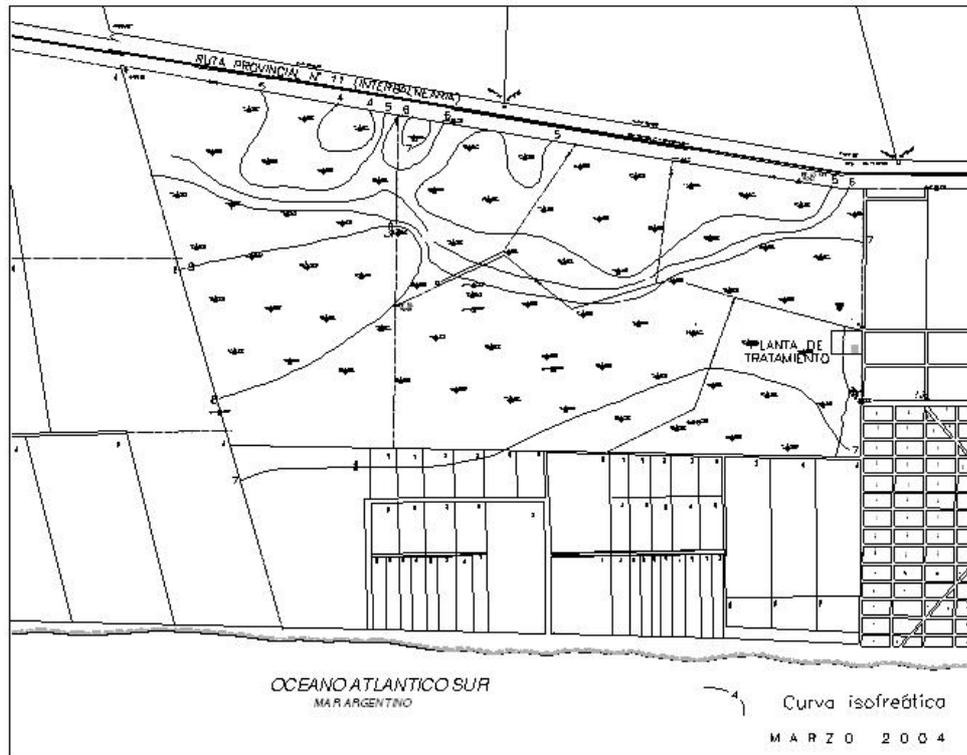


Figura 2. Mapa de curvas isofreáticas - Marzo 2004.

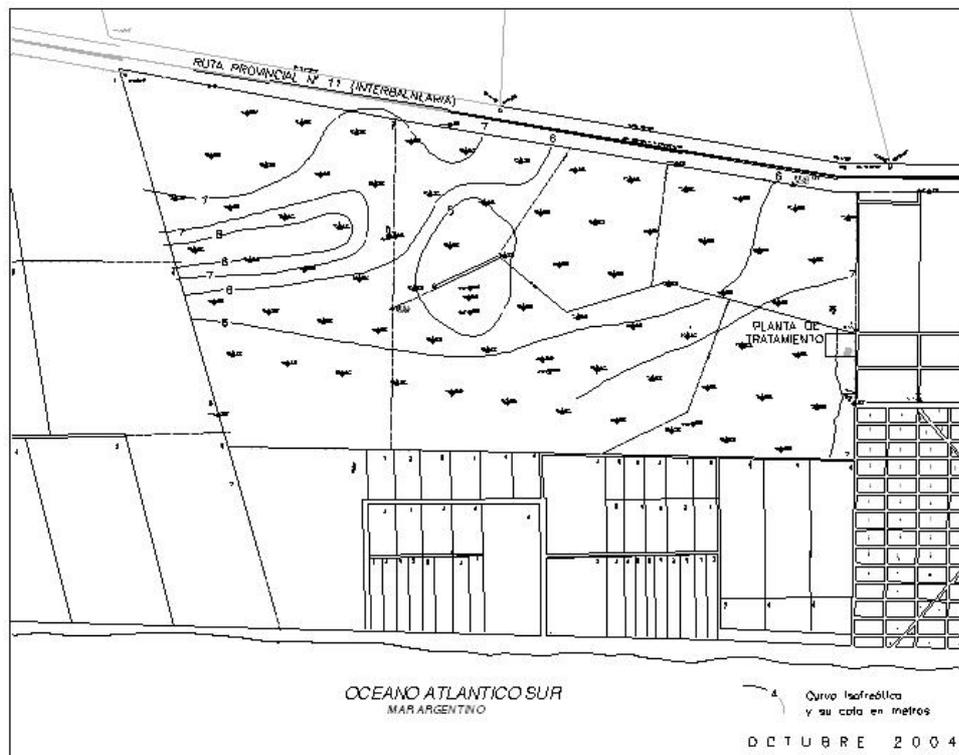


Figura 3. Mapa de curvas isofreáticas - Octubre 2004.

RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

El cálculo de las reservas reguladoras de agua subterránea, que representan el volumen de agua que puede extraerse anualmente sin afectar las reservas permanentes del acuífero, se ha determinado para una superficie de 24 km².

A partir del balance hídrico, la recarga al acuífero puede obtenerse como el producto del área y el excedente del balance hídrico promedio. Asumiendo un excedente de 222 mm, se obtiene una recarga de 5.3 Hm³.

Las reservas reguladoras pueden calcularse también como el producto del área, la altura de la fluctuación extrema de los niveles freáticos y la porosidad. La modelación hidrogeológica realizada por Vizcaíno et al (1997) señala para situaciones sin bombeo una fluctuación anual promedio del nivel freático de 1.5 m. Asumiendo una porosidad efectiva de 0.15 (CFI, 1990.a) se obtiene un valor para las reservas reguladoras de 5.4 Hm³.

Los volúmenes similares obtenidos por los dos métodos son inferiores al determinado por Vizcaíno et al (1997), de 6.3 Hm³, quienes consideraron, además de leves variaciones de algunos parámetros, un área de recarga de 42 km², mientras que en este trabajo se usan 24 km², por las razones antedichas.

HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA

Se analizan los resultados del muestreo hidroquímico y bacteriológico en 10 pozos explotados por la Empresa Aguas de la Costa, en 2 muestras obtenidas en la cañería de ingreso a la Planta de Tratamiento operada por la Empresa, 1 a la salida de la misma, 6 en la red, 8 en sistemas de abastecimiento a 4 escuelas (4 entrada de la red y 4 salida del tanque), 4 en 2 en salas de salud, 2 en el hospital (3 entrada de la red y 3 salida del tanque), y en 8 pozos domiciliarios, utilizados para abastecimiento familiar ubicados en Nueva Atlantis, Mar de Ajó, La Lucila del Mar y San Bernardo.

Todas las determinaciones químicas y bacteriológicas fueron realizadas en el Laboratorio de Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

Pozos de la Empresa Aguas de la Costa y domiciliarios

El análisis químico de las muestras provenientes de los pozos operados por la Empresa Aguas de la Costa y de los pozos domiciliarios indica que a nivel global el agua subterránea es de tipo bicarbonatada cálcica, con bajos contenidos de Sales totales disueltas, elevada dureza. El 60 % de los pozos presenta tenores de hierro que superan el límite de potabilidad de 0.30 mg/l, tienen un promedio de 7.7 mg/l y máximo de 29.7 mg/l. En cuanto al manganeso, todos los pozos superan el límite de potabilidad de 0.15 mg/l, con promedio de 0.9 mg/l y máximo de 2.46.

El análisis bacteriológico indica en algunos casos la presencia de bacterias coliformes y en dos casos de pseudomonas aeruginosa, debido a contaminación antrópica y ambiental, lo cual es habitual que aparezca en un acuífero freático, con el nivel del agua a poca profundidad respecto de la superficie.

Ingreso y egreso de la Planta Potabilizadora

El análisis químico muestra exceso de hierro y manganeso a la entrada de la Planta, proveniente de los pozos de explotación, y valores aceptados por el Código Alimentario Argentino a la salida de la misma. La

ausencia de bacterias en el agua de ingreso se debe a la cloración a la salida de los pozos, antes del ingreso a la Planta.

La Empresa realiza, según consta en sus registros, controles diarios fisicoquímicos y bacteriológicos del agua tratada salida de la Planta, para mantenerla dentro de los límites de potabilidad.

Red en Mar de Ajó, La Lucila del Mar y San Bernardo

Las muestras tomadas en la Red de agua corriente, 2 en La Lucila del Mar, 2 en San Bernardo y 2 en Mar de Ajó, dan como resultado agua potable.

Escuelas, Salas de salud y Hospital

Las muestras extraídas en las instalaciones internas de las Escuelas N° 8 y N° 12 de Mar de Ajó y N° 11 de la Lucila del Mar, en la Sala de Primeros Auxilios de La Lucila del Mar y en el Hospital de Mar de Ajó, ya sea en la cañería de entrada o en la salida del tanque, presentan en varios casos altos tenores de hierro.

El agua proveniente del tanque de la Salita de Salud Costa Azul presenta contaminación bacteriológica.

EL ROL DE LAS BACTERIAS FERRUGINOSAS

Las bacterias ferruginosas son capaces de metabolizar el Fe^{+2} presente en el agua y depositarlo en forma de Fe^{+3} . La estabilidad del Fe^{+2} y Fe^{+3} en el agua depende de: Eh, pH, de la actividad del CO_2 y de la actividad de los sulfuros. El Fe^{+3} es más estable en condiciones oxidantes y neutras o alcalinas, mientras que el Fe^{+2} lo es en condiciones reductoras o más ácidas. El Eh del agua está relacionado con la presencia de materia orgánica; como producto de su descomposición por la acción bacteriana, se produce consumo de oxígeno y se crean condiciones reductoras (anóxicas). Ciertos microorganismos aprovechan la energía liberada del paso de Fe^{+2} a Fe^{+3} en sus procesos vitales y dan lugar a precipitaciones gelatinosas; estos crecimientos bacterianos se favorecen en la oscuridad y en aguas con exceso de O_2 y abundante CO_2 (Custodio y Llamas, 1976).

Existen dos tipos de bacterias ferruginosas: las unicelulares y las pluricelulares, ambas son aerobias y autótrofas, es decir efectúan síntesis a partir del agua y sales minerales. Se caracterizan por acumular hidróxido férrico alrededor de sus células lo que origina el color pardo rojizo similar a herrumbre. El género *Gallionella*, especie ferrugínea, obtiene su energía de la oxidación del Fe^{+2} a Fe^{+3} . Su hábitat óptimo está dado por las siguientes condiciones: pH = 7 - 7,6, concentración de oxígeno: 0,1 - 1 mg/l, T = 8 °C - 16 °C, concentración de CO_2 = 20 mg/l y concentración de Fe^{+2} = 5 - 25 mg/l.

En los suelos los minerales de Fe^{+2} son estables cuando no están en contacto con oxígeno o con agua. Cuando se exponen a estos factores, en presencia de microorganismos ferro-oxidantes, se acelera la oxidación obteniéndose Fe^{+3} . La tendencia del medio es hacia la acidificación ya que la disolución de minerales básicos (carbonatos) no es suficiente para neutralizar la producción de H^+ , debida a la hidrólisis del Fe^{+3} . Junto con el ion Fe^{+3} se encuentran otros metales como Mn^{+2} y Zn^{+2} debido a la gran solubilidad de estos elementos en el agua.

Cabe mencionar que el exceso de hierro transmite un olor y sabor desagradables al agua y una turbidez rojiza pero no presenta problemas tóxicos para el consumidor. Los límites de hierro en agua se han estable-

cido a nivel mundial para evitar inconvenientes domésticos e industriales y no por carácter tóxico.

CONCLUSIONES

Se concluye que se ha producido una explotación intensiva del acuífero, dado que el volumen anual extraído es similar a las reservas, por esta razón, se considera necesario limitar la extracción en el predio Chancay a los volúmenes actuales de explotación y definir nuevas áreas de captación para una futura ampliación del servicio de agua corriente. Sin embargo a partir de la evidencia hidrodinámica, con niveles freáticos por encima del nivel del mar, e hidroquímica, basada en las concentraciones bajas del ión cloruro, puede concluirse que no se verifican efectos indeseables, tal como la intrusión marina o la salinización desde la terraza baja.

El agua subterránea en el acuífero presenta contaminación química por hierro y manganeso, de origen natural y contaminación bacteriológica de origen antrópico y ambiental, según lo revelan los análisis de agua de pozos de explotación de Aguas de la Costa y pozos domiciliarios.

El agua a la salida de la Planta de Potabilización y en la red de distribución en Mar de Ajó, San Bernardo y La Lucila del Mar es potable, de acuerdo al Código Alimentario Argentino.

El agua extraída en las instalaciones internas de Escuelas, Salas de Salud y Hospital de las localidades de Mar de Ajó, San Bernardo y La Lucila del Mar presentan contaminación por hierro. La presencia de hierro puede deberse a problemas de corrosión en las cañerías, rotura de las mismas, a presencia de material particulado en suspensión en cañería o en tanque, o a suministro con fuente alternativa de agua freática, no obstante contar con el suministro de agua corriente.

REFERENCIAS

- BOCANEGRA, E.M. & E. CUSTODIO. (1994).** Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento. Dos casos de estudio: Mar del Plata (Pcia. de Buenos Aires, Argentina) y Barcelona (Cataluña, España). Ingeniería del Agua. Vol. 1 Num. 4:49-78.
- CFI. (1990.a.)** Evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costera atlántica. Región I: Punta Rasa-Punta Médanos. Tomo I: Hidrología Subterránea.
- CFI. (1990.b.)** Evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costera atlántica. Región I: Punta Rasa-Punta Médanos. Tomo IV: Caracterización climática y balance hidrológico.
- CUSTODIO, E. & J.R. LLAMAS, (1976, 1983).** Hidrología Subterránea. Ed. Omega, Barcelona. 2 Vols., I y II 2450 pp.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948).** An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, v.38, n.1, p.55-94.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1957).** Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 311p. (Publications in Climatology, vol.X, n.3)
- VIZCAÍNO, A., GARAY, R. Y A. PETRIELLA, (1997).** Evaluación del potencial hídrico para el abastecimiento de agua potable a localidades del Partido de la Costa.

PROBLEMÁTICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN DOS BARRIOS DE LA CIUDAD DE AZUL (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

Gonzalez Castelain, Jose; Suhurt, Valeria Alejandra; Othax, Natalia

Instituto de Hidrología de Llanuras, Italia 780 – CC40 (7300) Azul, Bs As; +54 2281 432666

josegc@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

El abastecimiento de agua de pozos domiciliarios someros en áreas periurbanas genera un riesgo sanitario debido a la deficiente calidad del agua subterránea, la ausencia de conductas adecuadas para la manipulación del recurso, y la precariedad económico-social de la población. Los objetivos del presente trabajo son: (1) analizar la calidad química y bacteriológica del agua de consumo en dos barrios periféricos de la ciudad de Azul, con una población de 150 personas en 35 viviendas; y (2) evaluar el grado de concienciación de la población con respecto a la problemática del agua que consumen. Se realizaron tres muestreos en 28 pozos domiciliarios entre mayo y agosto de 2003, y se relevó información sobre el uso del recurso, la percepción de su calidad y otras variables poblacionales y socioeconómicas. En las muestras se realizaron análisis bacteriológicos y se determinó la conductividad eléctrica, la concentración de sodio, nitrato, sulfato, cloruro y fluoruro. Ninguno de los pozos estudiados resultó potable. El 85% no reunió las condiciones bacteriológicas recomendadas, el 46.4% superó el valor límite de nitrato y el 39.3% el de fluoruro. El 75% de los entrevistados manifestó que el agua es de buena calidad. Esto se asume como un preconceito que resulta un obstáculo al momento de promover medidas tendientes a mejorar individualmente la calidad del recurso que consumen, y asumir medidas mitigadoras. La educación de la población en temas vinculados a la problemática hídrica cobra importancia al momento de promover en los habitantes acciones tendientes a minimizar el riesgo sanitario asociado con el consumo de agua.

Palabras claves: calidad, percepción, consumo humano.

ABSTRACT

Water supply from domestic, shallow wells of outlying districts of a city gives rise to health risks due to a degraded quality of groundwater, the absence of an adequate behavior for managing the resource, and the precarious socio-economical conditions. The objectives of this paper are: (1) to analyze the chemical and bacteriological quality of drinking water in two outlying neighborhoods of Azul City (35 households with more than 150 people), and (2) to assess the degree of awareness of the population regarding the quality of the water they consume. Three samplings of 28 domestic wells were carried out between May and August 2003, and information was retrieved on the use of the resource, the perception of local people about its quality, and other population and socio-economical variables. Samples were analyzed for their bacteriological

load, as well as their electrical conductivity, and the concentration of sodium, nitrate, sulfate, chloride, and fluoride. None of the selected wells contained potable water. 85% of the samples did not meet the bacteriological standards, whereas 46.4% were above the limit for nitrate content, and 39.3% surpass the fluoride limit. However, 75% of the interviewed people state that the water is of a good quality. That fact is to be interpreted as an obstacle for promoting measures to improve the quality of the water consumed and to propose mitigation actions. People education on topics related to water resources is of utmost importance when the time comes to promote actions aimed at minimizing the health risks linked to the consumption of water.

Keywords: water quality, perception, human consumption.

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del arroyo del Azul (en el centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina), las características físico-químicas del agua subterránea muestran alteraciones de origen claramente antrópico, principalmente en el sector urbano de la ciudad de Azul, resultando valores más elevados de sólidos disueltos, sodio, cloruro, nitrato y sulfato en la zona urbana que en la zona rural y en aguas del arroyo (Usunoff y Varni, 1995), encontrando valores superiores a los establecidos en el Código Alimentario Argentino para nitrato y fluoruro (Usunoff et al, 2003).

En las zonas urbanas, las principales fuentes de contaminación del acuífero son los vertidos de aguas residuales domésticas y los desechos sólidos urbanos, ya que presentan altos contenidos de contaminantes químicos y biológicos, tales como nitratos y otros compuestos químicos, y organismos patógenos bacteriales y virales (Teruggi, 1993).

Los nitratos pueden alcanzar el agua subterránea debido a la infiltración de aguas negras y residuales procedentes de pozos negros de precaria o inadecuada construcción, del lixiviado de residuos orgánicos dispuestos en basureros a cielo abierto, autorizados o espontáneos, y los efectos de lotes de intensa actividad ganadera (potreros destinados a la cría intensiva de animales) (Catoggio, 1993). En estas condiciones, el nitrógeno orgánico es liberado por medio de la descomposición y la mineralización biológicas, pudiendo ser lixiviado a través del suelo hasta alcanzar el acuífero.

El cloruro y el sodio también pueden considerarse agentes contaminantes del agua subterránea. Al igual que en el caso del nitrato, su presencia puede asociarse con el lixiviado de aguas servidas domiciliarias.

Si bien en áreas urbanas la infiltración de aguas servidas constituye la principal fuente de aporte de sustancias químicas al acuífero, el agua puede contener otros iones tales como el sulfato y el fluoruro, cuya presencia no está frecuentemente asociada a esta fuente de contaminación. Por el contrario, la presencia del primero puede relacionarse con una fuente puntual, como ser industrias que utilicen compuestos ricos en sulfatos, mientras que la del segundo esta vinculada a la composición mineralógica de los sedimentos que conforman el acuífero (Cabrera y Blarasin, 2001).

La normativa nacional (Código Alimentario Argentino, 2007) establece un límite máximo de 45 mg/L de nitrato en agua de bebida. Para el fluoruro, determina el límite permisible en dependencia con la temperatura media y máxima de la región. Para Azul, la temperatura media anual es de 14.5°C y la máxima media mensual es de 21.4°C (Nogar, 2005), por lo que se consideró un límite máximo de 1.5mg/L.

Además de los contaminantes químicos especificados en párrafos anteriores, el agua subterránea puede

contener otros de origen biológico, tales como bacterias, virus y protozoarios, que pueden poner en riesgo la salud de la población. Dichos organismos por lo general crecen en las vías intestinales y salen del cuerpo por las heces. La contaminación fecal de los suministros de agua puede ocurrir entonces, y si el agua no se trata de un modo adecuado, los patógenos entran a un nuevo huésped cuando este consume el agua, no solo en forma directa, sino también indirectamente a través de la preparación de alimentos. Debido a que se consume agua en grandes cantidades, puede ser infecciosa aun si contiene solo un pequeño número de organismos patógenos (Brock et al, 1987).

En este sentido la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1988) determina que el agua destinada al consumo humano no debe contener organismos patógenos y debe estar libre de bacterias indicadoras de contaminación fecal. El Código Alimentario Argentino (2007) establece que, en 100 ml de agua, el número más probable de bacterias coliformes debe ser igual o menor de 3 NMP, que no debe detectarse la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, y que el recuento directo en placa de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas totales no debe superar las 500 UFC/ml.

La calidad del agua de una determinada región o zona geográfica generalmente se evalúa a partir del muestreo de algunos pozos de extracción. Si bien esta metodología es útil para zonas de homogeneidad relativamente alta y de baja intensidad de ocupación, la validez areal de los resultados de una muestra de agua en un sector urbano es cuestionable, dado que si un elemento es reactivo y poco soluble, el efecto de una fuente puntual de alteración posee un alcance limitado en la distancia (Usunoff et al., 2003).

La presencia de pozos sépticos domiciliarios, activos o abandonados, su ubicación relativa con respecto a la dirección de flujo subterráneo y al pozo de extracción, las características de construcción de los pozos de extracción y sus condiciones de mantenimiento, son variables que inciden puntualmente en la calidad química y bacteriológica del agua de consumo (Usunoff et al, 2003). Para describir la calidad del agua en áreas reducidas con baja densidad de población resulta más conveniente realizar un muestreo exhaustivo de pozos (Usunoff y Varni, 1997).

Si bien un amplio sector de la ciudad de Azul cuenta con acceso a las redes de agua potable y cloacas, algunas áreas suburbanas carecen de dichos servicios, razón por la que sus habitantes se ven obligados a consumir agua proveniente de pozos domiciliarios someros, sin controles sobre su calidad. Este es el caso de los barrios San Martín de Porres y Villa Giammátolo (Figura 1), dos barrios periféricos de la ciudad de Azul, con una población de 150 personas en 35 viviendas.

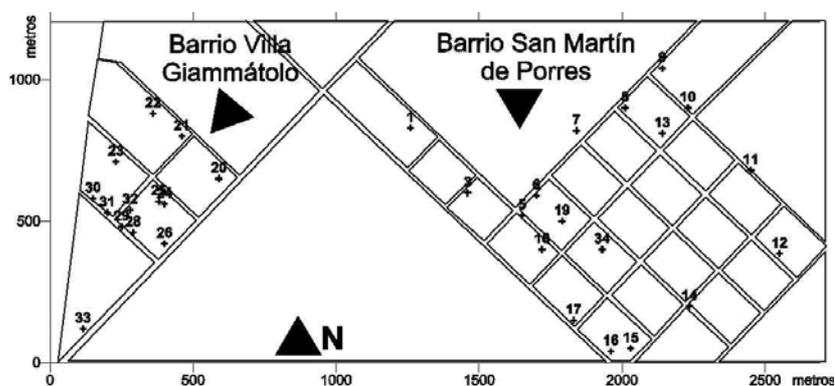


Figura 1. Zona de estudio e identificación de las viviendas en los Barrios Villa Giammátolo y San Martín de Porres (Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina).

Ambos barrios se sitúan en la zona norte de la ciudad, aguas debajo de la ciudad, siguiendo la dirección de flujo subterráneo regional. Al este del Barrio Villa Giammátolo se encuentra el hipódromo local, con una considerable población equina, y al noreste del mismo barrio, se asienta un basural a cielo abierto que constituye además de una fuente potencial de distintos vectores de enfermedades infecciosas y olores desagradables, una de las principales fuentes de ingresos de la población, ya que muchos de los habitantes de ambos barrios “viven” de la recolección de basura.

A pesar de no estar tan alejados de otros barrios de la ciudad, ambos carecen de los servicios propios de la urbanidad. No cuentan con servicios indispensables como agua potable, red cloacal, gas natural, teléfonos públicos, recolección de residuos, transporte público y mantenimiento y limpieza de calles. Tampoco están presentes las instituciones del estado como escuelas y centros de atención primaria de la salud. En un primer acercamiento pueden percibirse las precarias condiciones de vida de la población.

En el año 2000 un grupo de médicos residentes del Hospital Municipal Dr. Angel Pintos realizó un estudio sobre la incidencia de parasitosis en el barrio San Martín de Porres (Diario El Tiempo, 2000). El mismo reveló que un alto porcentaje de la población del barrio presentaba cuatro clases de parásitos, relacionados con la pobreza, el agua contaminada y los basurales. Entre ellos se destacó la presencia de giardias y ameba, parásitos generalmente asociados a la falta de agua potable y a una inadecuada alimentación.

Se estima que tanto los estamentos gestores del recurso como la población involucrada disponen de información limitada acerca de la problemática hídrica que sufre el barrio, por lo que su dimensionamiento es impreciso y las posibilidades de reducirlo o resolverlo se ven acotadas. Esto permite suponer la necesidad de profundizar el conocimiento del tema, haciendo hincapié en los procesos de transferencia de la información generada. La problemática del agua subterránea en el citado sector de la ciudad, como objeto de estudio del presente trabajo, se legitima entonces por la necesidad de generar información referida a las condiciones locales del recurso y acerca de su uso, y por la utilidad de transferir esa información como un aporte a la búsqueda de soluciones.

Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo son: (1) analizar la calidad química y bacteriológica del agua de consumo en los barrios Villa Giammátolo y San Martín de Porres de la ciudad de Azul, y (2) evaluar el grado de concientización de la población con respecto a la problemática del agua que consumen.

METODOLOGÍA

Se realizó un censo de viviendas en los dos barrios bajo estudio con el propósito de relevar información general referida tanto al uso del recurso como a la infraestructura de las viviendas, conformación de la población, nivel educativo, problemas sanitarios, percepción de los problemas hídricos, y la disposición geográfica de las bocas de extracción de agua.

Se llevaron a cabo cinco muestreos de agua procedente de los pozos de extracción de 28 de las 35 viviendas situadas en estos barrios. Los muestreos se realizaron entre los meses de mayo y agosto de 2003 (1/5; 10/5; 14/6; 21/7; 9/8). Se determinó “in situ” la conductividad eléctrica (conductivímetro Altronix CT2) y la temperatura (termómetro de mercurio). En las muestras recolectadas el 10/5, el 14/6 y el 9/8 se determinó la concentración de sodio (por espectrofotometría de absorción atómica), de nitrato, cloruro y fluoruro (por el empleo de electrodos selectivos) y de sulfato (por turbidimetría) (APHA-AWWA-WPCF, 1992). La calidad bacteriológica del agua se analizó con técnicas estándar (APHA-AWWA-WPCF, 1992; Código Alimentario Argentino, 2007) en las muestras colectadas el 21/7, en las instalaciones del Laboratorio

Bioquímico del Hospital Municipal “Dr. Angel Pintos” de Azul, con la colaboración de la Bioquímica Anastasia Schiaffino.

Se calculó la media, el desvío estándar, el valor máximo y mínimo y el coeficiente de variación para todas las observaciones de cada una de las variables químicas analizadas, para las observaciones de cada variable en cada pozo de extracción, y para todos los pozos de cada una de las fechas. Con los valores medios de cada variables química en cada pozo, se determinó la aptitud química y bacteriológica del agua para consumo humano de cada pozo de extracción (Código Alimentario Argentino 2007) y se realizaron mapas demostrativos de la distribución espacial aplicando el método de interpolación lineal.

Se estudió la normalidad de las variables químicas utilizando el test de Kolmogorov – Smirnov. En el caso de que las distribuciones no fueran normales, se probó la normalización eliminando los valores anormales en la distribución de la variable (excepcionalmente alejados), o ajustando a una distribución log – normal. La identificación de los pozos que presentan valores anómalos o excepcionales se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) entre pozos de extracción y de los contrastes de Tukey.

Para evaluar las relaciones entre distintas variables (químicas, bacteriológicas, de percepción de calidad y otras relacionadas al uso del agua), se utilizó el test de asociación o independencia de Chi-cuadrado. Para identificar la significancia de las categorías relevadas en la encuesta de percepción sobre la calidad de agua realizada a la población local, se aplicó test de Chi-cuadrado de bondad de ajuste, contrastando las frecuencias obtenidas con una condición homogénea.

RESULTADOS

Evaluación estadística de cada variable química analizada

La conductividad eléctrica presentó valores con distribución normal en cada una de las fechas de muestreo ($\alpha < 0.05$). El análisis espacial indica que los pozos son significativamente diferentes entre sí, y que el N°31 difiere del resto ($\alpha < 0.05$). Cabe destacar que el valor de conductividad de este pozo es el máximo en todas las fechas de muestreo.

La distribución de los valores de cloruro es normal sólo en el muestreo realizado el 10/5, por lo que se ajustó a una distribución de tipo log - normal para las tres fechas ($\alpha < 0.05$). La variación espacial resultó significativa, destacando las diferencias que presenta el pozo N°31 en relación con el resto ($\alpha < 0.05$). El valor de cloruro determinado en este pozo es el máximo en las distribuciones de los tres muestreos.

La distribución de nitrato en los tres muestreos es log - normal ($\alpha < 0.05$). Se observa una variabilidad espacial entre los pozos. El pozo N°31 difiere notablemente del resto ($\alpha < 0.05$), presentando el máximo valor en los tres muestreos.

La distribución de los valores de sulfato no es normal, ni pudo ser normalizada. Al igual que en las variables citadas anteriormente, el valor del pozo N°31 es máximo en los tres muestreos.

La distribución de los valores de iones sodio es normal en los tres muestreos ($\alpha < 0.05$). Al igual que las otras variables químicas, en los muestreos realizados el 10/5 y el 14/6, el máximo valor de la distribución corresponde al pozo N°31, mientras que en el muestreo realizado el 9/8 el máximo valor se observó en el pozo N°19. Pudo constatarse variabilidad espacial significativa entre los pozos de muestreo, siendo más significativa la diferencia entre el pozo N°31 y el resto ($\alpha < 0.05$).

En las tres fechas de muestreo la distribución de los valores de fluoruro resultó normal ($\alpha < 0.05$). Se observa una variabilidad espacial significativa entre los pozos ($\alpha < 0.05$). El pozo N°8 difiere significativamente del resto, siendo el máximo valor de las tres muestras.

Caracterización química y bacteriológica del agua de consumo de la población

Ninguno de los pozos analizados provee de agua potable, ya que no presentan las características químicas y/o bacteriológicas recomendadas por la normativa. El sistema hidroquímico subterráneo del área de estudio presenta una elevada concentración de nitrato y de fluoruro, con una media de 85 mg/L y 1.35 mg/L, respectivamente. Ambos valores resultan superiores a los niveles admisibles para consumo humano (Código Alimentario Argentino, 2007), aunque presentan una alta variabilidad espacial y temporal, principalmente el nitrato (Tabla 1). También se destaca la variabilidad de las concentraciones de sulfato y cloruro. Este último ion supera en una sola muestra los límites recomendados por la normativa (pozo N°31, muestra extraída el 14/6).

Considerando el valor medio de cada pozo, en el 46,4% de los casos el agua no es potable por sobrepasar el límite aceptable para nitrato, y el 39,3% exceden el límite permitido para fluoruro, siendo independiente la falta de aptitud para consumo por ambas variables (prueba de independencia, $p=0.934$). Desde el punto de vista químico, el agua no es potable en el 67.8% de los casos. Excepto la muestra mencionada que supera los límites recomendados para cloruro, el resto de las variables químicas determinadas se encuentran dentro de los rangos recomendados por el Código Alimentario Argentino (2007).

Tabla 1. *Parámetros estadísticos generales del sistema hidroquímico.*

	Conductividad eléctrica (mSiemens/cm)	Cloruro (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fluoruro (mg/L)	Sodio (mg/L)	Sulfato (mg/L)
Media	1273	104	85	1.35	155	31
Desvío estándar	374	76	119	0.61	44	32
Valor Mínimo	708	30	1	0.38	78	15
Valor Máximo	2513	385	818	3.72	298	159
Coefficiente de variación general	0.29	0.73	1.40	0.45	0.28	1.00
Coefficiente de variación temporal	0.13	0.11	0.48	0.33	0.12	0.42

Espacialmente, se observa que el pozo n° 31 presentan valores considerablemente mayores para la media de conductividad eléctrica y la concentración de todos los iones medidos, a excepción del fluoruro (Figura 2). Si bien el sector donde se ubica suele tener dosajes mayores en todas estas variables, este pozo parece ser un caso excepcional que se aleja considerablemente de la normalidad, en particular cuando la eliminación de la observación en ese pozo permite un mejor ajuste a una distribución normal.

Otros casos que presentan valores extraordinarios son el pozo N° 8 para la concentración de fluoruro, y el N° 12 para la de cloruro.

Con respecto a la calidad bacteriológica, el 85% de las muestras analizadas no reúnen las condiciones mínimas de potabilidad. Sobre un total de 27 muestras, en tres de ellas se detectó la presencia de *Pseudomonas*

aeruginosa, mientras que 18 superaron el límite tolerado para Coliformes totales, y 22 el de bacterias aerobias mesófilas heterótrofas totales (500 UFC/ml).

Caracterización de la problemática hídrica del lugar

El censo realizado a la población del sector de la ciudad bajo estudio permitió recabar información relacionada con aspectos vinculados a la problemática del agua de consumo domiciliario. Uno de los aspectos que se relevó es la percepción que tienen los pobladores acerca de la calidad del agua que consumen, habiendo diferencias significativas entre el 75% de las personas que manifestaron que la calidad es buena o aceptable, frente al 25% que respondieron que es de mala calidad (prueba de homogeneidad, $p=0,005$).

Lo paradójico de este resultado queda expresado en el hecho de que más del 66% de los consultados manifestó no haber realizado jamás un análisis que dé cuenta de la potabilidad del agua que consumen. La mayoría de este grupo (60%) también sostienen que el agua que consumen es de buena calidad (prueba de homogeneidad, $p=0,049$), por lo que puede considerarse que la población posee un preconcepto erróneo sobre la calidad del recurso que utilizan.

Coincidentemente con esa interpretación, los análisis realizados en el marco de este estudio permiten afirmar que la percepción de la calidad del agua resulta independiente de la calidad bacteriológica observada (prueba de independencia, $p=0,50$), y una asociación inversa con respecto a la calidad química (prueba de independencia, $p=0,008$).

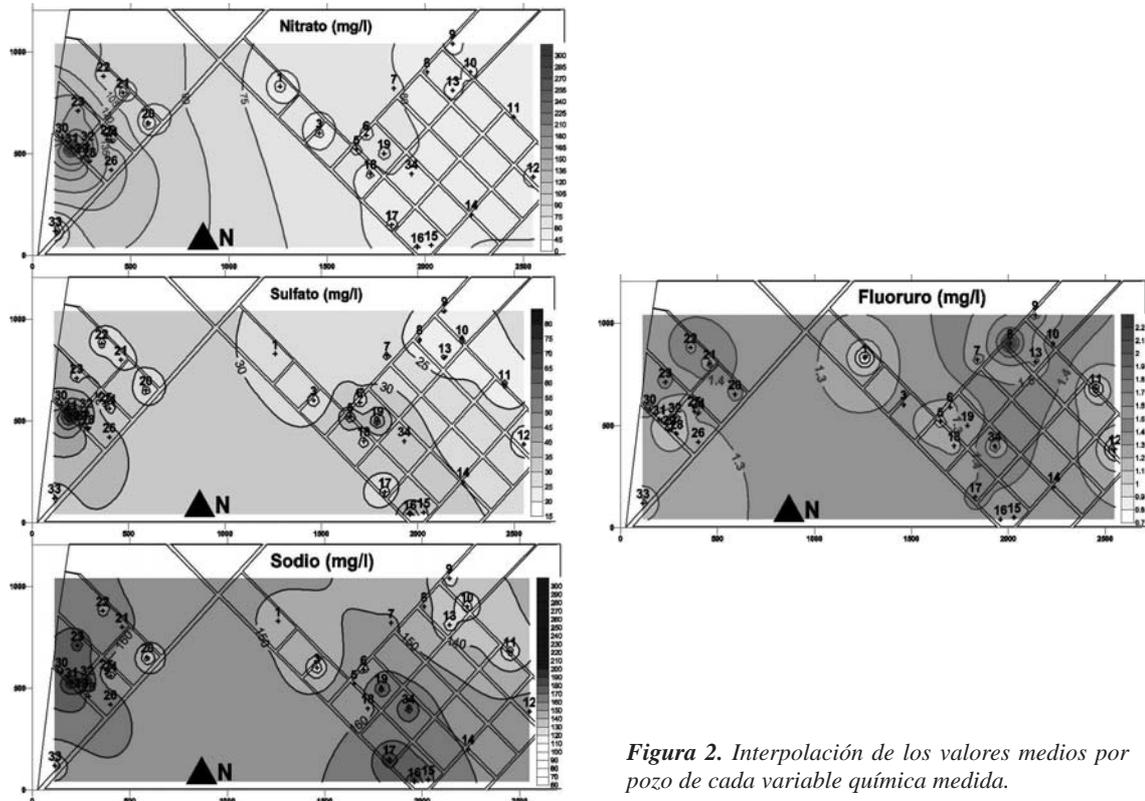


Figura 2. Interpolación de los valores medios por pozo de cada variable química medida.

Otro de los aspectos incorporados en el cuestionario se relacionó a los usos y modos de conservación del agua. A pesar de que los consultados dicen conocer los modos de tratar este recurso, en el 84,3% de las viviendas relevadas no se le realiza ningún tipo de tratamiento, independientemente de la percepción de la calidad del agua (prueba de independencia, $p=0.399$) y de la afectación por enfermedades de origen hídrico (prueba de independencia, $p=0,939$). En el caso de realizarse tratamientos sobre el agua a consumir (15% de la población), los mismos consisten en hervir (9%) o clorar el agua con lavandina (3%). Además se puso de manifiesto que el 40% de los encuestados conservan el agua en recipientes abiertos y el 43.7% la mantiene a temperatura ambiente, dos aspectos inconvenientes para la adecuada conservación del recurso

Respecto de la incidencia que la calidad del agua tiene sobre la salud, sólo el 19% de las personas respondió haber sufrido afecciones vinculadas con el consumo de agua, tales como diarreas y parasitosis; la mitad de ellos debió concurrir a instituciones de salud públicas. El aspecto sanitario resulta relevante al evidenciar una asociación entre la afectación por enfermedades de origen hídrico y la calidad percibida (prueba de independencia, $p<0,001$).

Por otro lado, la encuesta sirvió para recabar información relacionada con las condiciones de infraestructura sanitaria. El 72% de las viviendas obtienen el agua de pozo con bomba manual, y el 28% de perforación con bomba a motor. Además se relevó que 20 de las 32 viviendas censadas poseen conexión de agua por fuera de las mismas (63%), y solo 12 por dentro (37%). Con respecto a las características de los desagües de las viviendas, quedó expuesto que el 56,2% de las mismas vuelcan las aguas residuales a pozos ciegos y el 37,5% a pozos con cámara séptica.

Con relación a los aspectos socioeconómicos y culturales es de destacar que solo el 12,5% de los encuestados, con una edad promedio de 40 años, posee empleo fijo, mientras que el resto se encuentra desempleado o con empleos esporádicos, siendo las principales fuentes de ingreso los planes estatales de asistencia social y las changas. Por otro lado, pudo constatar que el 53% de la población adulta encuestada posee al menos el nivel primario completo, y un alto porcentaje (73%) de los 55 menores de edad que habitan en estos barrios se encontraban cursando la Educación General Básica.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las concentraciones de las variables químicas analizadas en el agua de consumo son más elevadas en las viviendas situadas en el Barrio Villa Giammátolo, excepto el fluoruro que presenta valores máximos en la zona norte del Barrio San Martín de Porres.

Aunque no existe en Azul registro de enfermedades asociadas a la ingesta de nitrato, las concentraciones medidas muestran que en 13 de las 28 viviendas de los barrios estudiados el agua no es potable por sobrepasar el límite recomendado por el Código Alimentario Argentino (2007), con concentraciones gradualmente más elevadas hacia la zona de Villa Giammátolo.

En los barrios mencionados, las elevadas concentraciones de nitrato en el agua pueden estar asociadas a fuentes puntuales de contaminación, como potreros destinados a la cría de animales, basurales a cielo abierto o pozos ciegos para el vertido de excretas. Si bien estas condiciones son frecuentes en el área de estudio, se destaca el alto contenido de nitrato y otros iones en el agua extraída del pozo N° 31 (Barrio Villa Giammátolo), atribuible a la precaria construcción del pozo de extracción de agua o del destinado al vertido de excretas, y a la cercanía de áreas donde se acopian residuos seleccionados.

La concentración de fluoruro resultó elevada en la zona norte del Barrio San Martín de Porres. En 11 de las 28 viviendas visitadas, el agua no es potable por superar el límite de fluoruro recomendado en el Código Alimentario Argentino (2007). No se han recabado datos que permitan determinar afecciones a la salud vinculadas a la ingesta de agua con exceso de fluoruro. Los tenores de fluor en el agua de consumo están vinculados principalmente a la composición mineralógica de los sedimentos que conforman el acuífero. La disolución e hidrólisis de carbonatos liberan al medio iones calcio, que son intercambiados por iones sodio adsorbidos en las arcillas, iones bicarbonato que se acumulan en solución y oxihidrilos que son intercambiados por fluoruro (Cabrera y Blarasin, 2001).

Se realizaron mapas de la distribución espacial de los valores de las variables químicas analizadas mediante el método de interpolación lineal. Se considera que los mismos son demostrativos de la variabilidad espacial de las características químicas del agua de consumo y no del acuífero del lugar. Una zona urbanizada, con una gran densidad de pozos de extracción y de disposición de residuos domésticos (pozos negros), representa un salpicado de fuentes puntuales de contaminación, cuya incidencia en la calidad del agua subterránea es de difícil modelación. Por ende, la extrapolación de la calidad de un pozo de extracción a otros pozos vecinos, no es en esencia, aplicable (Usunoff y Varni, 1997).

Solo 4 de las 23 viviendas visitadas poseen agua bacteriológicamente apta para consumo humano. Si bien los organismos indicadores de calidad de agua no siempre son patógenos, su presencia permite suponer una mayor probabilidad de existencia de otros microorganismos que pueden ser causantes de enfermedad. Solo el 19% de los entrevistados manifestó haber sufrido afecciones a la salud vinculadas al consumo de agua, tales como diarreas y parasitosis.

El 75% de los entrevistados consideran que el agua que consumen es de buena o aceptable calidad, aunque la mayor parte de ellos no cuenta con análisis químicos y bacteriológicos que sustente esa apreciación. Este preconceito que la población posee acerca de la calidad del agua con la que se abastecen, puede ser considerado un obstáculo al momento de promover la aplicación de tratamientos destinados a potabilizar el agua antes de su utilización.

Los resultados obtenidos plantean la necesidad de desarrollar medidas que mejoren la calidad del agua para consumo en el área estudiada. En el caso de la calidad microbiológica, estas medidas deberán estar dirigidas a promover la aplicación de algún tipo de tratamiento al agua antes de su consumo; y a mejorar las condiciones de abastecimiento y almacenamiento. Sin embargo, no se conocen medidas sencillas para reducir en los domicilios el exceso de nitrato y fluoruro.

La educación de la población en temas vinculados a la problemática hídrica cobra importancia al momento de promover en los habitantes acciones tendientes a minimizar el riesgo sanitario asociado con el consumo de agua de baja calidad. La población podrá asumir una actitud responsable frente al uso del recurso en la medida en que posea información referida a las ventajas de consumir agua de buena calidad y los peligros del consumo de agua de mala calidad, los distintos tratamientos que pueden realizarse antes del consumo y las formas de manipular adecuadamente el agua.

Si bien la calidad del agua de consumo de las aproximadamente 150 personas que habitan en este sector de la ciudad podría garantizarse mediante la extensión de las redes de servicios sanitarios, el alto costo económico sumado a la reducida capacidad de pago de los vecinos ha vuelto inviable, hasta el momento, la concreción de las obras.

El riesgo sanitario al que se encuentran expuestos los habitantes de los barrios bajo estudio, no solamente

está asociado al consumo de agua de mala calidad como consecuencia de la precariedad de los sistemas de abastecimiento de agua y de disposición de excretas, sino también a la situación de pobreza en la que está sumida la población. En este sentido, desde el estado se deberían implementar políticas de inclusión social, que aseguren a la población el acceso a los bienes y servicios básicos.

Las ventajas de generar una propuesta educativa sobre agua y salud, construida a partir de esa información generada localmente, otorgaría al contenido una mayor significación y fomentaría la adopción de una actitud responsable frente al uso del recurso.

REFERENCIAS

- APHA-AWWA-WPCF, (1992).** Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Días de Santos, Madrid.
- BROCK, T.D., SMITH, D.W., Y MADIGAN, M.T., (1987).** Microbiología. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. México. 906 págs.
- CABRERA, A. Y BLARASIN, M., (2001).** Geoquímica de flúor y arsénico en el agua subterránea del sur de Córdoba, Argentina. Las caras del agua subterránea (Medina y Carrera, eds). IGME. Temas Aguas Subterráneas. 17-25.
- CATOGGIO, J.A., (1993).** Medio Ambiente: Contaminación de aguas. II Coloquio Argentino sobre optimización de aguas para la ingestión humana. Sociedad Impresora Americana. Pág. 119-129.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, (2007).** Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Consultado en http://www.anmat.gov.ar/codigoo/Capitulo_XII_Agua_2007-05.pdf. Actualizado en junio de 2007.
- DIARIO EL TIEMPO, (2000).** Medio Ambiente: los resultados de los análisis en San Martín de Porres. Artículo publicado en el periódico de la ciudad de Azul el martes 24 de octubre de 2000.
- NOGAR, L., (2005).** Efecto de las medidas hidráulicas estructurales en las diferentes improntas de inundaciones en la ciudad de Azul. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA.
- OPS, (1988).** Guías para la Calidad del agua potable. Volumen 3. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Washington, DC, EUA. Publicación Científica N° 508.
- TERUGGI, O., (1993).** Aguas subterráneas. Recursos hídricos subterráneos. Estado de situación. Pautas de explotación y preservación. II Coloquio Argentino sobre optimización de aguas para la ingestión humana. Sociedad Impresora Americana. Pág. 37-44.
- USUNOFF E., GONZÁLEZ CASTELAIN J. Y ARIAS D., (2003).** Variación de la Calidad del acuífero del Azul (Provincia de Buenos Aires, Argentina) por efectos locales. I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, Rosario. Pág. 423-431.
- USUNOFF, E. Y VARNI, M., (1995).** Nitrate-polluted Groundwater at Azul, Argentina: characterization and management issues. *Journal of Environmental Hydrology* 3 (2).
- USUNOFF, E. Y VARNI, M., (1997).** Estructuras de variación espacial a partir de datos hidroquímicos en la cuenca del arroyo del Azul. Actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología. 227-232.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POZOS DE PROVISIÓN A LA LOCALIDAD DE CATRILÓ, LA PAMPA.

Dalmaso, María G.¹, Mariño, Eduardo E.¹ y Tullio, Jorge O.^{2,3}

¹ *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Av. Uruguay 151, (6300) Santa Rosa, La Pampa. E-mail: gdalmaso@exactas.unlpam.edu.ar*

² *Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de La Pampa*

³ *Administración Provincial del Agua de La Pampa*

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad del agua para consumo humano del acuífero libre que se explota para el abastecimiento urbano de la localidad de Catriló y determinar el impacto de probables fuentes de contaminación de origen antrópico. Se realizó una recopilación de la información disponible en la Administración Provincial del Agua de La Pampa, con referencia a registros freaticométricos y análisis de agua de los pozos de explotación utilizados para la red de suministro de agua. A partir de 1997, se advierte un desmejoramiento paulatino en la calidad del recurso, teniendo en cuenta las concentraciones registradas al momento de su puesta en funcionamiento (1993-1995), particularmente en aquellos pozos situados dentro del radio urbano. Desde el punto de vista físico-químico, se observa un sostenido aumento en los valores de nitrato, que en algunos casos han duplicado sus valores iniciales y superaron los permisibles para consumo humano. Se detectaron dos eventos de incremento que coinciden con un período de lluvias más abundantes, que superaron ampliamente la media registrada en la región, con el consecuente ascenso de los niveles freáticos. Esta situación hidrológica habría dado lugar a una contaminación de origen urbano, favoreciendo la incorporación de filtrados desde las fosas sépticas domiciliarias, dado que la población no cuenta con un sistema de recolección, tratamiento y disposición final de dichos efluentes.

Palabras claves: Contaminación, aguas subterráneas, nitrato, La Pampa.

ABSTRACT

Present paper was focused to assess water quality of the unconfined aquifer which is exploited for human consumption of Catriló town and to establish the impact of potential contamination sources. Records of water-table deep and chemical analyses of groundwater were compiled. Since 1997, a gradual deterioration of water quality is advertised. Nitrate shows a notable increase, reaching to duplicate the values corresponding to the period 1993-1995, when boreholes were drilled, and to exceed the guide value for human consumptions. Two incremental events were registered, especially in three exploitation wells located at the urban area. The increases agree whit pluviometric records above the annual men value that cause an elevation of groundwater level. This hydrologic situation should to allow that the leachate of domestic septic tanks reaches the unconfined aquifer.

Keywords: groundwater contamination, nitrate, La Pampa.

INTRODUCCIÓN

El valor de las aguas subterráneas como fuente de suministro de agua potable ha influido en el aumento de interés para la detección y control de su contaminación. Generalmente se carece de un diagnóstico precoz del deterioro, debido a las heterogeneidades inherentes al sistema subsuperficial que son difíciles de detectar y por lo común sólo se conoce la contaminación cuando afecta a los abastecimientos de agua, frecuentemente cuando ya es demasiado tarde. La actividad humana produce gran cantidad de desechos de origen urbano, industrial y agrícola que introducen una alteración en el medio natural y crean un cierto grado de deterioro ambiental que abarca desde los aspectos estéticos a los tóxicos, con incidencia en los acuíferos que se encuentran bajo las zonas donde se eliminan. En ese marco adquieren especial relevancia las tareas dedicadas a conocer el impacto de fuentes puntuales potencialmente contaminantes tales como vertederos de basuras, lagunas de líquidos cloacales, cámaras sépticas y pozos negros, aguas residuales industriales y estaciones de expendio de combustible, entre otras.

La localidad de Catrilo, distante a 80 km de Santa Rosa, está ubicada en el noreste de la provincia de La Pampa (Figura 1), constituye la cabecera del Departamento homónimo y actualmente tiene una población de aproximadamente 3580 habitantes.

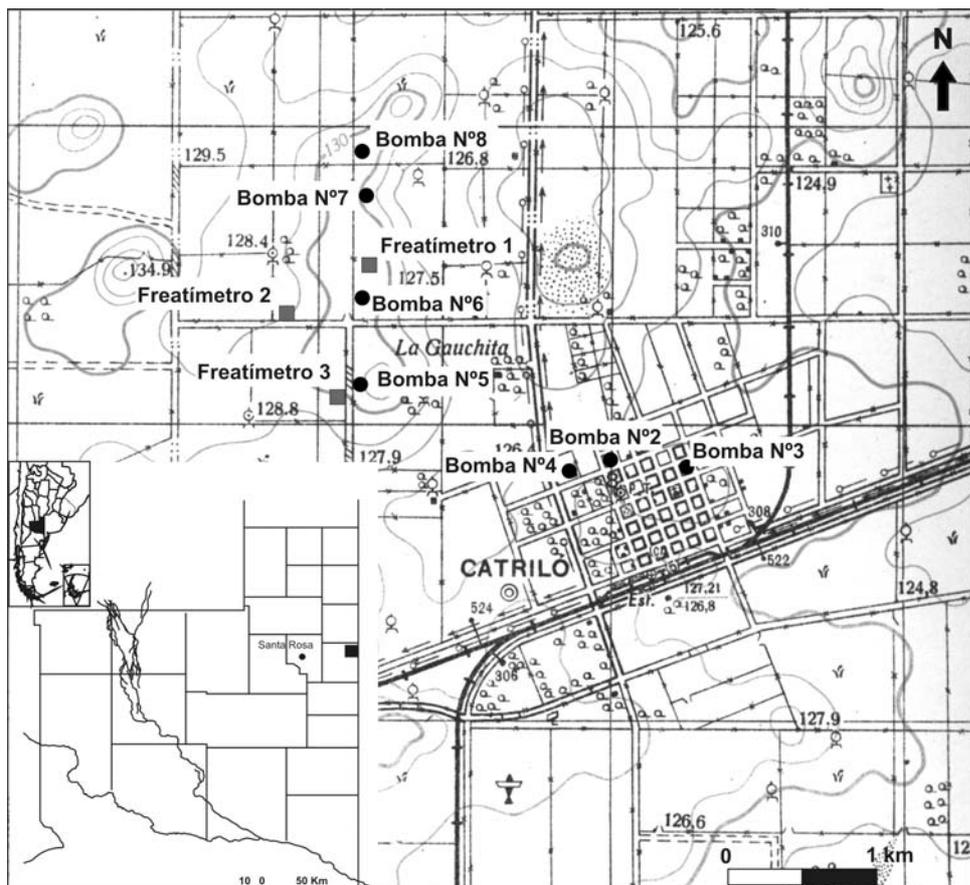


Figura 1. Mapa del área de estudio.
Se muestra la ubicación de los pozos de explotación y de los freáticos analizados.

La localidad cuenta con servicio de agua potable pero no de un sistema de saneamiento cloacal, por lo que los pobladores vierten sus aguas residuales en fosas sépticas o “pozos negros”. La red de agua potable en la localidad de Catriló consiste en dispositivos de extracción, conducción y distribución construido por el estado provincial y controlado por el Municipio, quien se encarga de su funcionamiento y mantenimiento. En la actualidad el suministro de agua potable se realiza por medio de 7 pozos de explotación de 20 a 25 m de profundidad, de los cuales 3 se encuentran dentro del radio urbano, con un caudal unitario regulado de 10 m³/h (Miglianelli, 1990), y los restantes al NO de la localidad que extraen un caudal de 7 m³/h (Castro y Miglianelli, 1993). El sistema de bombeo establecido es de 12 hs/día para cada pozo, aunque en épocas estivales se regula de acuerdo a la demanda de la población, con el consecuente sobrebombeo de las mismas.

En la localidad de Catriló, al igual que en la mayor parte de la provincia de La Pampa, el agua subterránea constituye la única fuente de abastecimiento de agua potable, esto implica que depende exclusivamente de este recurso, que constituye un elemento esencial para la vida y el desarrollo socioeconómico de la región. La localidad ha registrado un notable crecimiento demográfico y una incipiente industrialización. Como consecuencia de ello, el aumento en la generación de efluentes domiciliarios significa un serio riesgo para la calidad química y bacteriológica de los recursos hídricos subterráneos, por lo que se hace impostergable la adopción de medidas de protección y mitigación contra la contaminación del recurso.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad del agua subterránea para consumo humano del acuífero libre que se explota para el abastecimiento urbano de la localidad de Catriló y determinar el impacto de probables fuentes de contaminación existentes. Se pretende suministrar las bases para la elaboración de alternativas de gestión y monitoreo por parte de los organismos pertinentes para un mejor tratamiento de estos problemas.

ANTECEDENTES

La localidad y el área circundante han sido objeto de estudios, reconocimientos hidrogeológicos y perforaciones, por parte de distintos organismos nacionales y provinciales.

Los aspectos geológicos y geomorfológicos de la región están expuestos en los trabajos de Calmels y Tullio (1980), Cano *et al.* (1980) y Calmels (1996). Los aspectos climatológicos, edafológicos, flora y vegetación son expuestos por Cano *et al.* (1980).

Los estudios hidrogeológicos e hidroquímicos del área conforman la parte más importante de la bibliografía. Se pueden mencionar, entre otros, los trabajos de De Ormaechea (1973), Malán (1983), Tullio (1986), Miglianelli (1987), Castro y Gai (1988), Miglianelli (1990), Castro y Miglianelli (1993), Malán (1993), Gai y Gatto Cáceres (1996) y Opezzo (1996).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Caracterización climática

La localidad de Catriló está comprendida en la denominada “Región Hídrica Subhúmeda Seca” con una precipitación media anual, para el período 1930-2006, de 712,9 mm. La temperatura media anual oscila entre 22,7 °C y 8,9 °C (Cano *et al.*, 1980). La precipitación es la variable meteorológica de mayor importancia, puesto que constituye el único aporte local de agua al acuífero. Además es uno de los principales factores limitantes del comportamiento de la vegetación e indirectamente del suelo, uso del mismo y actividades socioeconómicas.

Caracterización edafológica

Desde el punto de vista edafológico (Cano et al., 1980), el área de estudio está ubicada dentro de la Unidad Cartográfica denominada “Planicie medanosa ondulada”. Los suelos se han clasificado como Haplustoles énticos y Ustipsamment típico. Son suelos con poca evolución genética que tienen como material parental a arenas con textura franca-arenosa fina de depositación reciente y que poseen buen drenaje. Las limitaciones de estos suelos son las que derivan de la textura del material parental y el clima, tales como la baja capacidad de retención de la humedad, sequías estacionales y erosión eólica atribuida al laboreo y pastoreo excesivos. La vegetación principal es la cultivada y está asociada con vegetación natural representada por comunidades halófitas en la zona de las lagunas y sammófilas en las áreas medanosas no cultivadas (Cano et al., 1980).

Caracterización geomorfológica

Las características geomorfológicas de la zona permiten incluirla en la “Subregión de las Planicies Medanosas” (Cano et al., 1980), o en la “Llanura Pampeana de Modelado Eólico Superimpuesto” (Calmels, 1996), cuyas geoformas responden a la acción de un proceso eólico, de acumulación y deflación, que depositó y modeló una cubierta arenosa de espesor variable.

Caracterización geológica

De acuerdo a los antecedentes regionales existentes basados en perforaciones efectuadas (aproximadamente hasta 265 m.b.b.p.), en el subsuelo de la zona, entre los 235 - 265 metros de profundidad se tendría areniscas cuarzosas, similares a las descritas para el subsuelo del noroeste de la provincia de Buenos Aires, consideradas triásicas (Giai y Gatto Cáceres, 1996). La secuencia se continuaría con alrededor de 100 metros de arcillas verdes y castañas, arenas gruesas y medianas con arcillas grises intercaladas, atribuibles al Mioceno a las cuales suprayacen aproximadamente 137 metros de arenas finas a limosas consolidadas por material calcáreo cementante, con presencia de intercalaciones limo-arcillosas y de capas y nódulos de tosca, que se atribuyen a la Formación Cerro Azul (Linares et al., 1980). Finalmente en superficie, se encuentra una capa arenosa reciente, de potencia variable, desde unos decímetros en las depresiones, hasta 10 metros en los cordones medanosos, constituida por arenas gruesas a medianas, en parte sabulíticas, en la base y arenas más finas con abundante vidrio volcánico hacia la parte superior de la secuencia, según cutting de las perforaciones de Malán (1993).

Caracterización hidrogeológica e hidroquímica

El carácter hidráulico de la secuencia descripta es el siguiente: las areniscas triásicas contienen acuíferos altamente salinos (Giai y Gatto Cáceres, 1996); las arcillitas miocenas son acuícludas a acuitardas en ciertos tramos; las areniscas limosas son acuíferas a acuitardas y por último, las arenas eólicas superiores son fuertemente acuíferas y favorecen la recarga local (Malán, 1983), cuyo valor medio anual estimado es de 60 mm/año (Miglianelli, 1990).

Desde el punto de vista hidrogeológico resultan más relevantes los dos niveles superiores, por ser portadores del acuífero estudiado. Ambas secciones conforman, cuando están saturadas, un acuífero multiunitario, ya que entre ellas no hay niveles menos permeables, que hidráulicamente se comporta como libre con drenaje diferido.

Los parámetros hidráulicos del acuífero fueron determinados por ensayos de recuperación en pozos de bombeo. Para el primer tramo del acuífero ensayado (hasta 18 metros de profundidad), la transmisividad osciló entre 90 y 204 m²/día, en tanto que para una profundidad de 26 metros el valor medio alcanzaría a 250 m²/día. La permeabilidad promedio es de 6 m/día y el coeficiente de almacenamiento de $1,55 \times 10^{-2}$. La morfología de la superficie freática es suavemente ondulada con gradientes hidráulicos medios de 1×10^{-3} y el nivel freático se ubica a escasa profundidad, oscilando entre 0,90 y 4,50 m.

El agua subterránea de mejor calidad se encuentra al noroeste de la localidad que corresponde al área de recarga del acuífero. En las áreas de descarga, principalmente hacia el suroeste de la localidad, se produce un incremento de la salinidad y también se nota un pequeño aumento en la dureza. Las aguas se caracterizan hidroquímicamente como bicarbonatadas cálcicas. Verticalmente, hasta aproximadamente los 25 metros de profundidad, los valores de fluoruro son adecuados para el consumo humano, pero por debajo de esta profundidad las concentraciones aumentan, sucediendo lo mismo con los tenores de arsénico y salinidad (Miglianelli, 1990).

INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se analizó la información básica (cartográfica, meteorológica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica) del área de estudio y la bibliografía referida a la contaminación de los recursos hídricos, temática planteada en este trabajo.

Se realizó una recopilación de la información disponible en la Administración Provincial del Agua de La Pampa, con referencia a registros freaticométricos y análisis de agua de los siete pozos (bombas N° 2 a 8) que actualmente conforman la batería de abastecimiento de la localidad, ya que uno de ellos (bomba N° 1) quedó fuera de servicio por problemas en la calidad del agua que suministraba.

Las mediciones periódicas, entre octubre de 1995 y marzo de 2006, de la profundidad del nivel freático corresponden a 3 puntos de control ubicados en las inmediaciones de la localidad (Figura 1).

Los análisis físico-químicos fueron realizados por el Laboratorio de la Administración Provincial del Agua e incluyen la determinación de los iones principales, compuestos del nitrógeno, fluoruro y arsénico por técnicas analíticas estandarizadas. Los datos se seleccionaron para confrontar la situación inicial (cuando el pozo entró en operación) con los controles correspondientes al año 2006. Tal comparación se ve dificultada porque la información no proviene de una red de monitoreo diseñada al efecto, sino de un conjunto de pozos en producción continua, y además las muestras han sido extraídas en diferentes épocas del año.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

La tabla 1 evidencia la evolución de los pozos con respecto a su calidad físico-química. Se consideraron los valores de residuo seco, nitrato y nitrito por ser parámetros que pueden tomarse como indicadores de contaminación.

Bomba N°	Año	Residuo Seco	Nitrato	Nitrito
2	1993	1456	39	0,0
	2005	2036	80	0,3
3	1993	485	19	0,0
	2006	1977	110	0,67
4	1993	845	8	0,0
	2006	1164	58	1,89
5	1994	538	1,5	0,0
	2005	536	33,4	0,0
6	1995	265	8,0	0,0
	2006	375	25,1	0,0
7	1995	559	15,0	0,0
	2006	587	10,7	----
8	1995	495	18,0	0,0
	2006	614	39,3	0,0

Tabla 1. Evolución de algunas variables físico-químicas en los pozos de abastecimiento de Catriló. Los valores están en mg/l y aparecen resaltados cuando exceden los valores máximos permitidos por la legislación provincial.

La figura 2 muestra la evolución de las concentraciones de nitrato en las 3 bombas más afectadas. El gráfico muestra dos eventos de incremento de las concentraciones de nitrato, registrados durante el intervalo de control considerado. El primer incremento se detecta entre noviembre de 1997 y julio de 1998 mientras que el segundo se manifiesta entre agosto de 1999 y noviembre de 2000.

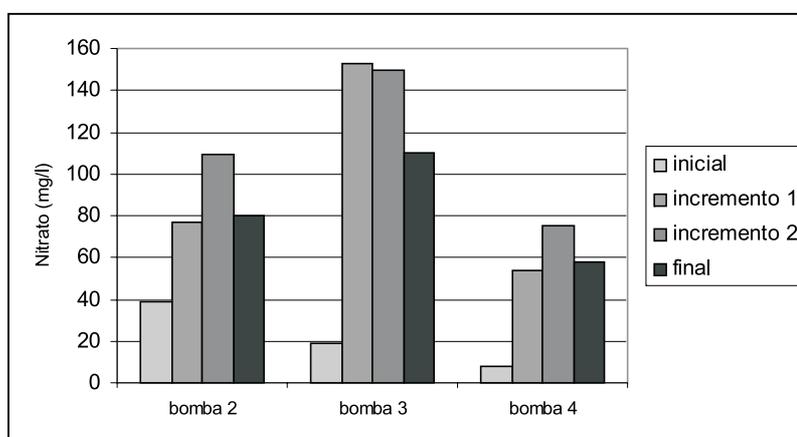


Figura 2. Evolución temporal de la concentración de nitrato.

Si comparamos los eventos de aumento de las concentraciones de nitrato con las precipitaciones de la localidad (Figura 3), se observa que estos episodios se corresponden con una serie de años más lluviosos, con precipitaciones superiores a 800 mm. A su vez, los registros freaticos (Figura 4) muestran que la profundidad del nivel freático oscila entre 0,94 y 4,28 metros, con una tendencia ascendente hasta el 2001.

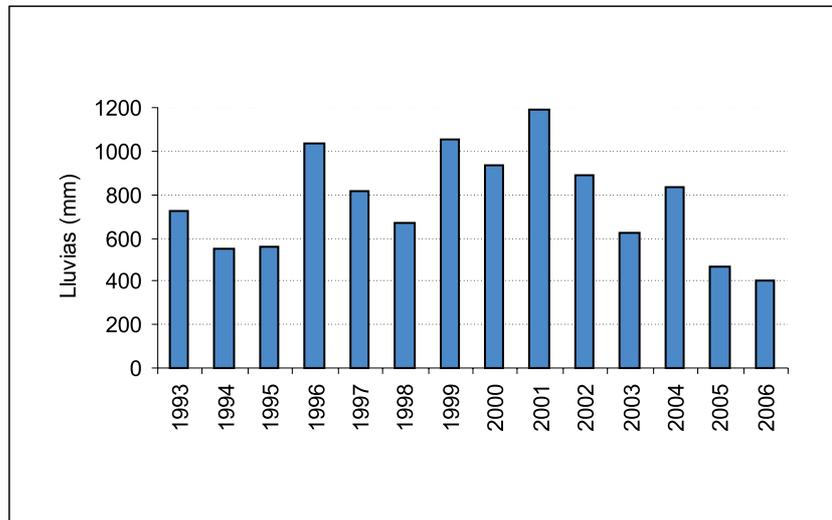


Figura 3. Precipitaciones anuales de la localidad de Catriló (1993-2006).

Si esa información se vincula con la profundidad habitual de los pozos ciegos de la localidad (alrededor de 4 metros, según información verbal de vecinos), puede estimarse que el fondo de los mismos podría penetrar o estar próximo al acuífero freático en la zona urbana. Esta relación sería más probable en aquellos períodos con precipitaciones superiores al promedio (712,90 mm).

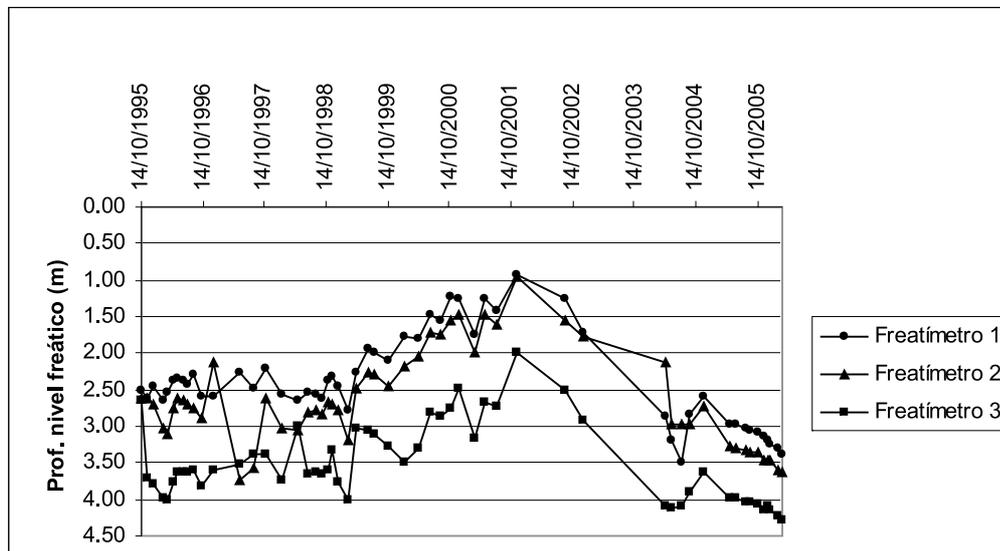


Figura 4. Fluctuación de la profundidad del nivel freático (1995-2005).

En relación a las bombas N°5 a N°8 que se encuentran en la zona rural, al noroeste de la localidad, si bien presentan en la actualidad bajos niveles de nitrato, éstos han registrado un considerable aumento con respecto a las concentraciones que presentaban al momento de su puesta en funcionamiento. Esa tendencia debería

ser motivo de un estudio particular, ya que podría asociarse con la actividad agrícola intensiva que se desarrolla en la zona con el consecuente agregado de fertilizantes nitrogenados a los suelos.

Además debería considerarse para la totalidad de la batería, el impacto cualitativo de una eventual sobreexplotación, ya que en la figura 5 se observa un incremento gradual del residuo seco, a partir de 1999. Esta tendencia, que lleva a superar el límite de potabilidad (2000 mg/l) en las bombas N° 2 y 3, se visualiza también en el resto de los pozos pero de manera atenuada.

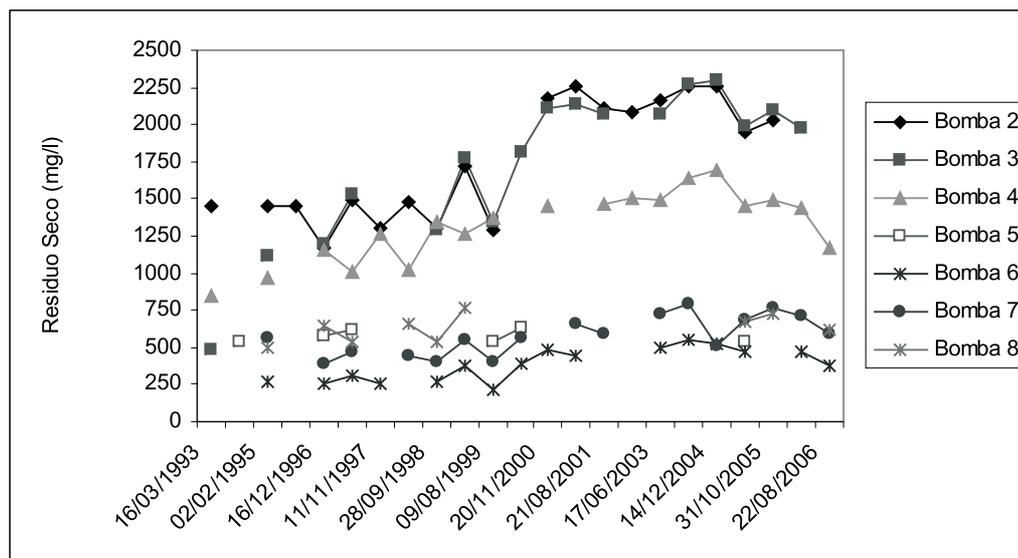


Figura 5. Evolución temporal del residuo seco (1993-2006).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La calidad físico-química de los pozos de abastecimiento de agua potable de la localidad de Catrilo, evidencian un notable deterioro en cuanto a su aptitud para consumo humano, desde su puesta en funcionamiento al presente, debido principalmente a un incremento en la concentración de nitrato. Los pozos más perjudicados son los ubicados dentro del casco urbano de la localidad, que a su vez son los más antiguos.

Se detectan dos eventos de incremento que coinciden con un período de lluvias más abundantes, que superaron ampliamente la media registrada en la región, con el consecuente ascenso de los niveles freáticos. Esta situación habría dado lugar a una contaminación de origen urbano, favoreciendo la incorporación de filtrados desde las fosas sépticas domiciliarias, dado que la población no cuenta con un sistema de recolección, tratamiento y disposición final de los efluentes domiciliarios.

Las recomendaciones que surgen de esta investigación son:

* Retirar preventivamente del sistema de aprovisionamiento de agua potable aquellos pozos en los que se han detectado valores de nitrato superiores a 45 mg/l e implementar un programa de control hidroquímico de los mismos, antes de adoptar una decisión final, como sería su relocalización.

* Implementar un sistema de saneamiento urbano y establecer una red de monitoreo de la calidad de agua en el sector del casco urbano, donde existen numerosas perforaciones domiciliarias.

* Ajuste y control del régimen de explotación de la batería.

* Contemplar perímetros de protección de los pozos de explotación de agua potable como así también establecer las herramientas legales necesarias para instalar áreas de reservas en aquellos sectores con condiciones acuíferas apropiadas de uso actual y/o futuro para abastecimiento de la población.

AGRADECIMIENTOS

La Administración Provincial del Agua de La Pampa suministró la información necesaria para realizar este trabajo.

REFERENCIAS

- CALMELS, A. P., (1996).** Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa. Universidad Nacional de La Pampa, 110 p, Santa Rosa.
- CALMELS, A. P. Y J. TULLIO, (1980).** Documentos para el estudio geológico de la provincia de La Pampa. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales y Fac. de Ciencias Humanas. Santa Rosa. 185 p.
- CANO, E., CASAGRANDE, G., CONTI, H. A., FERNANDEZ, B., HEVIA, R., LEA PLAZA, J. C., MALDONADO PINEDO, D., MARTINEZ, H. M., MONTES, M. A. Y PEÑA ZUBIATE, C. A., (1980).** Inventario Integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa-Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. INTA-Gobierno de La Pampa- UNLPam, 493 p, Santa Rosa.
- CASTRO, E. Y S.B. GIAI, (1988).** Catriló, perforaciones de exploración N°8 y N°9. MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 3 p., Informe inédito.
- CASTRO, E. Y C. MIGLIANELLI, (1993).** Informe sobre la construcción de los pozos N°5 a N°8 de la localidad de Catriló. MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 4 p., Informe inédito.
- DE ORMAECHEA, J., (1973).** Estudio de fuentes Catriló. M.O.P.-D.G.S.A.P.S.A. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 1 p., Informe inédito.
- GIAI, S. Y GATTO CÁCERES, R., (1996).** Ajuste de un modelo para registros freáticos mensuales en General Pico-La Pampa. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Actas 2, 221-227, La Plata.
- LINARES, E., LLAMBÍAS, E. J. Y LATORRE, C. O., (1980).** Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV, 87-146.
- MALÁN, J. M., (1983).** Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua potable a la localidad de General Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa. Informe Preliminar. Actas del Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras, vol. III, 1449-1457, Olavarría.
- MALÁN, J.M., (1993).** Informe sobre la construcción de los pozos N°2, N°3 bis y N°4. MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 2 p., Informe inédito.
- MIGLIANELLI, C., (1987).** Informe sobre el replanteo de fuentes de abastecimiento a la localidad de Catriló. MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 15 p., Informe inédito.
- MIGLIANELLI, C.M., (1990).** Situación de la perforación N°2 de explotación de la localidad de Catriló.

MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 4 p., Informe inédito.

OPPEZZO, C., (1996). Estudios y proyectos del acueducto del río Colorado. Primera etapa. Estudios preliminares. Comisión Técnica Acueducto Río Colorado, Tomos I y II, 777 p.

TULLIO, J.O., (1986). Replanteo de fuentes de abastecimiento a las localidades de Catrilo, Uriburu, General Campos, Ataliva Roca, Quehué, Colonia Santa María, Unanue, Abramo, Miguel Riglos, Santa Teresa y Anchorena. MOP. Administración Provincial del Agua, La Pampa, 30 p., Informe inédito.

CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL EN EL ÁREA DE QUEMÚ-QUEMÚ, LA PAMPA, CON ÉNFASIS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

Carlos J. Schulz ^{1,2} y María Irrbarre ¹

¹Universidad Nacional de La Pampa.

² Secretaría de Recursos Hídricos de la Pampa.

Uruguay 153, 6300 Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Tel +54-2954-425166 E-mail: cjschulz@cpenet.com.ar

RESUMEN

El presente trabajo, forma parte de una tesis de grado y tiene como objetivo principal obtener una Caracterización Geoambiental del territorio urbano y periurbano de la localidad de Quemú-Quemú. Esta localidad, ubicada en el noreste de la Provincia de La Pampa, constituye la cabecera del departamento que lleva su nombre. La zona de estudio abarca una superficie de 216 km²

Para la provisión de agua potable a la localidad, se utiliza un acuífero ubicado en las inmediaciones del pueblo y constituye en la actualidad el único recurso de abastecimiento de agua potable.

La contaminación de los acuíferos constituye una preocupación ambiental creciente en los distintos sitios de nuestro planeta, sobre todo al profundizar en el estudio y valoración de los recursos hídricos subterráneos.

En La Pampa, este problema se ha agudizado en los últimos años con el incremento en las actividades agrícolas ganaderas, por la falta de sistemas de saneamiento y fundamentalmente en los últimos 3 años con el ascenso de los niveles freáticos, hasta en algunos casos alcanzar el nivel de superficie.

Esta investigación intenta aportar, al conocimiento que ya se tiene de la zona en estudio, un nuevo elemento que resulta de poner juntos conocimientos separados que ya existen tales como el crecimiento de la ciudad, el uso de la tierra, la utilización del acuífero como recurso de agua potable, etc. con el objeto de planificar su utilización y mitigar posibles impactos de contaminación sobre el mismo.

Si bien los análisis químicos de muestras de agua subterráneas realizadas en Quemú-Quemú muestran un sensible aumento en el contenido de nitratos, y en menor medida nitritos no se puede hablar todavía de contaminación regional en las aguas subterráneas; también merece destacar la existencia de puntos con elevado contenido de nitratos (400mg/l), distribuidos y asociados a las actividades puntuales.

Palabras claves: La Pampa, Contaminación, Nitratos.

ABSTRACT

The present work comprises of a degree thesis and must like primary target obtain a Geo-ambient Characterization of the urban and surrounding territory of the locality of Quemú-Quemú. This locality,

located in the northeast of the Province of La Pampa, constitutes the head of the department that takes its name. The zone of study includes a surface of 216 km². For the provision of potable water to the locality, a water-bearing one located in the environs of the town is used and constitutes at the present time the only resource of potable water supply. The contamination of the water-bearing ones constitutes an increasing environmental preoccupation in the different sites from our planet, mainly when deepening in the study and valuation of the underground water resources.

In La Pampa, this problem has, in the last years, become serious with the increase in the cattle agricultural activities, by the lack of cleaning systems and fundamentally in the last 3 years with the ascent of the depth levels, until in some cases of reaching the surface level. This investigation tries to contribute, to the knowledge that is known about the zone in study, a new element that turns out to put together knowledge separated that exist such as the growth of the city, the Earth use, the use of the water-bearing one like potable water resource, etc. with the intention of planning their use and mitigating possible impacts of contamination on he himself. Although the chemical analyses of underground water samples made in Quemú-Quemú show a sensible increase in the nitrate content, and to a lesser extent nitrites cannot still be spoken of regional contamination in underground waters; also it deserves to emphasize the existence of points with elevated nitrate content (400mg/l), distributed and associated to the precise activities.

keywords: La Pampa, contamination, nitrate.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los problemas ambientales que sufre una ciudad con respecto al consumo de los recursos naturales, se encuentra el suministro de agua potable. En general la contaminación de las aguas subterráneas carece de un diagnóstico precoz, debido a las heterogeneidades inherentes al sistema subsuperficial que son difíciles de detectar y por lo común sólo se conoce la contaminación cuando afecta a los abastecimientos de agua, frecuentemente cuando ya es demasiado tarde. A menudo no se tiene en cuenta que los procesos que conducen a la degradación de la calidad y a la contaminación de los sistemas acuíferos, están retardados y escondidos, y son a largo plazo.

La localidad de Quemú Quemú (Fig. 1) está ubicada en el noreste de la provincia de La Pampa; desde el punto de vista geomorfológico el área de estudio corresponde a la llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto, donde el acuífero freático está alojado en una secuencia sedimentaria constituida por una capa arenosa superficial de origen eólico, de espesor variable entre 3 y 15 metros, y en los sedimentos limo-arenosos con cementación calcárea de la Formación Cerro Azul, que se encuentra por debajo. Desde el punto de vista climatológico, la zona en estudio está comprendida en la denominada "Región Hídrica Subhúmeda Seca" (Cano et al, 1980), el clima es templado con una temperatura media anual de 15°C, la precipitación media anual es 737,95 mm y los vientos predominantes son del N-NE y S-SO.

Cabe señalar que la localidad en estudio, al igual que en el resto de la provincia, el agua subterránea constituye una fuente importante en el abastecimiento de agua potable, esto implica que constituye un elemento esencial para la vida y el desarrollo de la región. En vista de la importancia de estos abastecimientos de agua puede justificarse la protección de acuífero para prevenir el deterioro de la calidad y cantidad de agua subterránea, fundamentalmente porque la población carece de sistema de saneamiento (Schulz, 1997)

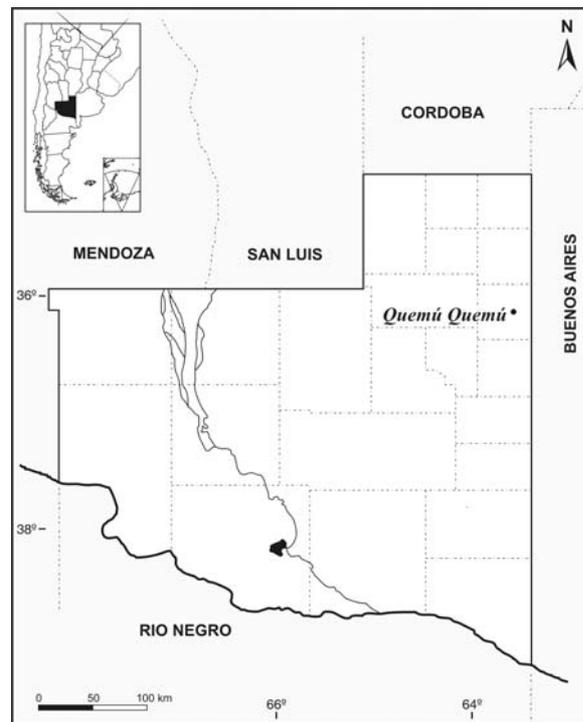


Figura 1. Mapa de ubicación.

Dado que no existe información suficiente sobre la calidad ambiental de los recursos hídricos en algunas localidades de la provincia de La Pampa, se consideró interesante confeccionar el presente trabajo tendiente a obtener una caracterización geológico-ambiental del territorio urbano y periurbano de Quemú Quemú, según los grados de riesgo a la contaminación del acuífero libre, que provee de agua a la misma, teniendo en cuenta la presencia de nitrato como factor condicionante de la calidad del recurso. El estudio estuvo orientado al análisis del área en el cual se ubica el acuífero que abastece a la localidad, ubicado en el sector Noroeste próximos al pueblo y por otro lado el área urbana propiamente dicha teniendo en cuenta en este último caso exclusivamente lo relacionado con el contenido de nitratos detectados en los pozos domiciliarios.

En el año 2002 a partir de la problemática planteada por distintos vecinos de la localidad preocupados por la posible contaminación en el agua extraída de los pozos domiciliarios, en general de poca profundidad (tramo superior del acuífero freático), decidieron efectuar un relevamiento en 23 puntos del casco urbano para determinar el grado y origen de la contaminación (UNESCO, 2002). Posteriormente en julio del 2006 se practicó un nuevo muestreo que incluyó los 23 anteriores y se agregaron 8 pozos más tendientes a ampliar su conocimiento y especialmente sobre la evolución de los nitratos durante ese periodo de tiempo.

En función de las muestras analizadas en el año 2002 y 2006 se evidencia que el estado de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemú Quemú es poco satisfactorio. En vista a los resultados químicos, un 67,7 % de los pozos domiciliarios muestreados poseen contenidos de nitratos que superan los niveles máximos permitidos para el consumo de agua potable, lo que indicaría una sensible modificación de origen antrópico en el medio natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tareas de gabinete.

a) Se recopiló y analizó la información básica (cartográfica, meteorológica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica).

b) Se confeccionó un mapa base y se diseñó una red de muestreo.

Tareas de campo

De un relevamiento expeditivo del entorno de la localidad y de la información obtenida en el lugar se seleccionó un área de estudio con una superficie de 10,5 km² (Fig 2).

En sucesivas campañas se procedió a la recolección de muestras. En primer término se colectaron en la zona urbana y en otra campaña, se muestreo la batería de pozos de la COSYPRO que abastece a la localidad. Una vez obtenidas las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, sin burbuja de aire y resguardadas de la luz hasta su llegada al laboratorio.

A) Zona urbana

En el año 2002 a partir de la problemática planteada por distintos vecinos de la población de Quemú Quemú, preocupados por la posible contaminación en el agua extraída de los pozos domiciliarios en general de poca profundidad (tramo superior del acuífero freático) decidieron efectuar un relevamiento en 23 puntos del casco urbano para determinar el grado y origen de la contaminación. Una vez obtenidas las muestras se determinó:

- a) Concentración de nitrato y nitrito.
- b) Conductividad eléctrica

Posteriormente en julio del 2006 se practicó un nuevo muestreo que incluyó los 23 pozos anteriores y se agregaron 8 pozos tendientes a ampliar su conocimiento en especial la evolución de los nitratos durante el período (2002-2006). Dichas muestras fueron tomadas por alumnas del Instituto Amadeo Jacques de Quemú Quemú (UNESCO, 2002; Schulz, 1999).

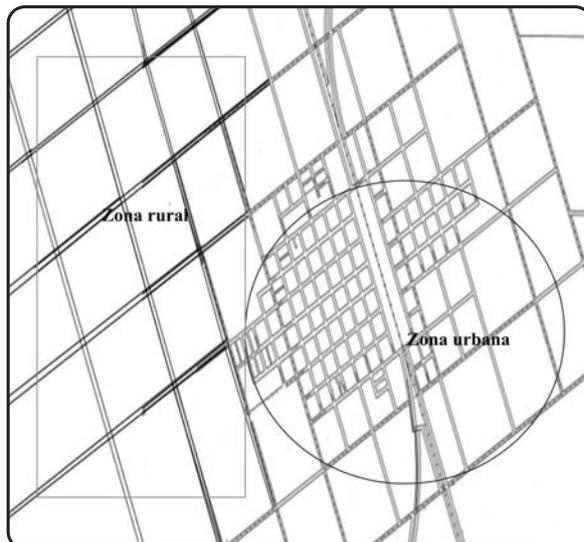


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio.

B) Zona rural

Para verificar el comportamiento de los nitratos en la zona no saturada y el techo del acuífero se realizó en noviembre de 2004, un muestreo de la parte superior de la zona saturada en tres pozos (QQF1, QQF2 Y QQF3) barrenados manualmente, ubicados en las proximidades de los piezómetros N° 1, 2 y 3 de la red que opera COSYPRO.

En cada uno de estos pozos se obtuvieron muestras de sedimento de la zona no saturada, a intervalos de 1 m y muestras de agua de la parte superior del acuífero. Las muestras de sedimentos se colocaron en bolsas de nailon y las de agua en bidones, luego se rotularon con sus correspondientes nombres para evitar confusión y poder ser analizadas en el laboratorio.

La profundidad de los pozos barrenados oscila aproximadamente entre 1 y 3 metros, el de mayor profundidad corresponde al pozo que se encuentra junto al piezómetro N°3, denominado QQF3, del cual se obtuvieron tres muestras de la zona no saturada y una muestra de agua en la zona saturada a los 3,25 m de profundidad. El barreno realizado contiguo al piezómetro N° 2, recibió el nombre de QQF2 y se obtuvieron dos muestras de sedimentos y una muestra de agua que se extrajo a la profundidad de 2,65 metros. El otro pozo barrenado conocido como QQF1 fue realizado a unos 200 metros al noreste del piezómetro N° 1 del cual no se consiguió muestra de la zona no saturada, debido a que el nivel freático se encontró a 1,05 de profundidad por hallarse dicho piezómetro en una depresión.

RESULTADOS**En la zona urbana.**

En la tabla N 1 se presentan los resultados de las Concentraciones de nitratos y nitritos de los pozos domiciliarios muestreados en el casco urbano de Quemú Quemú en los años 2002 y 2006.

Comparando los resultados de los análisis realizados en el año 2002 con los correspondientes al 2006, podemos decir que:

- De las primeras 23 muestras, 12 pozos han aumentado su concentración de nitratos (Por ej. Los pozos 3, 4, 6) es decir un 52 % y el resto han disminuido (Por ej. Pozos 1, 2).
- De las 31 muestras efectuadas en el año 2006, 21 superan los 45 mg/l (límite establecido por la ley N°1027), lo que representa un 67,7%. De los 8 pozos que se agregaron, 5 superan el valor máximo tolerable para consumo humano.
- En cuanto a los valores de nitritos, si consideramos las primeras 23 muestras, 12 han aumentado su concentración (52%) por ejemplo los pozos 1, 4, 6; y el resto han disminuido, como es el caso de los pozos 2, 5, 9 y 10.
- De los 31 pozos muestreados en el año 2006, 16 están por encima de 0,10 mg/l, lo que equivale a un 51%. De los 8 pozos que se agregaron 5 superan el valor máximo establecido para consumo de agua potable.

De todo lo expuesto anteriormente se puede decir que el estado de las aguas subterráneas del casco urbano de Quemú Quemú, respecto de la presencia de nitritos y nitratos, es poco satisfactorio dado que la concentración de estos es superior a las máximas permitidas por el Código Alimentario Argentino (982/94) y la Ley número 1.027 con su decreto reglamentario N° 943 de la Provincia de La Pampa del año 1981.

Tabla 1. Concentraciones de nitratos y nitritos de los pozos de bombeadores muestreados en el casco urbano de Quemú Quemú correspondiente a noviembre de 2002 y julio de 2006.

N° MUESTRA	Nitratos	Nitritos	N° MUESTRA	Nitratos	Nitritos
2002	(ppm)	(ppm)	2006	(ppm)	(ppm)
1	81,40	0,019	1	27,60	0,207
2	64,50	0,076	2	46,00	0,033
3	11,50	0,037	3	13,70	0,023
4	101	1,61	4	192,80	3,79
5	77,20	4,0	5	32	0,021
6	18,60	0,159	6	71	3,785
7	12,6	0,017	7	50,80	0,789
8	97,90	0,020	8	48,10	0,010
9	35,50	0,506	9	13,80	0,019
10	68	2,00	10	98,60	0,033
11	14,30	0,020	11	71,60	0,054
12	132	0,049	12	132	0,049
13	11,20	0,136	13	112,60	0,718
14	46,10	0,211	14	143,60	1,47
15	85,50	0,363	15	141,60	0,527
16	64	0,022	16	14,90	0,116
17	92,5	0,800	17	82	0,735
18	69	1,625	18	47,50	0,568
19	95	0,033	19	66,80	0,042
20	13,90	0,015	20	23,70	0,012
21	44,80	0,092	21	78,30	0,271
22	58,00	0,023	22	18	0,012
23	3,80	0,018	23	27,90	0,012
			24	219,80	0,116
			25	21	0,026
			26	151,40	0,038
			27	193,60	0,133
			28	40,30	2,375
			29	16,60	0,0135
			30	85,70	0,9825
			31	57,30	0,822

Valores en negrita y cursiva: exceden los valores máximos permitidos por la legislación vigente.

Cabe aclarar que los altos contenidos de nitratos comprobados en los 31 pozos domiciliarios (de muy poca profundidad), corresponden a muestras tomadas de la parte superior del acuífero. Siendo éstos muy vulnerables a la contaminación si los comparamos con los pozos de explotación cuyas profundidades son mayores, es decir que el espesor de la zona no saturada es mayor en la zona rural que en el casco urbano y permite que el contaminante tenga más tiempo de contacto con el medio, sometiéndolo a los procesos de

atenuación por un lapso de tiempo más prolongado; no olvidemos que tanto el espesor como el tipo de material de la zona no saturada son dos factores muy importantes a la hora de tener en cuenta el tiempo que, demora el contaminante en recorrer el camino desde la superficie del suelo hasta llegar al acuífero.

A través de registros piezométricos (Fig. 3) de pozos ubicados en las inmediaciones del pueblo se advierten profundidades mínimas y máximas entre 1,5-6 metros con un claro descenso en el período 2002-2005 en el orden de los 2 metros para los tres registros. Con respecto a los pozos ciegos de la localidad (cuya profundidad estaría alrededor de los 4 metros según información verbal de vecinos) y tomando como referencia la cercanía a los freáticos considerados se estima que el fondo de los mismos podrían penetrar o estar próximos al acuífero freático en la zona urbana. Esta relación sería más estrecha, en aquellos periodos de precipitaciones que superan la media. Con respecto al comportamiento de los niveles piezométricos en el periodo 2002-2005 se advierte un importante descenso a partir del 2002 que se mantiene con cierto grado de estabilización hasta el 2005.

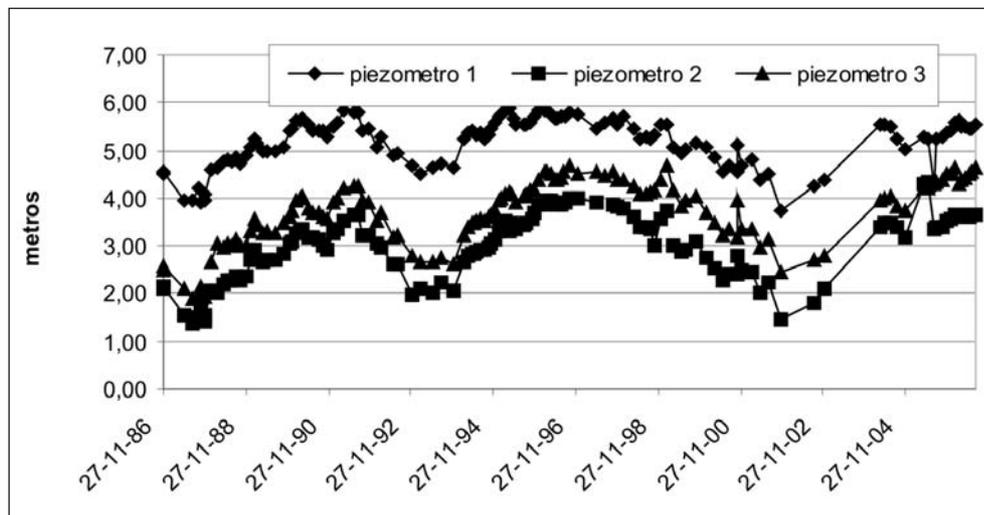


Figura 3. Evolución piezométrica correspondiente al periodo 1986-2005.

En la zona rural.

Como ya se expresó, se tomaron muestras del material de la zona no saturada en dos puntos (QQF2 y QQF3) dentro del área de recarga del acuífero, a fin de calcular la concentración de nitrato a distintas profundidades. En el pozo QQF1, donde el nivel freático se ubica a escasa profundidad de la superficie, no se pudo obtener muestras representativas del contenido de nitrato en la zona no saturada. Con los resultados de los análisis se elaboró un perfil (Figura 4) de concentraciones en la zona no saturada, para los sitios antes mencionados.

El perfil del pozo QQF3 muestra que la concentración de nitratos aumenta desde 14,30 mg/l en el primer metro de profundidad hasta 29,50 mg/l, a 2 metros b.b.p. Esto se debe a que la magnitud del flujo descendente disminuye al atravesar la zona de raíces debido a la evapotranspiración y en consecuencia se produce un aumento en la concentración de los nitratos. Pero a los tres metros de profundidad, el contenido de nitrato disminuye hasta 16,80 mg/l.

En la parte superior de la zona saturada se registra un descenso en la concentración de nitratos. La

ausencia de registros históricos es un elemento desfavorable a la hora de buscar una interpretación para este hecho, ya que se recomienda un muestreo de al menos dos o tres años (Custodio, 1993; Edmunds y Gaye, 1994).

En el pozo QQF2 se observa que las concentraciones de nitratos en el primer metro del perfil alcanzan a 16,40 mg/l, continúan aumentando hasta los 2 metros de profundidad (31 mg/l) y a partir de allí disminuye a 3,9 mg/l en la parte superior del acuífero.

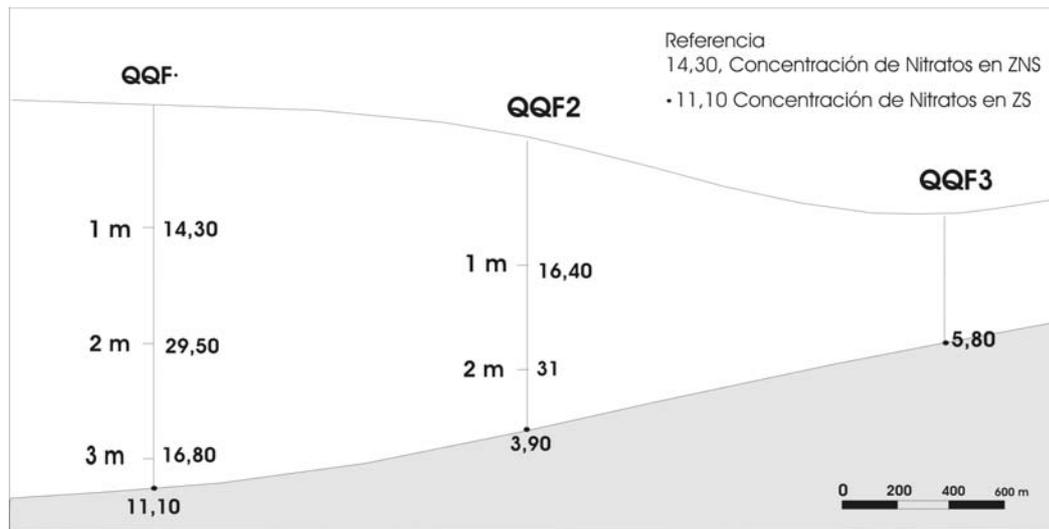


Figura 4. Variación vertical de nitratos en los sitios de muestreo.

Como conclusión podemos ver que los valores obtenidos de los piezómetros 1, 2 y 3 se encuentran muy por debajo de los valores guías para consumo humano, caso contrario es lo que sucede en la zona urbana en donde la mayoría de los pozos domiciliarios las concentraciones de nitratos superan los 45 mg/l.

TIEMPO DE TRÁNSITO DE LOS CONTAMINANTES EN LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA

Se calculó el tiempo de tránsito en la zona no saturada que resultó de 4,4 años y en la tabla 2 se observa los tiempos de tránsito en la zona saturada obtenidos para distintas distancias en la sección arenosa:

DISTANCIA (en metros)	100	500	1000
TIEMPO (años)	1,2	6,00	12,00

Tabla 2. Tiempo de tránsito del contaminante en la zona saturada

De los resultados obtenidos de la tabla 2 podemos decir que, de un potencial evento de contaminación en el 2002 se habría distribuido algo menos de 500 m hasta el presente y que el tiempo transcurrido es suficiente incluso si tenemos en cuenta que el vertido superficial haya alcanzado el nivel freático que se encuentra en los 3,20 metros de profundidad.

CONCLUSIÓN

En función de lo expuesto anteriormente, el medio físico puede darle cierto grado de protección a los acuíferos, ya que oficia de purificador del agua contaminada cuando ésta percola a través de la zona no saturada y cuando viaja a través del acuífero. El grado de atenuación que el ambiente físico puede efectuar determina el potencial relativo con que el acuífero se contamina.

Como resultado de esta investigación se pudo demostrar que en el caso de la zona urbana existen factores altamente contaminantes como son los efluentes domiciliarios sumados a niveles freáticos someros que determinan un efecto contaminante significativo y de progresivo incremento en la mayoría de los pozos muestreados.

En vista a los análisis químicos de muestras de agua subterránea realizados en el casco urbano de Quemu Quemu en el año 2002 y comparando los obtenidos en el año 2006, sí se puede apreciar un incremento en la concentración de nitratos y nitritos lo que indica una sensible modificación de origen antrópico en el medio natural; cabe destacar que el 52% de los pozos domiciliarios muestreados en el 2002 y el 67,7% de los pozos analizados en el año 2006 poseen contenidos de nitratos que supera los niveles máximos permitidos por la ley.

Adicionalmente, al analizar la evolución de la calidad del agua de las perforaciones que abastecen de agua potable a la población de Quemu Quemu no se identificó ningún aumento significativo en las concentraciones de nitratos, como así tampoco en los demás elementos químicos responsables de la potabilidad del agua. Esto se ve corroborado por los valores bajos detectados en los piezómetros que se encuentran fuera del casco urbano.

Al analizar las posibles causas del aumento de nitratos en el agua subterránea se llegó a la conclusión que la contaminación del acuífero es debida al aporte antrópico de compuestos orgánicos al suelo, los que mediante los procesos de infiltración, producen contaminación. Esta investigación sostiene que este aporte de materia orgánica al agua se debe a la infiltración de los desechos domiciliarios dispuestos en pozos ciegos y posterior contacto y dilución con el agua del acuífero circundante.

Si bien en los últimos años las precipitaciones han disminuido y la concentración de nitratos ha aumentado, este trabajo sostiene que el incremento estaría dado por un mayor consumo de agua potable por parte de la población, lo que generaría una mayor carga en los pozos ciegos.

RECOMENDACIONES

La contaminación con nitratos de los pozos domiciliarios de Quemu Quemu es un problema que requiere una rápida intervención, la cual implica altos costos económicos y un período de tiempo. Pero mientras más tiempo se tarde en la toma de decisiones al respecto, más difícil y costosa resultará la solución. Las recomendaciones que surgen de esta investigación son:

- Establecer una red de monitoreo de la calidad de agua en el sector del casco urbano.
- Implementar un sistema de saneamiento y redes de desagües.
- Restringir el uso de pozos domiciliarios para consumo de agua potable.
- Realizar tareas educativas y de difusión del problema hacia la comunidad.
- Contemplar perímetros de protección de pozos de explotación de agua potable como así también establecer las herramientas legales necesarias para instalar áreas de reservas en aquellos sectores con condiciones acuíferas apropiadas de uso actual y/o futuro para abastecimiento de la población. Estas acciones y normativas servirán como elemento a considerar a los efectos de regular el crecimiento poblacional dentro de un marco general de ordenamiento territorial.

REFERENCIAS

- CANO, E. G., CASAGRANDE, H. A., CONTI, B., FERNANDEZ, R., HEVIA, J. C., LEA PLAZA, D., MALDONADO PINEDO, H., MARTINEZ, M. A., MONTES Y PEÑA ZUBIATE, C. A., (1980).** Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa-Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. INTA-Gobierno de La Pampa- UNLPam. Santa Rosa. 493 p.
- CUSTODIO, E., (1993).** Apuntes del curso de Hidroquímica, Aspectos Aplicados. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona.
- EDMUNDS, E. Y GAYE, C., (1994).** Estimating the spatial variability of groundwater recharge in the Sahel using chloride. *J Hydrol*, 156: 47-59.
- SCHULZ, C. J., (1997).** Plan de optimización del servicio de agua potable. 1 parte: Evaluación de Recurso. Informe interno COSYPRO. Quemú Quemú (Inédito).
- SCHULZ, C. J., (1999).** Apuntes de Hidrología Ambiental. Universidad de La Pampa. Facultad De Ciencias Exactas y Naturales. Primera Edición: 1999.
- UNESCO, (2000).** Guía sobre educación básica para la protección de aguas subterráneas. En <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/agua2002/principal/inicio.htm>

VARIACIÓN AREAL Y TEMPORAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN EL SECTOR NORORIENTAL DE LA COSTA BONAERENSE

Carretero, Silvina; Kruse, Eduardo

*Cátedra de Hidrología General, calle 64 n° 3. La Plata. Buenos Aires. Teléfono (0221)4249049.
scarretero@fcnym.unlp.edu.ar*

RESUMEN

El agua subterránea de baja salinidad en el sector Nororiental de la costa bonaerense tiene un desarrollo limitado y está restringido a la franja de dunas costeras. El uso del suelo asociado a un fuerte crecimiento poblacional ha originado modificaciones en los volúmenes y la distribución de las áreas de recarga de la única fuente natural de agua potable. El caso de estudio es la zona de San Clemente del Tuyu, donde se plantea la utilización de indicadores para identificar y cuantificar las variaciones en el ciclo hidrológico. Se efectuaron relevamientos hidrogeológicos que se asociaron con la interpretación cartográfica de fotografías aéreas e imágenes satelitales de distintas épocas. Se definieron áreas con distintos grados de ocupación territorial, lo cual se integró a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para valorar las variaciones en los balances hídricos, especialmente en los volúmenes infiltrados. El análisis se completó con el estudio de la evolución poblacional y el consumo de agua. La evolución areal y temporal de las variaciones reconocidas en el comportamiento hidrológico muestran una progresiva degradación de las reservas de agua explotables y a su vez permiten plantear posibles tendencias frente al esperable crecimiento socioeconómico. Se concluye que resulta imprescindible revertir la degradación observada en las aguas subterráneas mediante una gestión sustentable de los recursos hídricos, que posibilite el abastecimiento de agua y la protección de los recursos naturales.

Palabras claves: indicadores, agua subterránea, ciclo hidrológico.

ABSTRACT

The low salinity groundwater in the Northeastern of Buenos Aires coast has a limited development and it is restricted to a coastal dunes fringe. Land use associated to a strong growth in population has originated modifications in volumes and distribution of the recharge areas of the only natural source of drinking water. The study area is San Clemente del Tuyú where it is proposed the use of indicators to identify and to quantify the variations in the hydrologic cycle. Hydrogeological survey was made in association with the cartographic interpretation of aerial photography and satellite images of different periods. Areas with different grades of territorial occupation were defined, and it was integrated to a Geographic Information System (GIS) to value variations in the water balance, especially in the infiltrated volumes. The analysis was completed with the evolution study of the population and the consumption of water. The spatio-temporal evolution of the variations recognized in the hydrological behavior show a progressive degradation of the exploitable reserves of water

and they allow to propose possible tendencies in the expected socioeconomic growth. In conclusion, it is indispensable to revert the degradation observed in the groundwaters by a sustainable management of the water resources that facilitates the supply of water and the protection of the natural resources.

Keywords: indicators, groundwater, hydrologic cycle.

INTRODUCCIÓN

En el sector nororiental de la costa bonaerense el abastecimiento de agua potable se encuentra restringido al agua dulce subterránea, la cual constituye un elemento primordial para la sustentabilidad de las poblaciones allí asentadas.

En esta región, la actividad antrópica ha generado modificaciones a nivel de ocupación territorial y ha producido cambios en el medio que a través del tiempo han influido en la dinámica hidrológica, afectando los excesos e infiltración, y consecuentemente la recarga del agua subterránea. Ello se vincula a la existencia de sectores con diferentes grados de urbanización, que incluyen áreas densamente pobladas y asfaltadas, zonas con espacios verdes, forestadas y calles de arena compactada junto a escasa urbanización, y otras compuestas por médanos con escasa vegetación (Carretero et al, 2007).

Para caracterizar la situación actual del recurso y definir futuras pautas de manejo, resulta conveniente analizar los procesos en su desarrollo natural, incorporando a la actividad humana como factor que influye sobre el mismo. Este análisis, en tiempo y espacio, se puede realizar en forma conceptual por medio de indicadores que permitan facilitar la comprensión, comunicación y la toma de decisiones para la planificación.

Los indicadores aplicados al agua subterránea están basados en monitoreo y programas de evaluación, siendo algunos de los propuestos por la bibliografía la cantidad de agua disponible por habitante, la relación recarga – extracción, la vulnerabilidad, la calidad del agua subterránea, y la relación entre usos y tratamientos requeridos (Vrba y Lipponen, 2007) (Webb et al, 2006)

El objetivo de este trabajo es reconocer la variación en los usos del suelo y las consecuentes modificaciones en las posibilidades de recarga del agua subterránea. Estos elementos constituyen una base para definir los indicadores que permitan cuantificar la influencia de la actividad del hombre en las reservas de agua, en cuanto a su evolución, en el estado actual y las tendencias frente al esperable crecimiento socioeconómico de la región.

UBICACIÓN Y CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

El área de estudio se localiza en San Clemente del Tuyú, Provincia de Buenos Aires, y se encuentra ubicada en la punta norte del Cabo de San Antonio, extendiéndose hacia el sur por la franja costera con un ancho de 2 km. (Figura 1)

Según la clasificación climática de Thornthwaite, la zona es del tipo B1B'2 r a', donde B1, húmedo; B'2, mesotermal (templado); r, nula a pequeños déficit de agua, y a, concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48 %. (Consejo Federal de Inversiones, 1990b)

En el contexto geológico regional, la zona de estudio se ubica en el flanco sur de la provincia geológica Cuenca del Salado, cuya evolución en la región costera durante el Pleistoceno-Holoceno estuvo vinculada a

las oscilaciones glacioeustáticas. La alternancia de períodos glaciales e interglaciales produjo las regresiones-transgresiones que modelaron el sustrato por erosión y superpuso nuevos sedimentos litorales.

El ambiente estudiado, corresponde desde un punto de vista hidrogeológico a la Región Costera (González, 2005), en el cual la geomorfología ejerce un control fundamental sobre el comportamiento hidrodinámico. San Clemente del Tuyú se encuentra emplazada dentro de los ambientes denominados cordón costero y llanura continental o llanura deprimida.

El cordón costero se extiende sin interrupciones desde Punta Rasa hacia el sur con un ancho de 2 a 4 km. Se divide en playa y médano. La zona de playa es rectilínea, tiene entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves hacia el este. Son del tipo costas en construcción, sin barrancas, con playa arenosa. Los médanos que se encuentran emplazados al oeste de la playa que les da origen, en la zona de estudio, son bajos y fijados por escasa vegetación. Su granulometría es de arenas finas y presentan, arealmente, un decrecimiento general del tamaño de grano de sur a norte.

La llanura continental se desarrolla al oeste del cordón costero, las cotas son inferiores a 5 m.s.n.m y en el área adyacente a la Bahía Samborombón se mantiene abierta al mar. El drenaje natural está conformado por el Río Ajó que descarga hacia la bahía y es alimentado por arroyos y canales artificiales que facilitan el escurrimiento. Esta zona deprimida presenta geoformas menores de relieve negativo, que cerca de la Bahía Samborombón y el Río Ajó son verdaderos canales de marea en donde se forman cangrejales bajos y altos (Consejo Federal de Inversiones, 1989). (Figura 1)



Figura 1. Mapa de ubicación y geomorfológico.

A partir de la descripción geomorfológica surge el modelo hidrogeológico, así el cordón costero es la zona de recarga principal, la conducción se efectúa en un corto tramo, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste hacia la llanura continental. La descarga al occidente se manifiesta en el afloramiento del nivel freático en la zona de canales de marea. El esquema general está limitado por dos interfases, hacia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada. (Kruse et al, 2005)

El acuífero principal de agua dulce está constituido por un manto arenoso, de espesor variable con un máximo de hasta 30 m, que se originó por superposición de facies de espigas costeras. En general estas arenas están apoyadas en parte sobre sedimentos arcillosos de lagunas. La secuencia termina con el desarrollo de los suelos actuales que en la región son incipientes y poco evolucionados. En el caso particular del cordón costero no tienen desarrollo, son arenosos, excesivamente drenados e inestables. (Consejo Federal de Inversiones, 1990a)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron tareas de relevamiento e interpretación de rasgos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos. Además se diferenciaron áreas con distintos grados de ocupación poblacional que pueden significar variaciones en la capacidad de campo de los suelos de la zona.

Se utilizó cartografía del IGM correspondiente a las Hojas topográficas San Clemente del Tuyú 3757-10-2 y 4-4 y, General Lavalle 3757-10-1 y 4-3 a escala 1:50000, carta imagen 3757-10 y 4 a escala 1:100000 correspondientes a Santa Teresita. Fotografías aéreas del año 1958 del Servicio de Hidrografía Naval, y 1984 del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires junto a imagen satelital del año 2005, perteneciente a Digital Globe, Google Earth.

Se determinaron los excesos de agua efectuando balances hídricos diarios de acuerdo a los datos de precipitación (1989–2005) de Santa Teresita y los valores de ET₀ (evapotranspiración de referencia) media diaria estimada según el método de Penman-Monteith. (Carretero et al 2007)

De acuerdo al análisis de la imagen satelital actual se realizó una clasificación en zonas según el grado de ocupación urbana y el tipo de suelo, luego se procedió a localizar en las fotos aéreas de los años anteriores las zonas definidas, calculándose por medio de ArcGis 9.1 el valor de superficie para cada zona.

Para completar el análisis se incluyeron los valores de cantidad de población del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del INDEC correspondientes a los años 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001.

La Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú aportó los datos de producción diaria de su planta potabilizadora con lo que se calcularon valores medios de la misma.

RESULTADOS

Evolución de la población

La población permanente en el área de estudio es de 11.336 habitantes (INDEC, 2001). Esta región presenta un importante desarrollo turístico, con muy alta actividad en la época estival, que puede alcanzar a multiplicarse por 5. A su vez, la aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona produce un aporte constante en el resto del año, pero por cortos periodos de estadía.

De acuerdo a los censos nacionales del INDEC correspondientes a los años 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001, se reconoce un crecimiento marcado de la población (Figura 2).

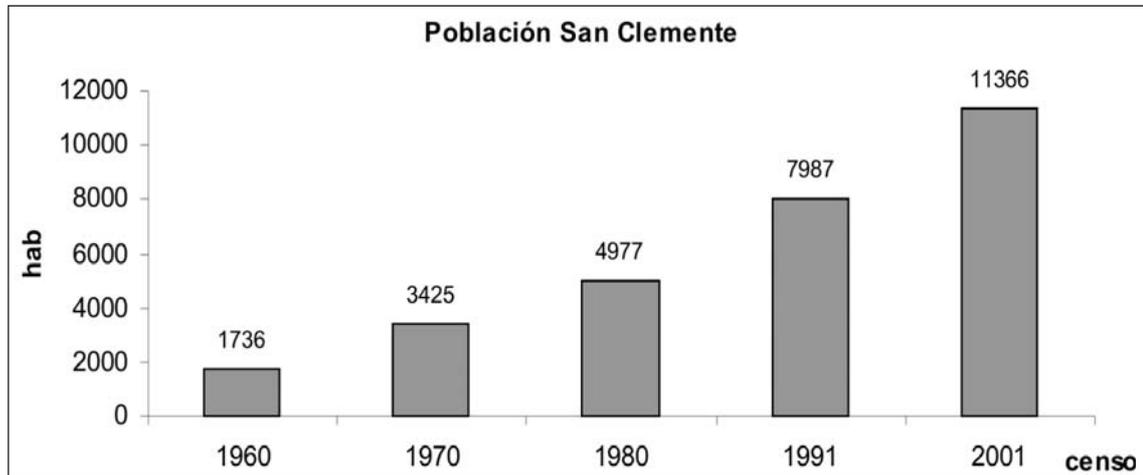


Figura 2. Desarrollo de la población.

El constante aumento de la población estable asociado a la afluencia turística del verano, supone un incremento del consumo de agua, lo cual tiene una significativa influencia en el comportamiento del agua subterránea, afectando el ciclo hidrológico natural.

Usos del suelo

Como manifestación del incremento de las actividades antrópicas se destaca el proceso de urbanización, en distintos grados, que trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringiendo las áreas de recarga natural del acuífero y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles.

De acuerdo a los relevamientos de campo efectuados y del análisis visual de las fotografías aéreas e imagen satelital (1958, 1984, 2005), se plantearon tres casos de distribución de uso del suelo delimitando un sector constituido por suelo arenoso con escasa urbanización y presencia de espacios verdes (Zona 1), otro por suelo arenoso con escasa vegetación (Zona 2), y un tercero desarrollado en los sectores densamente urbanizados (Zona 3), pudiéndose observar en la Figura 3 la distribución de las mismas.

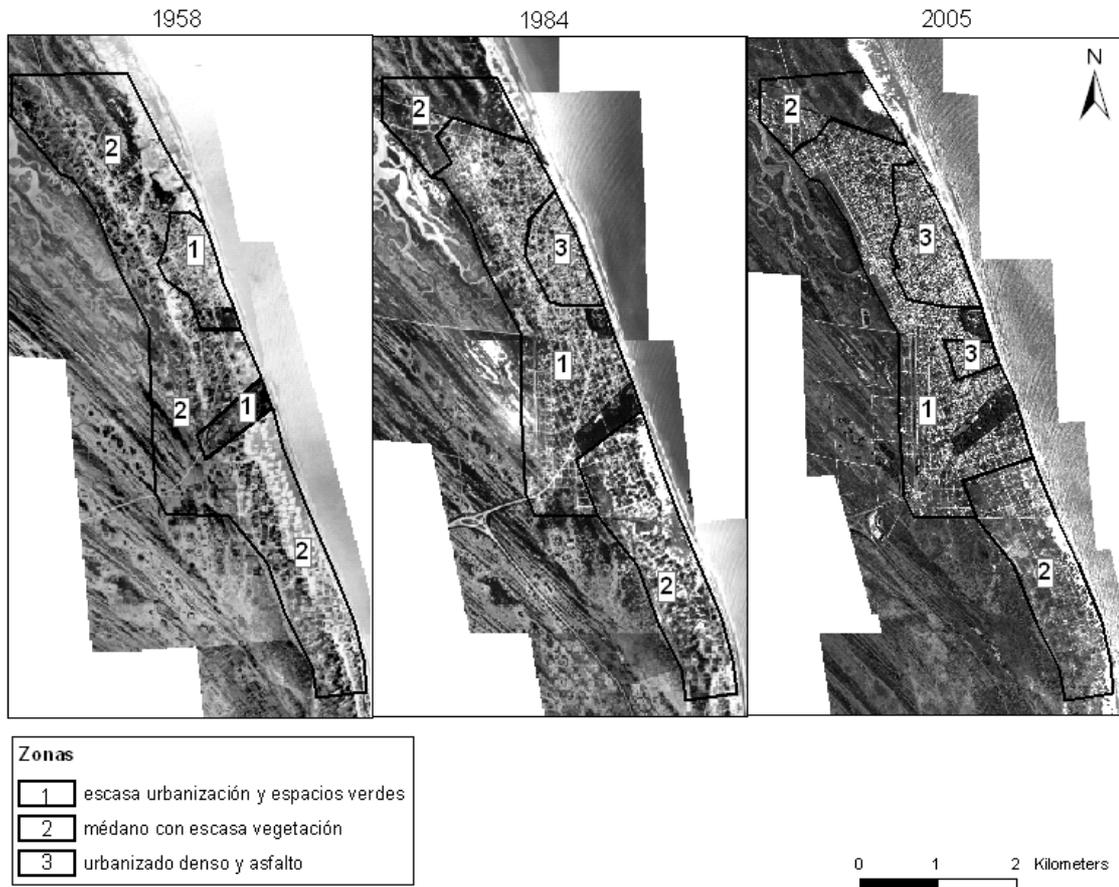


Figura 3. Clasificación de las zonas de estudio.

A partir del análisis de la evolución territorial de la localidad de San Clemente a lo largo del tiempo, en base a la zonificación establecida y sus correspondientes áreas, se puede observar un marcado incremento de los sectores urbanizados en detrimento de las zonas de médano con escasa vegetación. (Figura 4)

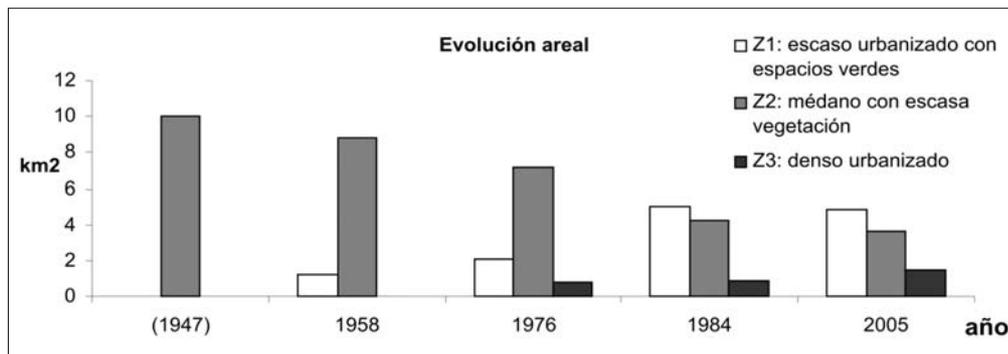


Figura 4. Evolución areal del territorio.

Para el año 1947 se consideró una situación donde la zona se conservaba en su estado natural ya que para esa fecha no existían más que algunos asentamientos dispersos en el área rural. Para 1976 el uso del suelo se obtuvo de un mapa elaborado en el trabajo de Sala et al, 1976. Esta distribución areal ha evolucionado desde los primeros asentamientos en la localidad hasta la actualidad, acompañados del crecimiento poblacional y del consumo del recurso agua subterránea.

Recarga

En el ambiente natural de médanos, los excesos de agua alimentan al sistema hídrico subterráneo. El escurrimiento superficial tiende a cero, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos. En los sitios altamente urbanizados donde existe una impermeabilización del sustrato, prevalece el escurrimiento superficial de los volúmenes precipitados. Una superficie edificada (urbanizada) es un impedimento para la recarga si tiene desagües pluviales al mar. Si está urbanizada sin desagües pluviales, en terreno natural, donde el suelo llega rápidamente a su CC, se produce recarga localizada e inducida, Ello no ocurre en el caso del área de estudio, ya que los sitios pertenecientes a la zona 3, que se encuentra altamente urbanizada y pavimentada, posee desagües que descargan hacia el mar.

Para la capacidad de campo del material esencialmente arenoso con escasa vegetación (Zona 2) se adoptó un valor medio de 160 mm por metro de profundidad. Se adjudicó una profundidad efectiva para el balance de agua de 0,25 m ya que no puede alcanzar mayor profundidad el efecto de la evapotranspiración y por lo tanto una CC de 40 mm. En el caso del sector algo urbanizado pero con espacios verdes (Zona 1), se tuvo que considerar una exploración de raíces de 1,25 m, lo que proporcionalmente corresponde a una CC de 200 mm. Mientras que en la situación de calles pavimentadas y densamente urbanizado (Zona 3), se consideró una superficie impermeable, de manera que no existe interacción con el sustrato. El análisis de los excesos diarios de agua en el suelo ha permitido observar que son mayores en el caso del suelo con escasa vegetación respecto al suelo de baja urbanización y con espacios verdes. Mientras que para la zona densamente urbanizada, la impermeabilización del terreno favorece el escurrimiento del agua precipitada, no existiendo, de esta manera, intercambio de agua a nivel de suelo. (Carretero et al, 2007)

En base a los datos de excesos obtenidos a partir de balances hídricos diarios y tomando las clasificación en zonas para cada año analizado, se calcularon los valores de recarga para el caso de suelo medanoso con escasa vegetación (Zona 2), y de sectores con calles de arena compactada junto a escasa población y espacios verdes (Zona 1). En el tercer caso, para una región densamente urbanizada y con calles asfaltadas (Zona 3), se consideró que la precipitación cae y escurre por una superficie impermeable, eliminándose del sistema por los desagües construidos hacia el mar. (Carretero et al, 2007). En la Figura 5 se puede apreciar la evolución de los volúmenes recargados para cada zona por año.

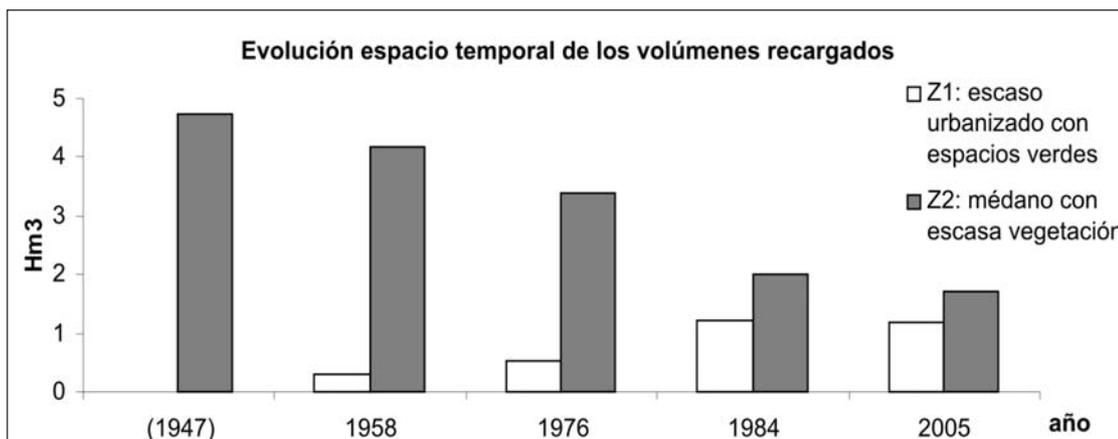


Figura 5. Evolución de los volúmenes recargados.

Como se podía observar en la Figura 4, a través de los años la zona de médano se ha ido reduciendo y por consiguiente el valor de la recarga, que se encuentra íntimamente ligado al desarrollo de las áreas definidas.

Consumo de agua

En la localidad de interés sólo un porcentaje menor de las viviendas (del orden de 2.500) poseen agua de red proveniente de un campo de bombeo que luego es tratada en planta para su posterior distribución. El resto, posee bombeadores domésticos, donde el agua no presenta tratamiento alguno. En cuanto a las obras de saneamiento, el porcentaje cubierto alcanza un número importante de viviendas de la localidad (superior a 10.000)

Se analizaron los datos de la media anual de producción diaria de agua potable perteneciente a la planta potabilizadora de la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú. Este valor calculado en 519 m³, se estableció como fijo para observar si cubriría o no las necesidades de la población desde el año 1960 en adelante, considerando 200 l/día de consumo por habitante, los cuales serían teóricamente distribuidos por la planta. Cabe aclarar que para el año 1960 la planta no estaba instalada todavía por lo que se considera como valor hipotético la producción en esa época. Así, se puede apreciar en la Figura 6, que para 1960 la producción excedería a la demanda (149 %), pero a partir de 1970 se encuentra por debajo de las necesidades, llegando sólo a un 23% de población abastecida para el año 2001. La población que no se encuentra dentro del área de distribución del agua de red atiende sus necesidades a partir de la extracción particular por bombas o, en algunos barrios, por medio del abastecimiento de perforaciones municipales que se almacenan en un tanque y se distribuyen sin tratamiento previo.

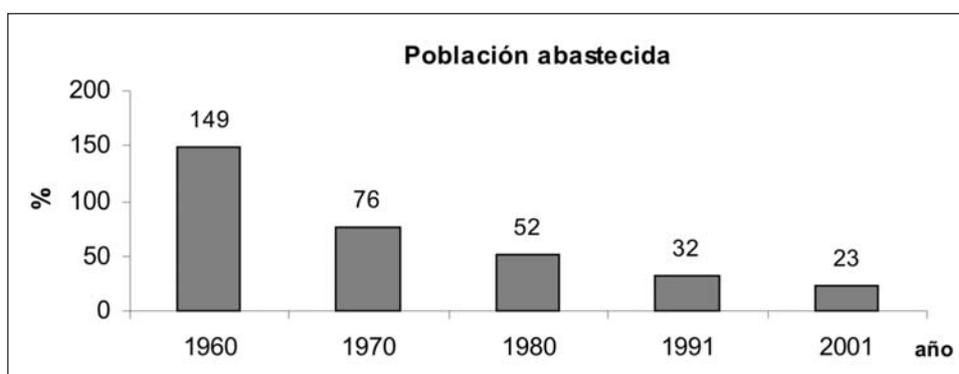


Figura 6. Porcentaje de población abastecida por la planta.

Otro parámetro que se analizó fue la afluencia de turistas en los meses de verano, para lo cual se dispuso de datos de la Secretaría de Turismo para todo el Partido de la Costa en la temporada 2006. En el mes de enero se contó con la llegada de 1.027.605 personas y en febrero 819.851. A un promedio de estadía semanal, se calcula que para enero la localidad de San Clemente cuenta por día con 7.340 habitantes sumados a la población estable de 11.336. En febrero el número desciende levemente, contando con un aumento de 5.857 turistas por día.

Este incremento en la cantidad de habitantes conlleva a una demanda creciente del agua para uso. A partir de los datos de la media mensual de la producción diaria para el año 2006, acompañado de la tasa de consumo por habitante y teniendo en cuenta el crecimiento poblacional turístico, se calcularon los valores de déficit como pueden observarse en la Figura 7.

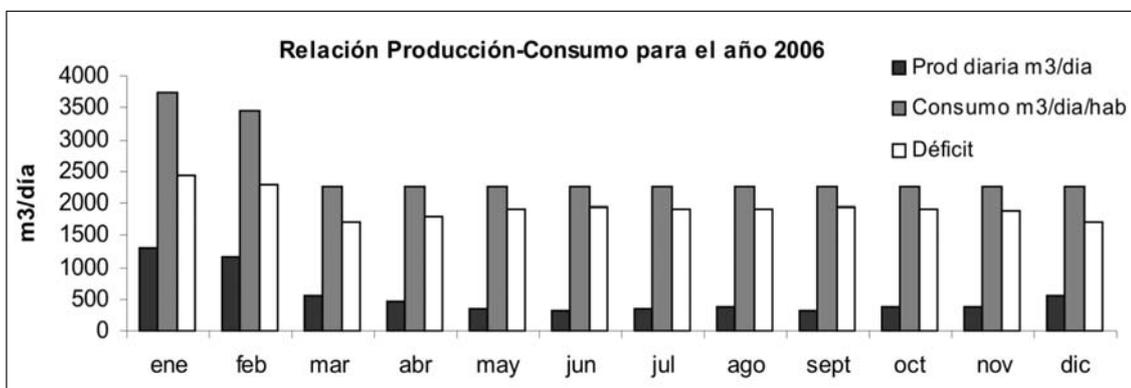


Figura 7. Relación Producción-consumo.

A pesar de que los valores de producción para los meses estivales son mayores, también lo es la necesidad de uso, por cuanto se puede ver que el déficit es algo mayor en estas instancias y permanece casi constante en el resto del año. Así los porcentajes de población abastecida por la planta potabilizadora no sobrepasan el 35 y 33 % para enero y febrero, manteniéndose entre 15 y 17 % para la mayoría de los meses.

CONCLUSIONES

Las diferencias en los excesos de agua del balance hídrico dadas por los distintos grados de urbanización tienen una influencia directa en la recarga del sistema hídrico subterráneo en la zona estudiada.

Existe una disminución de los volúmenes infiltrados asociado a la reducción de la superficie del médano con escasa vegetación y el incremento de áreas urbanizadas con espacios verdes.

La reducción en la recarga conduce a una situación crítica en cuanto a las reservas de agua y por ende a la posibilidad de expansión del servicio de agua potable, afectando a un futuro crecimiento poblacional. El número de habitantes residentes y el aporte turístico presentan un aumento creciente, el cual debe ser tenido en cuenta para planificar el manejo del agua subterránea.

Es necesario establecer áreas protegidas como reserva y zona de recarga del acuífero, por lo cual es imperativa una planificación conciente del uso del suelo. Esta medida se puede complementar con la futura implementación de un sistema que permita el aprovechamiento de los excesos de agua, que en la zona

densamente urbanizada y pavimentada se transforman en escurrimiento superficial, y se pierden hacia el mar por medio de drenajes pluviales.

REFERENCIAS

- CARRETERO, S.; KRUSE, E. Y FORTE LAY, J.A. (2007).** Efectos de la urbanización en la recarga subterránea en San Clemente del Tuyú (Provincia de Buenos Aires). XXI Congreso Nacional del Agua, Tucumán. Trabajo completo en CD: N° 61, pp 1-12.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. (1989).** Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones I y II Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires Informe Final. Tomo II. Geología y Geomorfología.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. (1990a).** Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región I Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final. Tomo I. Hidrología Subterránea.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. (1990b).** Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región I Punta Rasa-Punta Médanos. Tomo IV Caracterización climática y Balance Hidrológico. Informe Final.
- GONZÁLEZ, N. (2005).** Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: R de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé y E, Llambías (eds): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires, pp. 359 – 374.
- INDEC, CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN, HOGARES Y VIVIENDAS. (1960. 1970. 1980. 1991. 2001)**
- KRUSE, E.; LAURENCENA P.; VARELA L.; ROJO A. Y DELUCHI M. (2005).** Hydrological characterization of the brackish - fresh water relationship in different morphological environments of the province of Buenos Aires, Argentina. Geological Survey of Spain. Series on Hydrogeology and Groundwater (18 SWIM): 15: 305 - 312.
- SALA, J.; N. GONZÁLEZ; M. HERNÁNDEZ; E. MARTÍN DE ULIANA; E. CHELI Y E. KRUSE. (1976).** Factibilidad de provisión de agua subterránea a la localidad de San Clemente de Tuyú-El Tala. Provincia de Buenos Aires. Informe técnico. Convenio Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales- Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú.
- VRBA J. Y LIPPONEN, A. (2007).** Groundwater Resources Sustainability Indicators. UNESCO, IAEA, IAH. IHP-VI, Series on Groundwater n° 14. France.
- WEBB, B.; HIRATA, R.; KRUSE, E.; & VRBA J. (2006).** Sustainability of Groundwater Resources and its Indicators. IAHS Publication 302, ISSN 0144-7815. Wallingford, UK.

SITUACIÓN ACTUAL DEL USO DEL RECURSO HÍDRICO CON FINES DE RIEGO, EN LA ZONA DE TRASLASIERRA, PROVINCIA DE CÓRDOBA.

Ing. Agr. Fiorentino, Silvia del V. (Mat.Ing.Regadíos, email: silvia.fiorentino@yahoo.com.ar), Geol. Cebollada y Verdaguer, M^a del Pilar, Esp.Geol.Amb. email: mpilarcebollada@yahoo.com.ar DIPAS, Humberto Primo N° 607, Tel.0351-4342052/55, CP: 5019-Córdoba.

RESUMEN

Las áreas bajo sistemas de riego en Argentina están afectadas por procesos de salinidad y mal drenaje en aproximadamente un tercio de sus 1,5 millones de has regadas. La eficiencia del uso del agua en el sector no alcanza el 40%. En un análisis somero de la realidad de la región de estudio se puede constatar que debido al incremento de la productividad agrícola, en razón de las condiciones climáticas existentes, y de la inadecuada aplicación de las prácticas de riego utilizadas por el productor, sistema de surco tradicional, con una baja eficiencia del orden del 20%, y aplicación de riego con pívot, ha llevado al *uso en forma indiscriminada tanto del agua superficial, como una sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo, en un uso mixto e irracional del Recurso Hídrico*, con la posibilidad de la activación de los procesos de salinización y alcalinización de suelo y agua, en un futuro no muy lejano. El objetivo del presente trabajo es establecer una Gestión Integral de los Recursos Agua - Suelo, en el Sistema de Riego de Traslasierra, mediante la puesta en marcha de un proyecto adecuado intra e interpredial, con el fin de lograr un mayor beneficio de relación Agua-Suelo-Producción de Alimentos a nivel regional y la obtención de un adecuado abastecimiento urbano-rural.

El área de estudio se desarrolla en el Sector Sur del Dpto. San Alberto, Pedanía Toscas y al NW del Dpto. San Javier, Pedanía Dolores, de la Provincia de Córdoba, incluida en el denominado Valle de Conlara. Dicho proyecto implicará la reordenación y eficientización del Sistema de Riego Los Sauces, definiendo las causas del uso inadecuado de los recursos hídricos en la zona, tanto los superficiales como los subterráneos, y estableciendo los lineamientos de actuación a seguir para lograr un uso racional de los mismos. Se estimará la función de producción - demanda de agua para riego, implementando un sistema de control y monitoreo del recurso hídrico. Contemplará además la aplicación de programas de extensión para productores en la región implicada, con el fin de lograr la *sustentabilidad de los recursos naturales, en beneficio de lograr una mayor producción*. Se elaborarán recomendaciones para promover y fortalecer el desempeño institucional del Ente de Aplicación Provincial en lo que se refiere al Recurso Hídrico.

Palabras claves: riego, gestión, uso racional, sustentabilidad, abastecimiento.

SUMMARY

The areas lower watering systems in Argentina they are affected by processes of salinity and bad drainage in approximately a third of their 1,5 millions of you have watered. The efficiency of the use of the water in the

sector doesn't reach 40%. In a shallow analysis of the reality of the study region you can verify that due to the increment of the agricultural productivity, in reason of the existent climatic conditions, and of the inadequate application of the watering practices used by the producer, system of traditional furrow, with a low efficiency of the order of 20%, and watering application with pívot, it has taken to the *use in form indiscriminate point of the superficial water, like a high exploitation of the resource underground watering, in a mixed and irrational use of the Resource Watering*, with the possibility of the activation of the saltwort processes and floor alkalization and it dilutes, in a future not very distant.

The objective of the present work is to establish *an Integral Administration of the Resources Water* - I am Accustomed to, in the System of Watering of Traslasierra, by means of the setting in march of a project appropriate inside, with the purpose of achieving a bigger benefit of relationship *Water-Floor-Production of Foods to regional level and the obtaining of an appropriate urban-rural supply*. The study area is developed in the South Sector of the Dpto. San Alberto, Rough Pedanía and to the NW of the Dpto. San Javier, Pedanía Dolores, of the County of Córdoba, included in the one denominated Valley of Conlara.

This project will imply the reordering and real efficiency of the System of Watering The Sauces, defining the causes of the inadequate use of the resources irrigation in the area, as much the superficial ones as the undergrounds, and establishing the performance limits to continue to achieve a rational use of the same ones. It will be considered the production function - it demands of water for watering, implementing a control system and monitory of the resource watering. It will also contemplate the application of extension programs for producers in the implied region, with the purpose of achieving the *sustenance of the natural resources, in benefit of achieving a bigger production*. Recommendations will be elaborated to promote and to strengthen the institutional acting of the Entity of Provincial Application in what refers to the Watering Resource.

Key words: Irrigation, management, rational use, sustenance, supply.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en el Sector Sur del Dpto. San Alberto, Pedanía Toscas y al Noroeste del Dpto. San Javier, Pedanía Dolores, en la zona de influencia del Dique la Viña, ubicada entre los 65°30' y 65° 10' longitud O y entre 31° 50' y 32° 10' latitud S. Desde el punto de vista regional, la misma se halla incluida en el denominado Valle de Conlara, limitada al Norte por los faldeos de las Sierras de Pocho, al Sur por la Prov. de San Luis, al Oeste por las Sierras de San Luis y al Este por las estribaciones de las sierras de Sierras Grandes y Comechingones.

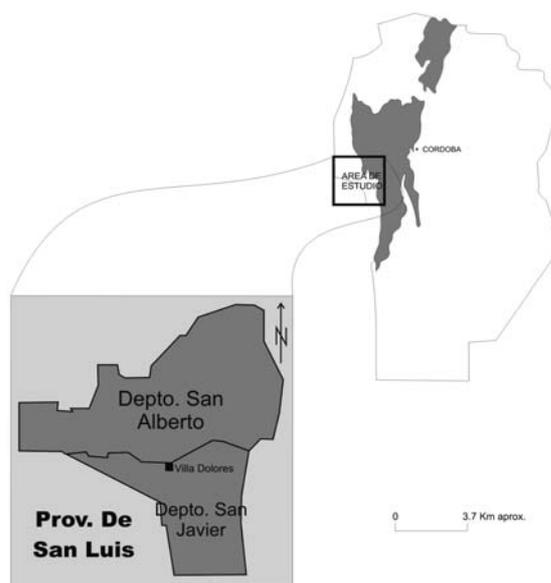


Figura N° 1. Mapa de ubicación.

Desde el punto de vista climático, los factores que más influyen en la configuración del medio natural son las temperaturas y las precipitaciones. Sin embargo estas últimas por sí solas, tienen una significación restringida, por cuanto existen fenómenos inversos que influyen en su eficacia, tal es el caso de la evapotranspiración, cuyo comportamiento permite definir si las lluvias satisfacen o no la necesidad hídrica de una región y en qué grado.

La planicie Noroccidental de la Provincia de Córdoba, de acuerdo con las características físicas y las pérdidas por evapotranspiración, presenta el mayor déficit hídrico del territorio, el cual crece a partir del borde occidental de las Sierras Grandes hacia el NW. El déficit alcanza niveles máximos al NW en la llanura de Quines-Ulapes-Chancaní, atenuándose hacia el SE hacia la provincia de San Luis a lo largo del Valle del Conlara.

La temperatura media anual es de 17,9°C, con una amplitud anual de 14,7°C y una extrema de 48,4°C, registrándose valores en el mes de enero que oscilan entre los 33,8 °C y en los meses de invierno (Julio) 18,0°C, con mínimas medias en verano de 18,1°C y en invierno de 4,6°C de promedio, con una mínima absoluta de -6,9°C.

La duración promedio del periodo con heladas oscila en los 111 días, la fecha media de la primera helada ocurre el 21 de mayo y la última helada el 8 de noviembre, con una desviación típica entre los 10 a 21 días. Las precipitaciones medias, oscilan alrededor de los 411 mm. anuales, registrándose el 80% de las lluvias en el periodo primavera-verano.

El valor medio anual de humedad relativa es de 62%, con una amplitud de 21%, registrándose, los mayores valores en los meses de diciembre y enero.

El viento registra una velocidad de alrededor de los 10 km/hs.. Los meses más ventosos son setiembre y octubre; en el periodo otoño-invierno, la dirección del viento es Noroeste y viento norte en periodo primavera-verano.

Regionalmente el área rural de la región se halla sometido a cultivo intensivo permanente y constituyendo un recurso de producción constante, destinado a mantener un elevado estándar de vida para el futuro. En la actualidad las influencias económicas y sociales en la región han afectado la explotación del suelo productivo, por lo tanto un uso racional del mismo exige, por parte de las Instituciones, tanto públicas como privadas, directamente vinculadas al uso de los recursos, la adopción de medidas que conduzcan a mantener la capacidad productiva de las tierras y a proveer la habilidad técnica para que los productores puedan trabajarla correctamente.

En la actualidad, si bien no existen problemas graves de sales o alcali generalizados, en algunos sectores se han encontrado a lo largo del perfil concentraciones de sales suficientemente elevadas, restrictivos para los cultivos, debidos a una inadecuada aplicación del agua de riego, defectos de drenaje o elevación de la capa freática. Por ello no se debe dejar de lado que existe la posibilidad que con un riego intensivo mal utilizado, se activen, en un futuro no muy lejano, los procesos de salinización y alcalinización.

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es establecer una *Gestión Integral de los Recursos Agua Suelo*, en el Sistema de Riego de Traslasierra, con el fin de un mayor beneficio de relación Agua-Suelo-Producción de Alimentos a nivel regional y la obtención de un adecuado abastecimiento urbano-rural, a través de la puesta en marcha de un proyecto adecuado intra e interpredial, con el fin de lograr una aplicación de riego de manera sustentable.

Además de detectar los factores institucionales que inciden favoreciendo o retardando el cumplimiento de principios de Dublín – Río y de una GIRH, elaborando recomendaciones para promover y fortalecer el desempeño institucional del Ente de Aplicación Provincial en lo que se refiere al RH.

Estimación de la función de producción - demanda de agua para riego.

Establecimiento de un sistema de control y monitoreo del recurso hídrico.

Fortalecimiento de las instituciones con incumbencia en el uso del Agua-Suelo, a los fines de promover, entre los productores de la región, la adopción de prácticas sustentables de los recursos naturales.

CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN

Geomorfología y Relieve.

La región está inserta en una unidad fisiográfica caracterizada por su marcada uniformidad, siendo parte integrante del amplio bolsón que se extiende entre la Sierra de San Luis, ubicada en la Provincia de San Luis y la Sierra de Comechingones y Pocho, en la Pcia. de Córdoba, con una altura entre 400 y 500 m.s.n.m. La zona se encuentra limitada, al Norte por los faldeos de las Sierras de Pocho, al Sur por la Prov. de San Luis, al Oeste por las Sierras de San Luis y al Este por las estribaciones de las sierras de Sierras Grandes y Comechingones.

El relieve se caracteriza en general por ser plano y presentar pocas ondulaciones no muy marcadas, originando pequeñas depresiones, con una pendiente en el orden del 5‰ en dirección E-W.

Suelos.

Los suelos se caracterizan por presentar una gran uniformidad en toda el área. El material básico del cual derivan todos estos suelos lo constituye el basamento cristalino. Los sedimentos que los constituyen, presentan una naturaleza petrológica muy variable, los cuales están formados por psamitas y pelitas, representadas por arenas, arenas arcillosas y arcillas arenosas, con buenas condiciones de avenamiento. Estos sedimentos se encuentran modificados a lo largo de ambos márgenes del Río Los Sauces, a causa del transporte y acumulación de material mas grueso transportado y acumulado por las aguas del mismo río. Otro factor que influye en la naturaleza de los sedimentos es el viento, ocasionando el transporte selectivo del material más grueso, dando origen a la formación de pequeñas zonas medanosas, en ciertos lugares de la extensa planicie. Finalmente, se encuentran escasas microdepresiones, ocasionadas por el escurrimiento del agua de lluvia, transitoriamente acumulada.

El tipo de suelos predominantes son los suelos Pardos, característicos de la región semi-árida, y más específicamente la variedad de los Pardos rojizos de textura franco-arcillo-arenosa, con sus formas intermedias y transicionales. Asociados a estos suelos, aparecen los suelos aluviales embrionarios, en las áreas de derrame del río Los Sauces, compuesto por diferente composición textural y variable espesor formados por materiales de distinto origen, la gran mayoría de estos suelos, pertenecen a la Clase III, IV, VI, VII, con graves limitaciones climáticas, asociados a suelos arenosos con baja retención de humedad, (cs) en condiciones de secano, transformándose en suelos productivos por excelencia especialmente para cultivos hortícolas, en condiciones de aplicación de riego complementario, asociados a buenas prácticas de manejo. En el Dpto. San Alberto encontramos en su mayoría suelos de Clase VII cs. Desde el punto de vista de la aptitud de suelos para riego, son la mayoría Clase I y II, regable, con Potencial de riego promedio 80 a 100.

Hidrología Superficial.

En el área existen numerosos cursos temporarios. El río Los Sauces, es el único curso con carácter de tipo permanente. Este río recorre la planicie de Este a Oeste y constituye el principal colector de la región. El agua del río Los Sauces es retenida casi totalmente por el Dique La Viña, siendo la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la región, como así también para el sistema de riego de la región. El escaso caudal que derrama el mismo se infiltra rápidamente en el propio lecho tan pronto como alcanza el llano. A partir del dique y de las obras complementarias (azud y toma) se da lugar a la existencia del sistema de riego Río Los Sauces.

Tabla N°1. Estimación del vol. de agua a entregar para los distintos usos.

Caudal regulado mínimo medio	5 m ³ /seg
Cs. agua potable y turistico	0,4 m ³ /seg (*)
Perdidas (10 % del total)	0,5 m ³ /seg
Caudal para riego min. medio (·)	4,10 m ³ /seg.(**)
(·) Caudal actual utilizado	7 a 8 m3/seg.
Caudal para energia	9 m3/seg.

(*) Consumo actual real: 1 m³/seg. (Dotación media: 300l/hab/día.)

(**)Dotación prom: 33 hs/ha/año, con un caudal de 90 lts./seg., aproximadamente 1.000 mm/año.

Fuente: Dirección Provincial de Agua y Saneamiento 2004.

Hidrología Subterránea.

La región pertenece a la denominada Provincia Hidrogeológica de Sierras Pampeanas y sus Valles. Los núcleos de las Sierras Pampeanas están formados por rocas cristalinas ígneas y metamórficas del Precámbrico y del Paleozoico Inferior, pero su expresión orográfica data del Terciario superior, como consecuencia del fallamiento regional inverso de alto ángulo y rumbo meridiano, que origina bloques de perfil asimétrico. Entre bloque y bloque suele acumularse un potente relleno sedimentario, originado a expensas de los mismos por acción fluvial y/o gravedad, pudiendo constituir importantes reservorios de aguas subterráneas como es el Valle de Conlara¹ (San Luis – Córdoba).

De acuerdo al Mapa Hidrogeológico de la República Argentina,² ésta es una de las cuencas subterráneas en la que los acuíferos tienen un carácter semiconfinado, en la que la profundidad media de los pozos oscila alrededor de algo más de los 80 mts. de profundidad, alcanzándose los niveles de agua con mejores posibilidades y características para su explotación a una profundidad media de 50 mts. con caudales que pueden superar los 200 m³/h con un contenido de sales de 1600 mg/l (aguas de condiciones regulares y limitadamente buenas para el consumo humano).

En el sector Noroeste del valle intermontano de Conlara se desarrolla el Sistema de Riego de Villa Dolores, área seleccionada para proyecto. Si bien, dicha superficie se encuentra en el extremo Oeste de la Planicie del valle, es de destacar que forma parte de la depresión tectónica existente entre los dos bloques cristalinos, la cual ha sido rellenada con material de las regiones altas y en una proporción menor por loess. Por lo cual en los depósitos sedimentarios alternan capas de granulometría fina y gruesa que pueden ser consideradas en su totalidad como de permeabilidad media hasta buena.

Un gran número de cauces temporarios que discurren desde el oriente y al igual que el río Los Sauces proveniente del norte, corren hacia el valle infiltrándose sus aguas, en forma parcial o total en el subsuelo. Por lo cual la recarga de las aguas subterráneas es debida en su mayor proporción a la infiltración del agua de los ríos y arroyos y menor grado por las precipitaciones.

La dirección del escurrimiento subterráneo³ al igual que el superficial es hacia el oeste. La profundidad de la capa permeable varía desde oriente a occidente, encontrándose la posibilidad de explotación de agua subterráneas con fines de irrigación, en distintos niveles permeables cuyo techo oscila entre 30 y 50 mts hasta los 100 mts de profundidad. Esto determina una zonificación en cuanto a calidad, para su utilización con fines de irrigación, quedando identificadas dos zonas comprendidas por las curvas de isoconductividad⁴ correspondientes:

- < 800 m S (>500 ppm) zona con aguas de condiciones buenas para riego y consumo humano.
- 800 hasta 1500 m S (500 a 1000 ppm) zona con aguas de condiciones buenas para riego y consumo humano.
- >1500 m S (>1000 ppm) zona con aguas de condiciones regulares y limitadamente buenas para el consumo humano.

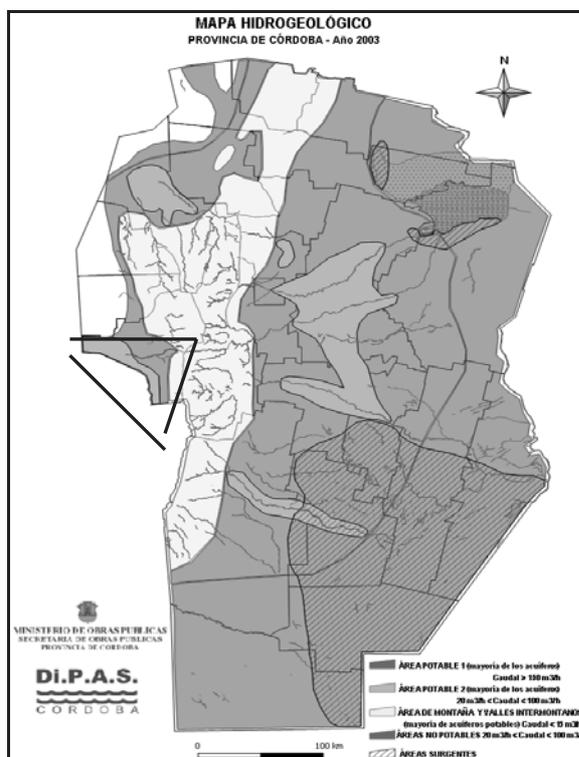


Figura N° 2. Mapa Hidrogeológico de la Provincia de Córdoba.

En la zona norte, el Valle de Conlara se abre hacia el oeste, es ahí donde el río Conlara y el de Los Sauces se infiltran, ésta última forma un importante acuífero de agua dulce, no ocurriendo lo mismo con los aportes que realiza el río Conlara al subsuelo, donde el contenido salino limita su utilización con fines de irrigación.

¹Clasificación contenido salino, establecida en el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterránea, Llanura Pampeana y en el Valle de Conlara (Córdoba, Santa Fé y San Luí) Tomo 1 I.N.C.y T.H. Buenos Aires.

Vegetación.

El área pertenece a la zona fitogeográfica denominada de *monte o bosque xerófilo*, donde la vegetación dominante que lo caracteriza se encuentra casi en su totalidad desaparecida, a causa de la explotación de las tierras para la agricultura. En la actualidad encontramos la vegetación distribuida en forma de manchones, con densidad variable, formando una carpeta leñosa arbustiva continua, con predominio de algarrobos en talar bajo, asociados a los géneros *Larrea*, *Geoffrea*, *Condalia*, *Atamisquea*, *Cassia*, *Cercidium*, *Iodina*, etc. de 1,5 a 3,5 mts de altura. El estrato herbáceo se manifiesta muy ralo, constituido por gramíneas, con predominio de *Eragrostis*, *Chloris*, *Digitaria* y *Aristida*, *Portulacaceas*, entre otras.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Primeramente se procedió a la recopilación de estudios y antecedentes realizados en la región de estudio; delimitando el área de estudio, a partir de la cartográfica existente.

Se procesaron los datos climáticos, hidrométricos, hidrogeológicos, edafológicos y productivos de la

región, para poder analizar el estado actual del recurso hídrico.

Para el análisis del presente trabajo se tomo como base el Proyecto de Reordenamiento del Sistema de Riego del Río Los Sauces, (para BIRF y BID, realizado entre DiPAS-SAPyG de la Provincia de Córdoba).

Material de estudio utilizado:

Mapas CAAAS

Hoja Geológica 3166-IV VILLA DOLORES.

Cartas del IGM, Villa Dolores, escala 1:50.000

Cartas de Suelos Villa Dolores escala 1:20.000

Imágenes Land-Sat

Hidroclimática: estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional

Aplicación de modelos matemáticos.

Encuestas a productores basadas en los sistema de manejo intrapredial y análisis del PBI.

Realización de análisis económico-productivo global del sistema a nivel regional.

SITUACIÓN ACTUAL RIEGO EN LA REGIÓN

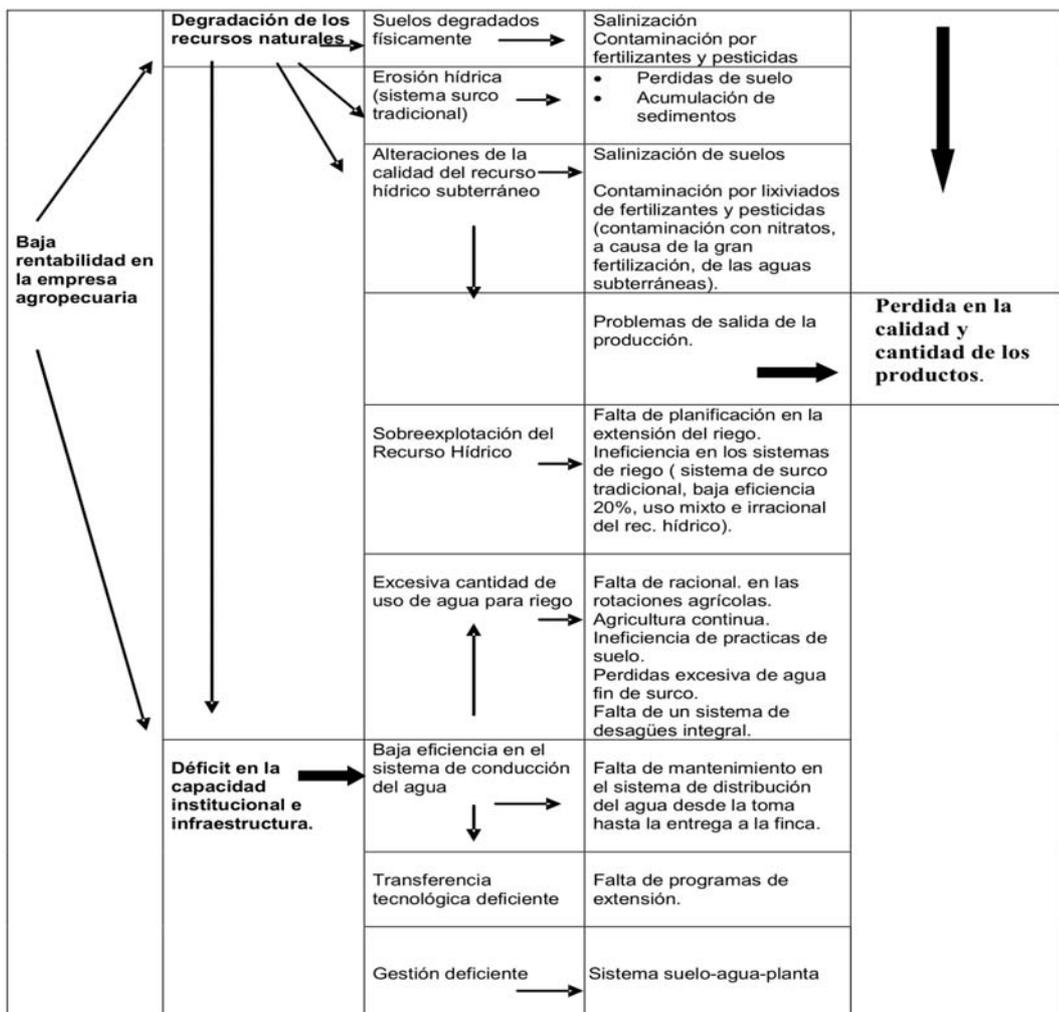


Tabla N° 2. Árbol de Problemas: Sistema actual del Riego.

Superficie explotada bajo riego con agua superficial:**El sistema de riego del Río Los Sauces se divide en dos zonas:**

Zona norte: Dpto. San Alberto:

- Subsistema Consorcio San Vicente - Superficie regable 600has.
- Subsistema zona norte (Consorcio Río Los Sauces). 3.500 has regables.

Zona sur: Dpto. San Javier:

- Subsist. zona sur. (Consorcio Río Los Sauces). 4.500 has regables.
- Subsistemas Los Cerrillos (Consorcio Río Los Sauces). 4.500 has regables.
- Subsistema Montiel 900 has regables.

Riego fuera de zona: condicionada a la existencia de caudales excedentes.

Cuantificación riego mediante la utilización de Agua Subterránea:

Existencia de alrededor de unas 400 perforaciones, concentrándose en dos sectores claves, lo cual da por resultado una alta densificación de las mismas, especialmente en el sector centro oeste del departamento San Javier.

Los volúmenes de agua subterránea en la región, captados mediante perforaciones, oscilan entre caudales con valores promedios que van desde 180 m³/h. hasta alrededor de 500m³/h. Las cuales presentan un valor rendimiento medio (caudales específicos) que van desde los 5,2 m³/h por mts de depresión y 21 m³/h por mts de depresión en el pozo.

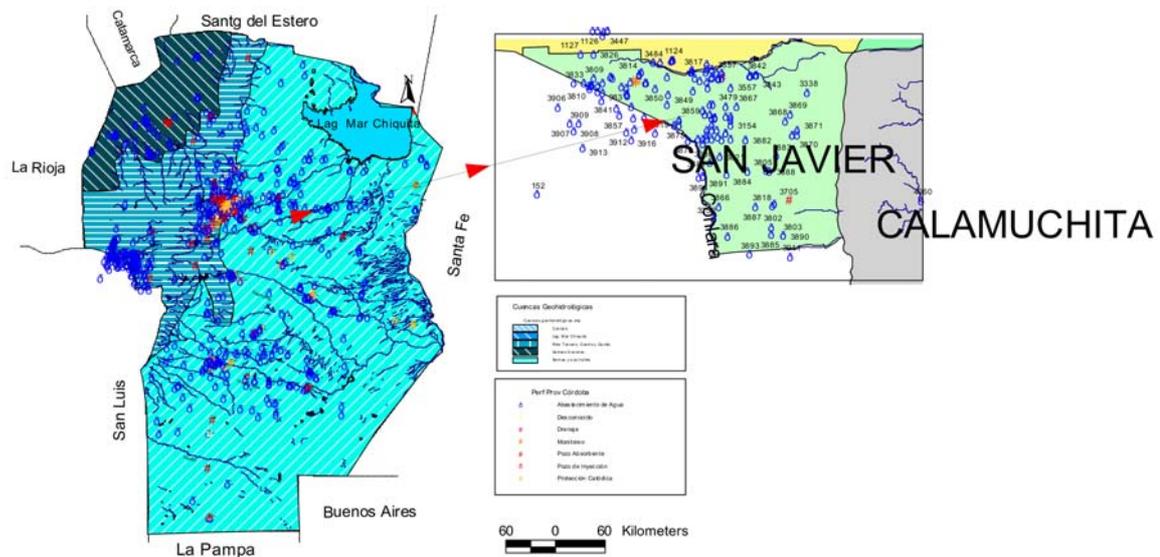


Figura N° 3. S.I.P. Mapa Preliminar de Ubicación de Perforaciones, Prov Córdoba (Di.P.A.S. - 2006).

DEBILIDADES Y FORTALEZAS DEL SISTEMA DE RIEGO

	DEBILIDADES	FORTALEZAS
Recurso Agua- Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de una planificación y operación del sistema para obtener el máximo beneficio y atender la demanda de agua en particular en épocas de estiaje. • Suelos con alto grado de percolación y baja retención, por lo cual las técnicas de riego deberán ser adecuadas a ellos. • Sobreexplotación recurso hídrico subterráneo. 	<ul style="list-style-type: none"> - La presencia del agua subterránea en la zona, brinda: <ul style="list-style-type: none"> • Una solución eficaz y económica para contrarrestar los efectos de la sequía. • La adaptabilidad del área a un crecimiento progresivo de la demanda. • Reducción de la influencia de la sequía y revertir los problemas de drenaje en los campos. • El uso mixto del RH ofrece seguridad frente a las incertidumbres de la demanda. - Los suelos predominantes en la zona presentan baja retención de humedad, lo cual implica menor porcentaje de presencia de enfermedades en cultivos.
Producción	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de planificación del sistema productivo. • Sistema de riego: surco convencional. • Baja eficiencia del riego intrapredio. • Mal manejo del sistema suelo-agua-planta. • Falta de eficiencia en la aplicación de agroquímicos. 	<p>El sistema de riego se encuentra activo en la actualidad, siendo adoptado por la mayoría de los productores.</p>
Institucional y Legal	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de una Gestión Integral del Recurso Agua-Suelo. • Falta de control adecuado del sistema de riego existente del Río Los Sauces. • Canon o el sistema de cobro actual del agua de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de Organismos de Aplicación, con Leyes propias vigentes. • Aprovechamiento de Estudios realizados en la región como el Convenio Argentino Alemán (Valle de Conlara). • Convenio DiPAS – INTA, Plan Nacional de riego. • Canon esta previsto en la modificación de la Ley actual N°6604 y sus modificatorias .

ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE PROPUESTAS

Para poder lograr los objetivos planteados se propone la efectivización del proyecto propuesto el cual consiste en la realización de la obra ingenieril, comprendiendo el reacondicionamiento de las compuertas del vertedero, en las válvulas de los descargadores y obras complementarias a realizar en el Dique Ing. Medina Allende (La Viña). Además de la construcción de una nueva toma sobre la margen derecha del Azud Nivelador Boca del Río y su conducción respectiva, incluyendo también una serie de reparaciones y obras complementarias sobre canales existentes en el actual sistema de riego, con el objetivo principal de reestablecer y asegurar su capacidad de conducción de 3,5 m³/s.

Este proyecto además incluye el fortalecimiento institucional, para poder lograr una adecuada gestión del Sistema Agua-Suelo-Planta, abarcando aspectos legales, institucionales y técnicos, como así también la implementación de programas de extensión para los productores con el fin de aumentar la eficiencia de riego y hacer un uso racional de los recursos (adecuación de las parcelas al nuevo sistema y la construcción de nuevas obras de conducción de agua).

Se deberá establecer una correcta coordinación entre los Entes de Aplicación, los Consorcios de Riego y el Productor, para evitar problemas técnicos que se pudieran ocasionar en el sistema.

CONCLUSIONES

A través de las propuestas establecidas se podría lograr lo siguiente:

- Mejoramiento de la eficiencia del riego: con una adecuada aplicación de tecnología, se obtendría una eficiencia del 40% aproximadamente.
- Aumento de la superficie regable: La superficie a regar efectiva se aumentaría en un 40% (al integrarse el riego fuera de zona).
- Incremento de la productividad global del sistema: como consecuencia del aumento en la eficiencia del riego y de la superficie regable, la productividad global del sistema se incrementaría entre un 30 a un 50% aproximadamente.

Además se debe tener en cuenta que:

- La existencia de una alta densidad de perforaciones dentro de la región en estudio, destinadas a riego complementario, implica una importante recarga del sistema de agua subterránea.

REFERENCIAS

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE HIDRÁULICA DE CÓRDOBA, (1978). Mapa H hidrogeológico de la Provincia de Córdoba. D.P.H. Córdoba.

UNESCO, OFICINA REGIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL; MINISTERIO DE ECONOMÍA Y OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS; INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TÉCNICAS HÍDRICAS, (1991). Mapa Hidrogeológico de la República Argentina, escala 1:2.500.000. Texto explicativo. INA. Buenos Aires.

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TÉCNICA HÍDRICA, CONVENIO ARGENTINO ALEMÁN DE AGUAS SUBTERRÁNEA ; INSTITUTO FEDERAL DE GEOCIENCIAS Y RECURSOS NATURALES DE HANNOVER, (1975). Recursos de Aguas Subterránea y su Aprovechamiento en la Llanura Pampeana y en el Valle de Conlara (Provincias de Córdoba, Santa Fé y San Luí) Tomos 4;5; 6;7;8;9 y 10. I.N.C.y T.H. Buenos Aires.

CHARIF, ALIF JOSÉ, AÑO (2005). Trabajo Final, Carrera de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC; Caracterización hidrogeológica de la Cuenca del Valle del Conlara.

ACUERDO FEDERAL DEL AGUA: «PRINCIPIOS RECTORES DE POLÍTICA HÍDRICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA» CONSEJO HIDRICO FEDERAL. (2003).

EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA FORMACIÓN SALTO CHICO. ENTRE RÍOS.

Romero, E.C.; Díaz, E.L.; Duarte, O. C. y R. A. Valenti
Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER
C.C. 24. Correo Central - (3100). Paraná. Entre Ríos
Email: cromero@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

En la Provincia de Entre Ríos la fuente de agua para riego proviene principalmente de perforaciones que explotan la Formación Salto Chico. No se cuenta con información sobre la ubicación de las mismas, las que están en explotación y las que participan en la rotación agrícola de los cultivos. Se estima que se encuentran aptas para el uso alrededor de 2500 a 3000 perforaciones ubicadas en los departamentos Gualeguaychú, Uruguay, Colón, Villaguay, San Salvador, Federal y Concordia.

La superficie irrigada de arroz en las últimas siete campañas a partir de agua subterránea oscila entre 28700 has en 02/03 y 44736 has en 00/01, estabilizándose en los últimos años en valores cercanos a las 40.000 has. Por lo que entre 440 y casi 700 perforaciones están funcionando con caudales medios de 364 m³/hora. Debe señalarse que en la campaña 98/99 la superficie irrigada a partir de perforaciones alcanzó las 130.000 has, valores que no han vuelto a repetirse debido a condiciones especiales de mercado.

La superficie irrigada en las últimas campañas implican extracciones de 390 a 600 Hm³/año, equivalente a un caudal continuo de 45 a 70 m³/seg, a lo largo de 100 días continuos de bombeo. Si tenemos en cuenta que el principal curso interior de la provincia, el Río Gualeguay, tiene un módulo de 128 m³/seg, se puede valorar a las exigencias a las que es sometida el sistema hidrogeológico, al que debe adicionarse las extracciones para consumo humano y de ganado.

El relevamiento de los pozos consistió en la determinación de su ubicación geográfica mediante GPS de 725 pozos registrados el 22 % no estaban en funcionamiento. Asimismo se han relevado los lotes irrigados en las diferentes campañas, mediante el tratamiento de imágenes satelitales y se han volcado al sistema de información geográfica la ubicación de 59 perforaciones a las que se realizaron ensayos de caudales y niveles estáticos medidos, como así también la hidroquímica de 229 muestras de agua extraídas en el relevamiento y analizadas. Es por ello que se ha constituido una base de información adecuada para poder simular, en una próxima etapa, mediante un modelo matemático hidrogeológico el funcionamiento del sistema acuífero Salto Chico.

Palabras claves: Entre Ríos, SIG, Formación Salto Chico.

ABSTRACT

Water use for rice irrigation in Entre Ríos comes mainly from deep wells. Information about the characteristics of the existing wells is important for future political and technical decisions. We conclude that

in province exists a great potential of irrigation systems out of use. This potential is based in the reduction of rice area and the increase of soybean crop area. The irrigation area based in groundwater in the 2004/05 campaign is 38.449 ha. The annual volume extraction is 460 Hm³ of groundwater, equivalent to a continuo discharge of 45 a 70 m³/sec, during 100 days of irrigation.

Key words: Entre Ríos, GIS, Salto Chico Formation.

INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Entre Ríos la fuente de agua para riego proviene principalmente de perforaciones que explotan la Formación Salto Chico. No se contaba con información sobre la ubicación de las mismas, las que están en explotación y las que participan en la rotación agrícola de los cultivos. Se estima que se encuentran aptas para el uso alrededor de 2500 a 3000 perforaciones ubicadas en los departamentos Gualeguaychú, Uruguay, Colón, Villaguay, San Salvador, Federal y Concordia, Figura 1.

La superficie irrigada de arroz en las últimas siete campañas a partir de agua subterránea oscila entre 28700 has en 02/03 y 44736 has en 00/01, estabilizándose en los últimos años en valores cercanos a las 40.000 has. Por lo que entre 440 y casi 700 perforaciones están funcionando con caudales medios de 364 m³/hora. Debe señalarse que en la campaña 98/99 la superficie irrigada a partir de perforaciones alcanzó las 130.000 has, valores que no han vuelto a repetirse debido a condiciones especiales de mercado.

La superficie irrigada en la campaña 2004/05 a partir de agua subterránea fué de 38.449 has, Carniel (inérito) implicando extracciones anuales de 460 Hm³, equivalente a un caudal continuo de 55 m³/seg, a lo largo de 100 días continuos de bombeo. Si tenemos en cuenta que el principal curso interior de la provincia, el Río Gualeguay, tiene un módulo de 128 m³/seg, se puede valorar a las exigencias a las que es sometida el sistema hidrogeológico, a las que debe adicionarse las extracciones para consumo humano y de ganado

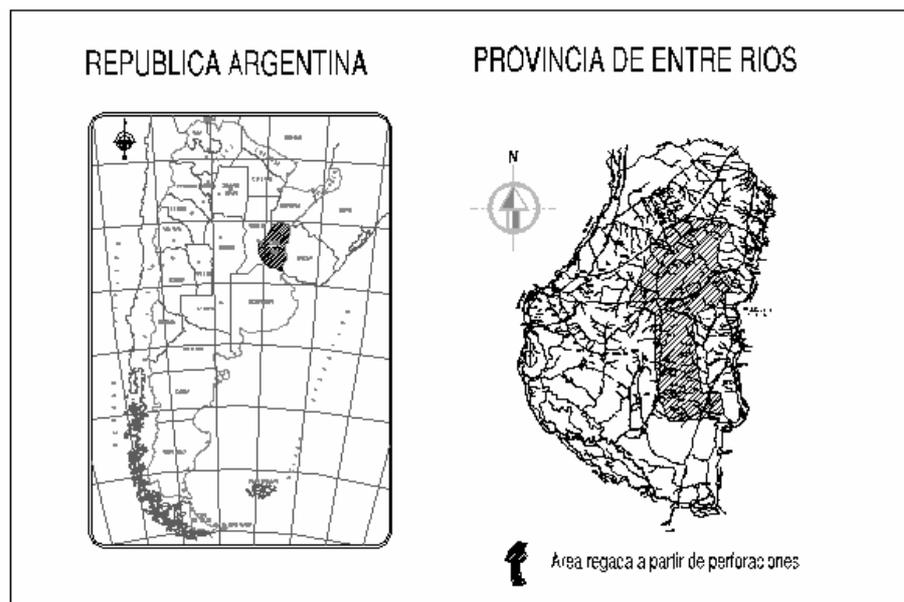


Figura 1. Ubicación del Área arrocerá regada a partir de perforaciones profundas en la provincia de E. Ríos.

Fainstein et al (2003) estimó el volumen total provincial de agua utilizada para la campaña 2000/01 de riego de arroz, con una dotación variable entre 3948 y 7558 m³/ha, totalizando a nivel provincial un volumen de 271.09 Hm³/año.

OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo fue el de caracterizar el sistema de extracción de agua subterránea con destino a riego de arroz en la Provincia de Entre Ríos, mientras que los secundarios fueron:

- Ubicar geográficamente el área arrocería irrigada a partir de perforaciones profundas que son utilizadas para el riego de arroz.
- Generación de un Sistema de Información Geográfica que pueda alimentar en una segunda etapa un modelo matemático hidrogeológico de simulación del funcionamiento del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hidrogeología del Área.

Las unidades hidrogeológicas de interés se desarrollan en los 150 m superiores del perfil, y están contenidas en las formaciones Hernandarias y Salto Chico. La primera, del Pleistoceno, se emplaza por debajo de la cubierta edáfica, contiene al acuífero freático y se emplea para abasto humano en la zona rural y para el ganado. Por su composición arcillosa, es de muy baja productividad y actúa como semiconfinante del acuífero subyacente, contenido en las arenas fluvio-deltaicas de la Formación Salto Chico (Plio-Pleistoceno) el cual se extiende ininterrumpidamente en todo el ámbito estudiado, disponiéndose desde unos 50 m de profundidad (techo) hasta aflorar en la margen del Río Uruguay y cauces de los ríos Gualeguay y Gualeguaychú, según Iriondo y Santi (2000) es un depósito fluvial que se extiende en el sector este de la provincia siguiendo el curso del río Uruguay, abarcando un área que se extiende desde el norte de la provincia de Entre Ríos hasta el departamento Gualeguaychú, está compuesta por arenas cuarzosas, medias a gruesas con algunas fracciones más finas, amarillentas.

Las variaciones del espesor de la Formación Salto Chico se conocen a partir de las perforaciones de explotación que alcanzan el techo de las arcillas verdes de la Formación Paraná, con espesores medios del orden de 60 metros, alcanzado sus máximas profundidades en coincidencia con traza del Río Gualeguaychú, donde se han encontrado los máximos caudales ($Q = 598 \text{ m}^3/\text{hora}$, en Colonia San Miguel al norte de Villa Elisa) y del registro de sondeos mediante testificación geofísica como son los de las perforaciones termales de Villa Elisa y Villaguay, en ésta última el techo de la Fm. Salto Chico comienza a los 36 metros bajo boca de pozo y se extiende con intercalaciones arcillosas hasta los 131 metros de profundidad.

El sistema porta agua de excelente calidad para los usos corrientes, con un promedio de Residuo Seco de 500 mg/L sus parámetros hidráulicos medios son transmisividad 2.500 m²/día, permeabilidad 60 m/día, coeficiente de almacenamiento $S = 5.10^{-4}$, porosidad efectiva $p_e = 20\%$, transmisividad vertical del acuitardo $T_v = 5.10^{-4} \text{ d}^{-1}$ (Auge y Santi, 2002 y Santi, 2006).

Por debajo de una secuencia basáltica cretácica, desde unos 800 a 1.000 m de profundidad, se desarrolla el Acuífero Guaraní, contenido en areniscas eolo-fluviales del Triásico – Jurásico, que ocupa alrededor de

1.200.000 km², en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (Fili et al, 1998), constituyendo la reserva de agua subterránea dulce (40.000 a 50.000 km³) más importante del planeta (Montaño et al, 1999).

El Acuífero Guaraní se capta mediante perforaciones profundas, del orden de 1.000 m, y se lo emplea para balneoterapia en Federación, Chajarí, Concordia, Villa Elisa, San José, y Colón, entre otras.

La Tabla 1 presenta la estratigrafía e hidrogeología regional de sector oriental de la Provincia de Entre Ríos tomado de Fili et al (1994).

FORMACIÓN	LITOLÓGIA - HIDROGEOLOGÍA
Hernandarias (Pleistoceno)	Limos calcáreos – arcillas arenosas. Acuitardo
Salto Chico (Plioceno Superior)	Arenas medianas, gravas intercaladas. Arcillas. Acuífero de alto rendimiento. Agua de baja salinidad
Fray Bentos (Oligoceno inferior a medio)	Areniscas y limos calcáreos. Acuitardo con arenas acuíferas intercaladas de baja potencia y bajo rendimiento. Salinidad mediana
Pay Ubre (Cretácico Superior)	Areniscas calcáreas y calcareo arenosas, parcialmente salificadas. Acuitardo
Puerto Yerua (Cretácico Superior)	Arenas y areniscas conglomerádicas Acuífero
Serra Peral (Cretácico Inferior)	Basaltos en superficie Acuífero en fisuras a acuífugo
Botucatú / Tacuarembó / Misiones S.A.G. (Triásico Superior)	Areniscas eólicas cuarzosas. Granos redondeados. Rojizas. Acuíferas.

Tabla 1. Estratigrafía e Hidrogeología Regional del Sector Oriental de Entre Ríos.

Sistema de Información Geográfica

Se generaron cartas - imágenes de apoyo al trabajo de campo utilizando las capas poligonales y las bases de datos del área ocupada por el cultivo de arroz en las cinco campañas previas a la 2004/2005, imágenes satelitales LandSat 7 ETM 225-81, 225-82, 225-83, 226-81, 226-82, que incluyen el área arrocería de la Provincia irrigada a partir de perforaciones.

Mediante los software Map Source y Waypoint+ se descargaron los puntos y rutas tomadas con un navegador Garmin esta información se exportó al programa Arcview 3.2 para obtener las capas temáticas de los puntos y rutas recolectadas, realizándose previamente una conversión al sistema de proyección Gauss Krugger faja 5. Se confeccionó además una base de datos vinculada a la capa de puntos que representan la geolocalización de los pozos para riego de arroz, con los siguientes campos; número de orden de GPS, tipo de bomba, combustible, transmisión, marca del motor, modelo del motor, potencia, profundidad de la perforación, longitud de filtros, ocupación agrícola en la campaña (arroz, otro uso agrícola), hectáreas bajo riego, muestreo de agua con destino a análisis de laboratorio, propietario, cuenca superficial, subcuenca superficial, observaciones y fotos digitales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración de una Base de datos vinculada

Se integró en una base de datos los siguientes campos; número de orden de GPS, tipo de bomba, combustible, transmisión, marca del motor, modelo del motor, potencia, profundidad de la perforación, longitud de filtros, ocupación agrícola en la campaña (arroz, otro uso agrícola), hectáreas bajo riego, muestreo de agua con destino a análisis de laboratorio, propietario, cuenca superficial, subcuenca superficial, observaciones, fotos digitales, valores medidos en campo de pH y Conductividad Eléctrica.

Relevamiento de perforaciones

El relevamiento de los pozos consistió en la determinación de su ubicación geográfica mediante GPS de 725 pozos registrados de los cuales el 22 % no estaban en funcionamiento, Figura 2.

Asimismo se han relevado los lotes irrigados en las diferentes campañas, mediante el tratamiento de imágenes satelitales, de los suelos y se han adicionado al sistema de información geográfica la ubicación de 59 perforaciones a las que se realizaron ensayos de caudales y niveles estáticos medidos, como así también la hidroquímica de 229 muestras de agua extraídas en el relevamiento y analizadas.

Los valores de caudales aforados en las perforaciones oscilan entre 165 y 588 m³/hora con un valor medio de 369 m³/hora, los consumos de combustible líquido entre 10.2 y 33.6 litros/hora, y de 45 a 90 Kwh en los motores eléctricos, la conversión de litros de combustible a m³ de agua extraída varía entre 12.2 y 21.5 m³ de agua/litro de combustible, Díaz et al (2006).

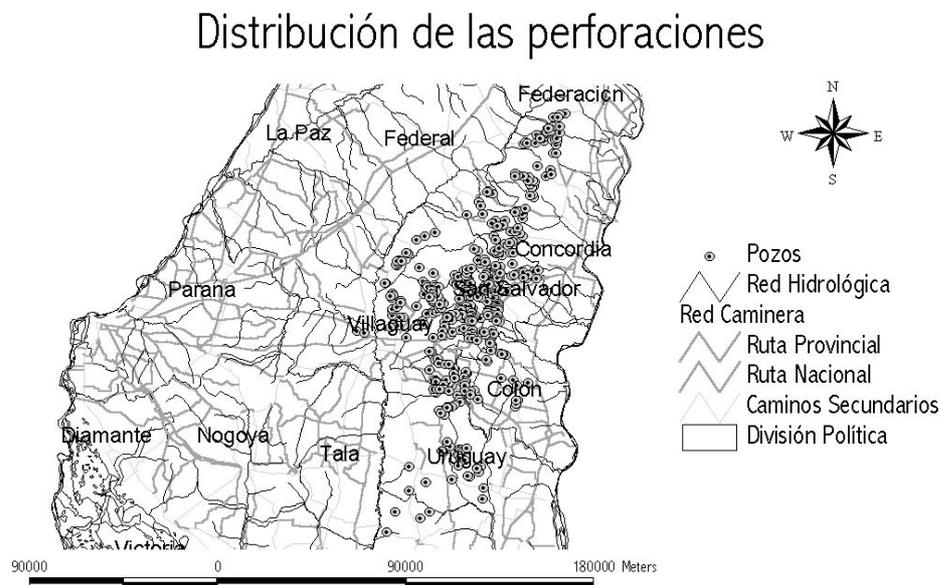


Figura 2. Ubicación de las perforaciones relevadas.

Sistema de Información Geográfica

La capa temática con la ubicación de las perforaciones relevadas en la zona arrocera fue incluida en un sistema de información geográfica, dentro del cual es posible establecer múltiples relaciones con otras capas temáticas existentes, como red caminera, red hidrológica, red de energía eléctrica, cuencas, subcuencas, poblados, suelos, entre otros, Figura 3.

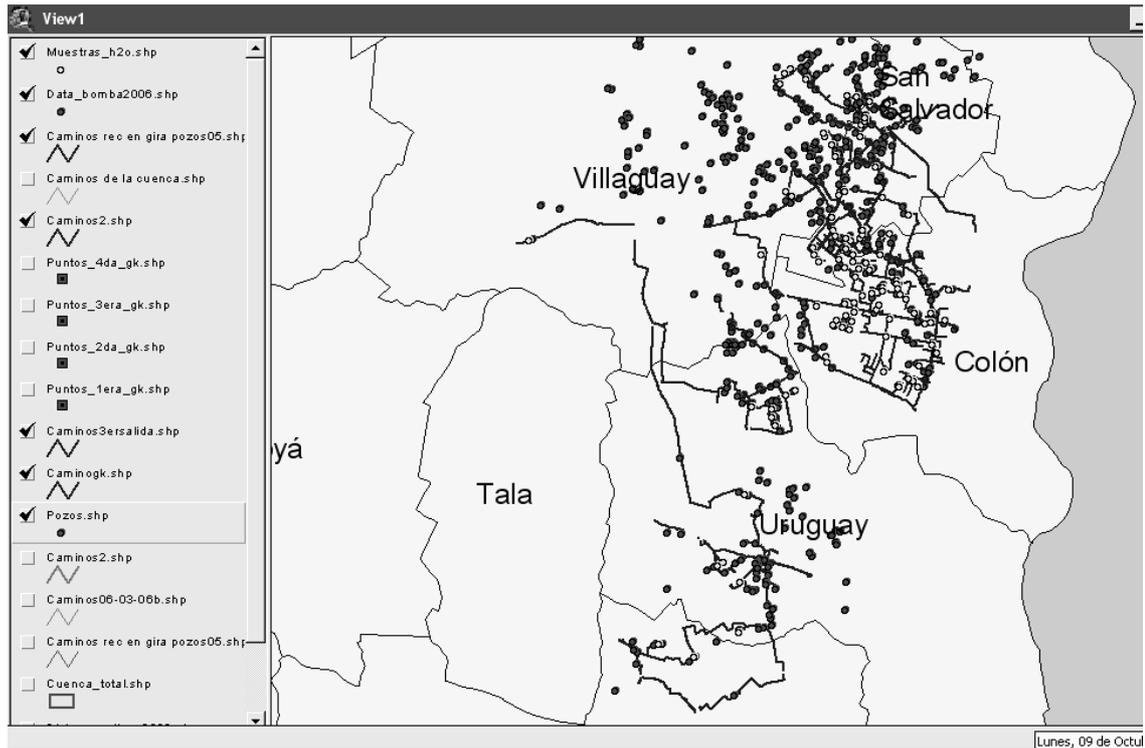


Figura 3. Geolocalización del área de estudio y puntos GPS de muestreo.

CONCLUSIONES

Las extracciones de agua subterránea y por ende el mayor número de perforaciones con destino al riego de arroz se concentran en el área delimitada por las localidades de General Campos, San Salvador, Villaguay y Villa Elisa.

Existe un importante potencial de riego instalado en la provincia de Entre Ríos, actualmente fuera de uso debido a la disminución del área arrocera irrigada reemplazada por otros cultivos (soja, maíz, entre otros).

El Sistema de Información Geográfica generado permitirá a la autoridad de aplicación determinar las áreas de inversiones de los nuevos sistemas de líneas eléctricas de media y alta tensión, que trabajan en la reconversión energética del sistema de bombeo basado en arroz.

La información recopilada, en conjunto con las determinaciones de caudales y eficiencia de bombeo (Mendieta op cit), permitirá alimentar un modelo matemático del funcionamiento hidrogeológico de la Formación Salto Chico y permitirá a las autoridades de aplicación regular su uso y conservación.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación PROARROZ y a la Fundación Banco Río que financiaron la investigación.

REFERENCIAS

- AUGE, M. Y M. SANTI (2002).** “Disponibilidad de agua subterránea para la producción arroceras de la Provincia de Entre Ríos”. Convenio provincia de Entre Ríos – CFI. Inédito: 1-53. 11 mapas, 30 tablas, 63 figuras. Buenos Aires.
- CARÑEL, G.E. Y E.C. ROMERO. (2003).** Uso de agua para cultivo de arroz (2000-2003 Provincia de Entre Ríos) mediante Teledetección y SIG. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Septiembre de 2003. Rosario. Argentina. pp 41-47.
- DÍAZ, E.; DUARTE, O.; MENDIETA, M.; VALENTI, R.; FONTANINI, P.; NOIR, J., BARRAL, G., POZZOLO, G. Y L. LENZI (2006).** “Eficiencia de conversión de energía de bombeo en agua en el riego del arroz en Entr Ríos”. En el libro: “El riego de arroz por perforaciones profundas. Su reconversión energética en Entre Ríos”. Editado por la UNER. 57-63.
- FAISNTEIN, G.; DÍAZ, E. Y O. DUARTE. (2003).** «Estimación del uso de agua subterránea en el cultivo del arroz. Provincia de Entre Ríos». III Congreso Nacional de Hidrogeología y I Encuentros Hispano - Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Organizado por ALSHUD-AIH. Rosario.
- FILI, M.; TOMAS, M.; TUJCHNEIDER, O.; BERTOLINI, J.; BONESSA, C.; SANTI, M Y M. PEREZ (1987).** “Geohidrología de la Hoja 3160-30 San Salvador, Provincia de Entre Ríos”. Capitulo IV: Aguas Subterráneas: Hidrogeología, Hidrodinámica e Hidráulica del acuífero. Convenio provincia de Entre Ríos – Universidad Nacional del Litoral. Publicado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Entre Ríos.
- FILÍ M. F; TUJCHNEIDER O. C; PEREZ M. Y M. PARIS. (1994).** “Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea”. Universidad Nacional de Mar del Plata y Consejo Federal de Inversiones. Página: 299-313
- FILÍ, M. F. (1998).** “Consideraciones acerca del uso sustentable del agua subterránea tomando como caso de análisis a la Provincia de Entre Ríos”. En: “Agua problemática regional”. Enfoques y Perspectivas en el aprovechamiento de recursos hídricos. EUDEBA. Buenos Aires.
- PROARROZ (2001).** “Encuesta de origen del agua de riego de arroz. Campaña 2000-2001”. Fundación Proarroz. Información Técnica. Reunión del 11 de Marzo de 2001. INTA C. del Uruguay.
- FAINSTEIN, G.A.; DÍAZ, E.L. Y O.C. DUARTE. (2003)** “Estimación del uso de agua subterránea en el cultivo del arroz. Provincia de Entre Ríos”. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Setiembre de 2003. Rosario. Argentina. Pp 31-40.
- IRIONDO, M. Y M. SANTI (2002).** “La Formación Salto Chico en el subsuelo de Entre Ríos”. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología. VIII Reunión Argentina de Sedimentología. Resúmenes: 91.
- MENDIETA, M. (2000).** “Caracterización de sistemas de extracción de aguas subterráneas en zonas

arroceras”. Trabajo final de graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos. 85 pp. Inédito.

MENDIETA, M.; DÍAZ, E.L; DUARTE, O.C. Y G. BARRAL (2003). “Evaluación de los sistemas de extracción de agua subterránea con destino a riego del arroz en la Provincia de Entre Ríos”. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Setiembre de 2003. Rosario. Argentina. Pp 21-29.

MONTAÑO, J.; TUJCHNEIDER, O.; AUGE, M.; FILL, M.; D’ELIA, M.; PÉREZ, M.; NAGY, I.; COLLAZO, P. Y PDECOUD (1998). “Acuíferos regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo Argentino y Uruguayo”. Dpto Publicaciones de la Secretaría de Extensión de la UNL. 216 páginas.

SANTI, M. (2006). “Hidrogeología de la zona arrocera núcleo”. En el libro: “El riego de arroz por perforaciones profundas. Su reconversión energética en Entre Ríos”. Editado por la UNER. 15-18

TUJCHNEIDER, O.C. (2006). “Bosquejo Geológico del área arrocera”. En el Libro: “El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos”. Editado por la UNER y la UNL. 113-123.

TUJCHNEIDER, O., PEREZ, M.; D’ELÍA, M. y M. PARIS. (2006). “Recursos Hídricos Subterráneos”. En el Libro: “El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos”. Editado por la UNER y la UNL. 125-136.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA FORMACIÓN SALTO CHICO. HIDROQUÍMICA Y APTITUD EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

E. Díaz, O. Duarte, E. Romero y R. Valenti
Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER
CC 24. Correo Central (3100) Paraná.
ediaz@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

La zona estudiada se ubica en el sector oriental, entre los ríos Uruguay al este y Gualeguay al oeste, involucrando a los departamentos Federal y Federación, en el norte; Concordia, San Salvador y Villaguay, en el centro y; Colón y Uruguay, en el sur de la provincia de Entre Ríos.

A partir del relevamiento de información de la red hidrológica de perforaciones efectuado en la zona arrocerá centro-sur, donde la extracción de agua corresponde al acuífero subterráneo "Salto Chico", de la provincia de Entre Ríos durante las campañas 2004/05 y 2005/06, se obtuvieron 330 muestras de agua, a las cuales se le realizó análisis físico-químico y se les determinó: pH, Conductividad Eléctrica, Cationes (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) y Aniones (Cl^- , CO_3^{-2} , CO_3H^-).

En lo que hace a su aptitud para el riego se calcularon y discutieron las directrices usadas en la definición de la calidad del agua (RAS, RAS ajustado, pH, C.E, P.S.S., y C.S.R) Las aguas analizadas presentan cierto riesgo de sodificación, el RAS ajustado oscilan entre 4,1 y 18,1, mientras que la salinidad es moderada hallando en el 69 % de las muestras con valores entre 250 y 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y solo un 30 % que superan los 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Finalmente se elaboró una Base de Datos vinculada a mapas interactivos, tablas e imágenes que permitió la confección de un sistema de información geográfica referida a la calidad físico-química del agua de origen subterráneo destinada al riego y a la aplicación de agroquímicos que constituye una interesante herramienta en la toma de decisiones de los sistemas agropecuarios en la región arrocerá tradicional de la provincia de Entre Ríos.

Palabras claves: Salto Chico, hidroquímica, riego, agroquímicos.

ABSTRACT

The research area includes the east sector of Entre Ríos Province, between the Uruguay and Gualeguay rivers, including the Federal, Federación, Concordia, San Salvador, Villaguay, Colón and Uruguay departments.

330 groundwater samples were collected and physical and chemical analysis were determined.

The irrigation aptitud was determined, taken account the electrical conductivity and sodiun absortion relation (SAR).

A data base was elaborated linked with interactive maps, tables and images, producing a geographycal information system, a very interested tool to be used in the planification of the publics decisition in th traditional rice irrigation area in the Entre Rios Province.

Keywords: Salto Chico, hydrochemistry, irrigation, agrichemicals.

INTRODUCCIÓN

Se busca caracterizar el recurso agua subterránea con destino a riego, tratando de lograr, con su uso, la sustentabilidad en el tiempo de los sistema de producción agrícola -ganadera.

El agua en esta actividad es un recurso a veces limitante, Ayers et al (1987). Su importancia es tal que se transforma en un factor clave en todas las actividades relacionadas con el riego.

Ante la necesidad de riego en el cultivo de arroz, de vital importancia en la Provincia de Entre Ríos, resulta fundamental conocer la calidad del agua subterránea, sus orígenes y su aptitud para los usos consuntivos como el riego de arroz.

La hidrogeología del área ha sido descripta por Fili et al (1994), Santi et al (1995), Santi y Casas (1998) y Tujchneider (2006). Las aguas subterráneas que se explotan con destino al riego de arroz se extraen de la Formación Acuífera “Salto Chico”, la que se caracteriza por su alta calidad físico química con destino al uso humano y ganadero, y los elevados caudales que entregan las perforaciones. Los recursos hídricos subterráneos han sido analizados por Tujchneider et al (2006).

Fili et al (1987) en el informe hidrogeológico de la Hoja “San Salvador” realizaron el primer análisis de la calidad físico química de las aguas destinadas al riego en esta zona de Entre Ríos.

OBJETIVOS

El presenta trabajo tiene como objetivo las caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas de la zona núcleo arroceras mediante el uso de los indicadores habituales de riego de conductividad eléctrica, Relación Adsorción Sodio, y la determinación de los índices hidrogeológicos de relaciones de iones claves en la composición del agua subterránea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las tareas fueron realizadas mediante un subsidio realizado por la Fundación Proarroz para el relevamiento de perforaciones arroceras a la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

La Figura 1 muestra el plano de ubicación de las perforaciones en actividad en las campañas arroceras, que fueron censadas y en donde se colectaron las muestras de aguas. Para el muestreo se utilizaron envases convenientemente rotulados y de acuerdo a las normas de envasado y transporte. Las mismas fueron referenciadas mediante GPS Navegador Garmin Etrex y convertidos al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar mediante un software adecuado.

Las muestras convenientemente almacenadas y transportadas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos

de la Facultad de Ciencias Agropecuarias donde se le practicaron los análisis de rutina de aniones y cationes y determinaciones específicas:

- Calcio y Magnesio
- Sodio
- Carbonatos y Bicarbonatos
- Cloruros
- pH
- Conductividad eléctrica

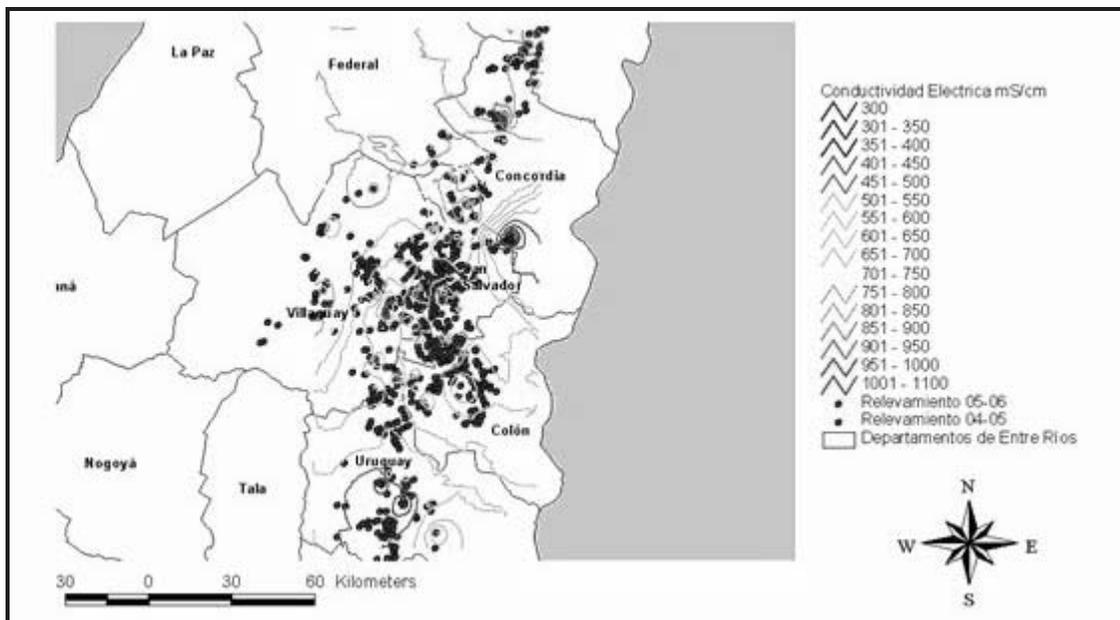


Figura 1. Ubicación de las perforaciones muestreadas.

Posteriormente en gabinete se calcularon los índices para determinar su aptitud para el riego e indicadores hidrogeológicos.

Para evaluar la calidad del agua subterránea destinada a la aplicación de agroquímicos se calcularon y discutieron los índices propuestos por Rodríguez et al, (2000): total de sólidos disueltos (C.E), dureza del agua, pH y concentración de bicarbonatos en la solución.

Hidrogeología del Área.

Las hidrogeológicas de interés en el área se desarrollan en los 150 m superiores del perfil, y están contenidas en las formaciones Hernandarias y Salto Chico. La primera, del Pleistoceno, se emplaza por debajo de la cubierta edáfica, contiene al acuífero freático y se emplea para abasto humano en la zona rural y para el ganado. Por su composición arcillosa, es de muy baja productividad y actúa como semiconfinante del acuífero subyacente, contenido en las arenas fluvio-deltaicas de la Formación Salto Chico (Plio-Pleistoceno) el cual

se extiende ininterrumpidamente en todo el ámbito estudiado, disponiéndose desde unos 50 m de profundidad (techo) hasta aflorar en la margen del Río Uruguay y cauces de los ríos Gualeguay y Gualeguaychú, según Iriondo y Santi (2000) es un depósito fluvial que se extiende en el sector este de la provincia siguiendo el curso del río Uruguay, abarcando un área que se extiende desde el norte de la provincia de Entre Ríos hasta el departamento Gualeguaychú, está compuesta por arenas cuarzosas, medias a gruesas con algunas fracciones más finas, amarillentas.

Las variaciones del espesor de la Formación Salto Chico se conocen a partir de las perforaciones de explotación que alcanzan el techo de las arcillas verdes de la Formación Paraná, con espesores medios del orden de 60 metros, alcanzado sus máximas profundidades en coincidencia con traza del Río Gualeguaychú, donde se han encontrado los máximos caudales ($Q = 598 \text{ m}^3/\text{hora}$, en Colonia San Miguel al norte de Villa Elisa) y del registro de sondeos mediante testificación geofísica como son los de las perforaciones termales de Villa Elisa y Villaguay, en ésta última el techo de la Fm. Salto Chico comienza a los 36 metros bajo boca de pozo y se extiende con intercalaciones arcillosas hasta los 131 metros de profundidad.

El sistema porta agua de excelente calidad para los usos corrientes, con un promedio de Residuo Seco de 500 mg/L sus parámetros hidráulicos medios son transmisividad 2.500 m²/día, permeabilidad 60 m/día, coeficiente de almacenamiento $S = 5.10^{-4}$, porosidad efectiva $p_e = 20\%$, transmisividad vertical del acuitardo $T_v = 5.10^{-4} \text{ d}^{-1}$ (Auge y Santi, 2002 y Santi, 2006).

La Tabla 1 presenta la estratigrafía e hidrogeología regional de sector oriental de la Provincia de Entre Ríos tomado de Fili et al (1994).

FORMACIÓN	LITOLOGÍA - HIDROGEOLOGÍA
Hernandarias (Pleistoceno)	Limos calcáreos – arcillas arenosas. Acuitardo
Salto Chico (Plioceno Superior)	Arenas medianas, gravas intercaladas. Arcillas. Acuífero de alto rendimiento. Agua de baja salinidad
Fray Bentos (Oligoceno inferior a medio)	Areniscas y limos calcáreos. Acuitardo con arenas acuíferas intercaladas de baja potencia y bajo rendimiento. Salinidad mediana

Tabla 1. Estratigrafía e Hidrogeología Regional del Sector Oriental de Entre Ríos.

RESULTADOS

Las aguas analizadas presentan riesgo de sodificación, el RAS ajustado oscilan entre 4,1 y 18,1, mientras que la salinidad es moderada hallando en el 69 % de las muestras con valores entre 250 y 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y solo un 30 % que superan los 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La Figura 2 presenta la representación en el Diagrama de Riverside (USDA, 1954), que relaciona la conductividad eléctrica del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y la relación adsorción sodio ($\text{meq/l}^{1/2}$), las aguas se clasifican como de mediano a alto riesgo de salinización y de bajo a medio riesgo de sodificación.

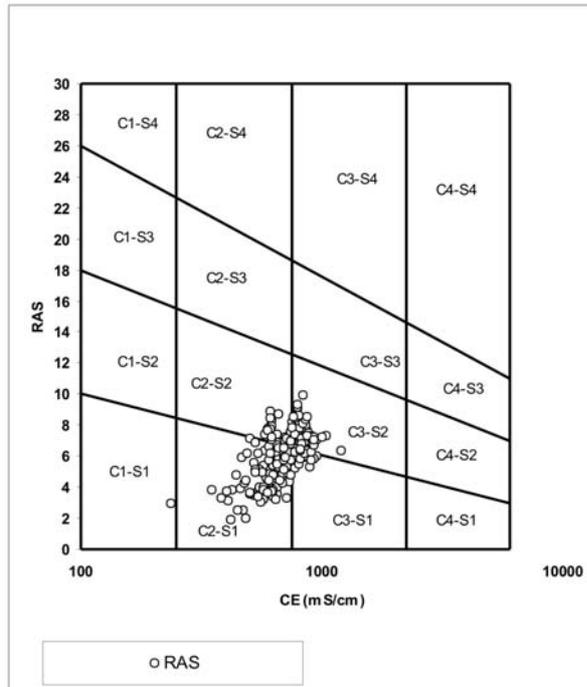


Figura 2. Diagrama de Riverside de las muestras analizadas.

La Figura 3 presenta el histograma de frecuencias y de frecuencias acumuladas de las conductividades eléctricas del total de muestras analizadas.

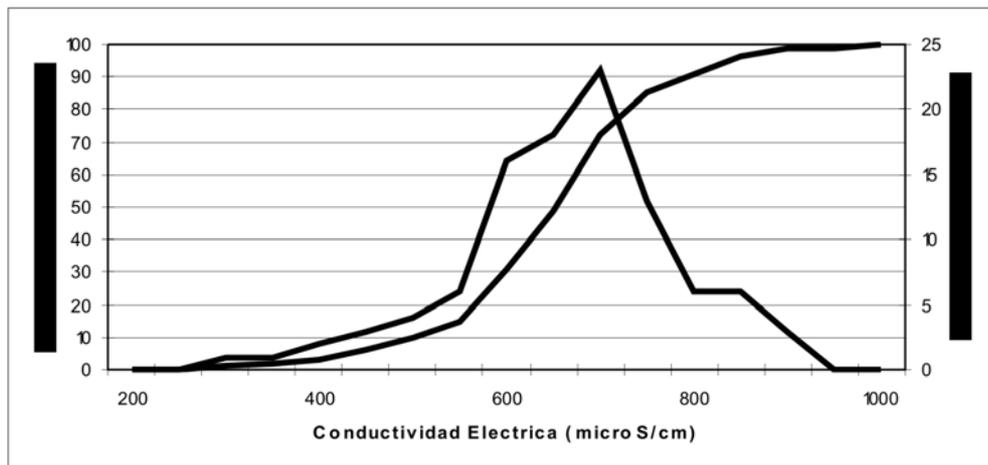


Figura 3. Histograma de frecuencias de la CE de las muestras analizadas.

La Tabla 1 presenta el análisis estadístico de las relaciones hidrogeológicas, Custodio et al (1982), determinadas a partir de los análisis físico químicos realizados a las 330 muestras de aguas subterráneas.

Tabla 1. Estadísticos de las relaciones hidrogeológicas.

Parámetro	Relaciones	
	rCl/HCO ₃	r Mg/Ca
Máximo	0.56	2.94
Mínimo	0.13	-0.03
Medio	0.26	0.57

La relación rCl/HCO₃ oscila entre 0.13 y 0.56 con valores medios de 0.26, es un claro indicador de que las aguas no presentan síntomas de intrusión marina, siendo su valor medio un indicador de aguas de origen continental.

El índice r Mg/Ca oscila entre valores de -0.03 a 2.94, los menores valores están asociados a aguas de orígenes continentales, los mayores valores a aguas influenciadas por mezclas con origen marino, debido a que el agua de mar tiene una relación r Mg/Ca alrededor de 5, las aguas que circulan por terrenos de formación marina o que han sufrido mezcla con agua de mar también tienen una relación elevada (Custodio et al, op cit), el valor promedio de 0.57 se asocia a aguas de orígenes continentales.

En función de los resultados hallados las aguas subterráneas obtenidas de perforaciones profundas para riego de arroz, presentan restricciones que pueden perjudicar la eficacia de acción de agroquímicos. Las aguas se distinguen como de dureza moderada (74%) y dura (15%), los valores de pH se encuentran entre 7 y 8,3 y el 70% de las aguas analizadas presentan valores superiores a 300 mg/l de bicarbonato.

CONCLUSIONES

Las aguas subterráneas de la zona se clasifican como Bicarbonatadas Sódicas y Cloruradas Sódicas, los valores de los parámetros de Conductividad Eléctrica y RAS indican que poseen aptitud para el riego complementario de acuerdo a las normas del USDA-USSL (op cit).

Teniendo en cuenta lo expresado por Fili (1998) sobre el uso sustentable de los recursos hídricos subterráneos de la provincia de Entre Ríos, entendemos que el presente trabajo y el de Romero et al (2007) son elementos de juicio para la Autoridad de Aplicación del manejo sustentable de esta importante fuente de agua subterránea como es la Formación Salto Chico.

La Conductividad Eléctrica disminuye hacia el sur oeste del área investigada la misma se encuentra en valores mínimos de 450 μ S/cm, aumentando gradualmente hacia el norte, llegando a superar los 950 μ S/cm en coincidencia con la traza del Río Gualeguaychú y sus afluentes se encuentran curvas cerradas de baja conductividad eléctrica (indicadores de recarga local). En la zona Nor Este cercano a la localidad de Arroyo Barú se encuentran los valores más bajos (350 μ S/cm), lo que plantea la existencia de una zona de recarga y alta relación con el ciclo externo.

Finalmente el RAS presenta valores crecientes desde el extremo sur hacia el norte, con curvas cerradas de valores mínimos en coincidencia con la cuenca del Río Gualeguaychú y sus afluentes.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación PROARROZ y a la Fundación Banco Río que financiaron la investigación.

REFERENCIAS

- AUGE, M. Y M. SANTI (2002).** “Disponibilidad de agua subterránea para la producción arroceras de la Provincia de Entre Ríos”. Convenio provincia de Entre Ríos – CFI. Inédito: 1-53. 11 mapas, 30 tablas, 63 figuras. Buenos Aires.
- AYERS, R.S. Y WESCOT (1987).** “La calidad del agua en la agricultura”. Estudio FAO : Riego y Drenaje. 85 p. Roma.
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. (1983).** “Hidrología Subterránea”. Tomos I y II. Segunda Edición. Editorial Omega.
- FILL, M.; TOMAS, M.; TUJCHNEIDER, O.; BERTOLINI, J.; BONESSA, C.; SANTI, M.Y.M. PEREZ (1987).** “Geohidrología de la Hoja 3160-30 San Salvador, Provincia de Entre Ríos”. Capítulo IV: Aguas Subterráneas: Hidrogeología, Hidrodinámica e Hidráulica del acuífero. Convenio provincia de Entre Ríos – Universidad Nacional del Litoral. Publicado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Entre Ríos.
- FILÍ M. F; TUJCHNEIDER O. C; PEREZ M. Y M. PARIS. (1994).** “Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea”. Universidad Nacional de Mar del Plata y Consejo Federal de Inversiones. Página: 299-313.
- FILÍ, M. F. (1998).** “Consideraciones acerca del uso sustentable del agua subterránea tomando como caso de análisis a la Provincia de Entre Ríos”. En: “Agua problemática regional”. Enfoques y Perspectivas en el aprovechamiento de recursos hídricos. EUDEBA. Buenos Aires.
- IRONDO, M. Y M. SANTI (2002).** “La Formación Salto Chico en el subsuelo de Entre Ríos”. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología. VIII Reunión Argentina de Sedimentología. Resúmenes: 91.
- RODRÍGUEZ, N. M. y G. COVAS (2000).** “Calidad de Agua y Agroquímicos”. INTA E.E.A Anguil. 24 páginas.
- SANTI, M.; COSTA, H.; LELL, R. Y MARTINEZ, J. (1995).** “Estudio de Aguas Subterráneas. Etapa I”. Tomos I, II, III y IV. Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de la Provincia de Entre Ríos.CFI. Inédito.
- SANTI, M. y E. CASA (1998).** “Estudio de Aguas Subterráneas. Etapa II”. Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de la Provincia de Entre Ríos. CFI. Inédito.
- SANTI, M. (2006).** “Hidrogeología de la zona arroceras núcleo”. En el libro: “El riego de arroz por perforaciones profundas. Su reconversión energética en Entre Ríos”. Editado por la UNER. 15-18
- TUJCHNEIDER, O.C. (2006).** “Bosquejo Geológico del área arroceras”. En el Libro: “El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos”. Editado por la UNER y la UNL. 113-123.
- TUJCHNEIDER, O., PEREZ, M.; D’ELÍA, M. y M. PARIS. (2006).** “Recursos Hídricos Subterráneos”. En el Libro: “El arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos”. Editado por la UNER y la UNL. 125-136.
- USSL - USDA (1954).** “Diagnosis and improvement of saline and alkali soils”. USDA Handbook N° 60. US Salinity Lab. Riverside.

USO CONJUNTO DE HERRAMIENTAS PARA LA DETECCIÓN DE AGUA DULCE. DEPARTAMENTO VERA, SANTA FE, ARGENTINA.

Delgadino, Carlos Daniel

Dirección de Estudios y Proyectos de Saneamiento

Subsecretaría de Infraestructura - Ministerio de Asuntos Hídricos

Gobierno de la Provincia de Santa Fe

Dirección Postal: Avenida General López 3074 - (3000) Santa Fe - Argentina

Teléfono: +54 - (0342) 4573030

E-Mail: cdelgadino@yahoo.com

RESUMEN

El departamento Vera ubicado en el norte de la provincia de Santa Fe, Argentina, presenta contrastes en sus ambientes geológicos coexistentes que hacen que el agua alojada en algunos de ellos presente contenidos de sólidos totales disueltos y oligoelementos que exceden los límites obligatorios establecidos en la normativa provincial. Es por ello, que interesa detectar aquellos ambientes saturados en los cuales el agua subterránea presente una calidad relativamente aceptable. En este trabajo se exponen los resultados alcanzados al usar, de manera conjunta, un sistema de información geográfica y prospección geofísica, para la detección de estos sitios. El primero fue capaz de ofrecer información precisa de la ubicación de estos ambientes, y el segundo determinó el o los sectores que brindan agua subterránea en cantidad y calidad apta para consumo humano. Estas herramientas fueron utilizadas en las localidades de Garabato e Intiyaco, y los resultados obtenidos permitieron dotar, a ambas localidades, de un servicio de agua potable con una aptitud permitida dentro de las normas que establece la mencionada ley provincial.

Palabras claves: SIG, SEVs, agua potable.

ABSTRACT

The geologic features of the sediments underlying Vera Department, Santa Fe province, presents different characteristics. The water bearing formation presents high TDS and oligoelements contents which exceed the limits established in the law. For this reason it is important to detect those saturated environments in which groundwater presents an adequate quality for drinking water. This work put forward the results achieved when using a geographic information system and geophysical surveys together, in order to detect such environments. The former was able to offer accurate information about the environment location. The latter determined the areas which have fresh groundwater. These tools were successfully used at Garabato and Intiyaco towns, allowing supplying them with drinking water.

Keywords: GIS, VESs, drinking water.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de fuentes de agua para consumo humano ha llevado a buscar y/o perfeccionar metodología de investigación con el fin de lograr la meta deseada.

Un óptimo sistema de información geográfica cuya base georeferenciada se apoya en una serie ordenada de imágenes satelitales o fotomosaicos aéreos, permite a ahorrar tiempo y esfuerzo a la hora de la detección de áreas de almacenamiento donde los valores de los sólidos totales disueltos (STD) presentan bajos tenores. Una eficaz campaña de prospección geofísica posterior es capaz de vislumbrar resultados acorde al GIS alcanzado.

OBJETIVO

La meta a lograr fue la ubicación exacta de los ambientes geomorfológicos capaces de brindar agua de una calidad aceptable a las localidades de Garabato e Intiyaco, para lo cual se llevó una campaña de sondeos eléctricos verticales (SEVs), apoyada en la construcción previa de un eficaz sistema de información geográfica.

UBICACIÓN

Las localidades de Garabato e Intiyaco se hallan en el centro norte del departamento Vera, Provincia de Santa Fe sobre la Ruta Provincial N° 3 que une las localidades de Vera, cabecera de este departamento con la de Los Amores, última población limitante con la provincia de Chaco. (Figura 1).

Estas poblaciones distan 315 y 347 kilómetros respectivamente de la ciudad de Santa Fe, capital de la provincia, a las que se accede por la Ruta Nacional N° 11, la que une las ciudades de Santa Fe con la de Vera, para luego empalmar con la Ruta Provincial N° 3.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR DE ESTUDIO

Geomorfológicamente esta área se enmarca dentro del “área plana de Vera”, caracterizada por un relieve totalmente plano. Las grandes depresiones existentes carecen de relieve, solo se advierten formas de “derrames” provocados por cursos de agua, con un direccionamiento noroeste – sureste. En épocas de lluvias, la que se considera como la fuente de recarga regional, se generan grandes bañados con escasa vegetación arbórea.

Particularmente en el área de estudio, la evolución geológica y geomorfológica durante el cuaternario, se encuentra explicada por la existencia de sistemas sedimentarios bien definidos (Iriondo, 1987).

Estas geoformas serían paleocauces, probablemente de las divagaciones ejercidas por el arroyo Golon-

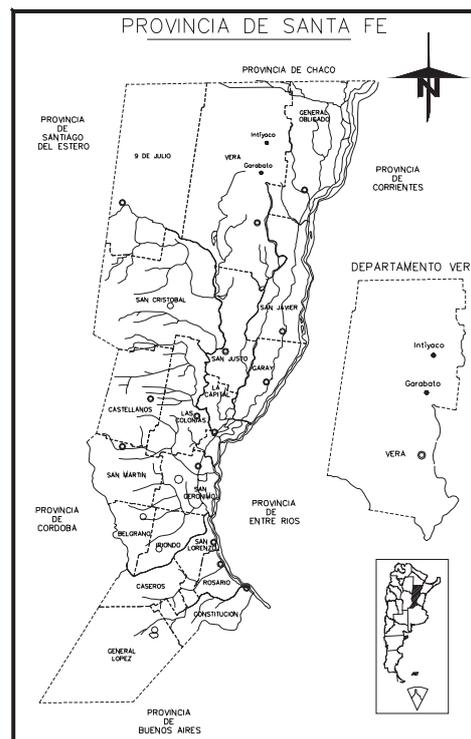


Figura 1. Ubicación de las localidades.

drina, las que poseen una pendiente suave, salvo en los lugares de las lagunas existentes. Asimismo sirven como descarga a las aguas freáticas de la zona y se interconectan, en su trayectoria, con arroyos.

Los sedimentos limosos de una regular permeabilidad predominan en superficie, sobre todo en las partes más elevadas, siendo las arcillas el material que prevalece en estas geoformas. También es posible encontrar espesores acotados de arena dentro de las mismas, relativamente a poca profundidad, con una calidad de agua apropiada para el consumo humano.

Las condiciones geoquímicas son muy variables, pudiéndose encontrar dentro de estas geoformas agua subterránea con valores de STD que oscilan entre los 0.50 a más de 2 gramos/litros según el sector y profundidad que se encuentre. Fuera de este ambiente y en función de la profundidad los valores de STD pueden alcanzar valores superiores a los 20 gramos/litros.

BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS EN LA BÚSQUEDA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información (Delgado, 2004.a).

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada. Puede mostrar la información en capas temáticas para realizar análisis multicriterio complejos.

Sus entradas pueden ser diversas, destacándose la provista por instrumentos de sistemas de posicionamiento geográfico (GPS en su anacrónico inglés), los que se clasifican según su precisión en normales o diferenciales (Delgado, 2004.b)

Necesariamente contará entre sus entradas con una base de imágenes satelitales o fotomosaicos, cuyo marco estará perfectamente georeferenciado dentro de un sistema de coordenadas geográficas definido según el país que se halle. Serán de una precisión acorde a los objetivos a alcanzar en un estudio o proyecto. Para estudios del tipo hidrogeológico, las imágenes a usar serán SPOT, ya que las mismas brindan un mayor grado de detalle de las geoformas que otras tal vez no pueden alcanzar.

Los beneficios de la adecuada construcción de un SIG para la detección en el terreno de agua para consumo humano son múltiples, contándose entre ellas:

- Los SIG por considerarse sistemas versátiles permiten exportar y/o importar a tiempo real parte o la totalidad de su base georeferenciada
- Asimismo mediante el uso de GPS cinemáticos y/o navegadores satelitales según la precisión deseada permiten ubicar las geoformas como así también los puntos sobre el terreno a partir de la información brindada por el SIG.
- No posee limitaciones ni en su construcción como así tampoco en la cantidad de datos incorporados.

La única desventaja es que la construcción del mismo pasaría a segundo plano cuando la presencia de oligoelementos (nitratos, arsénico, fluor, etc.) no conciden con el objetivo del SIG; por lo que es necesario y suficiente alcanzar previamente un adecuado y certero censo hidrogeológico georeferenciado de puntos de agua para lograr la meta.

DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Se desarrolló la siguiente metodología de trabajo para alcanzar el objetivo propuesto:

- Recopilación de información geológica y geomorfológica del área de estudio.
- Construcción de un sistema de información geográfica a partir del ensamble fotográfico de imágenes SPOT a escala 1:100.000, ajustando sus correspondientes coordenadas a la red POSGAR94, reglamentada en Argentina por el Instituto geográfico Militar (I.G.M.) en el año 1997 como Marco de Referencia Geodésico Nacional.
- Reconocimiento de campo, ubicación y selección de los sectores con geoformas propicias para la realización de los estudios.
- Ejecución de los SEVs georeferenciados usando coordenadas geográficas Gauss Kruger, sistema WGS84.
- Interpretación de los resultados de los SEVs en forma cuali – cuantitativas. La misma se realizó en forma automática mediante la aplicación del software IPI2win (Moscow State University, 2003) que construye su correspondiente modelo eléctrico a los datos introducidos de la curva de campo. A través de los mismos se trata de determinar los espesores de las formaciones presentes y asociarlas a zonas de acumulación de agua con mejores posibilidades de explotación.

RESULTADOS ALCANZADOS

Localidad de Garabato:

Siguiendo la metodología descrita precedentemente y en virtud de un estudio de fuentes oportunamente encomendado a la comuna de Garabato (Palazzo, 2002), se confeccionó un SIG usando como base imágenes SPOT perfectamente georeferenciadas para su posterior reconocimiento en campo de estas geoformas.

Se procedió a realizar sobre el predio ubicado a 1500 metros aproximadamente al este a la vera de la Ruta Provincial N° 98-S un total de 86 calicatas distribuidas uniformemente según un cuadrículado impuesto con una equidistancia aproximada de 26 metros, donde cada punto fue georeferenciado. (Figura 2). Si bien los valores de resistividades de campo varían entre 1.736 hasta 10.172 Ohm/m, solamente 39 puntos registraron valores superiores a 6 y 18 superiores a 7 Ohm/m. Los valores de resistividad obtenidos fueron interpolados según se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Vista General.

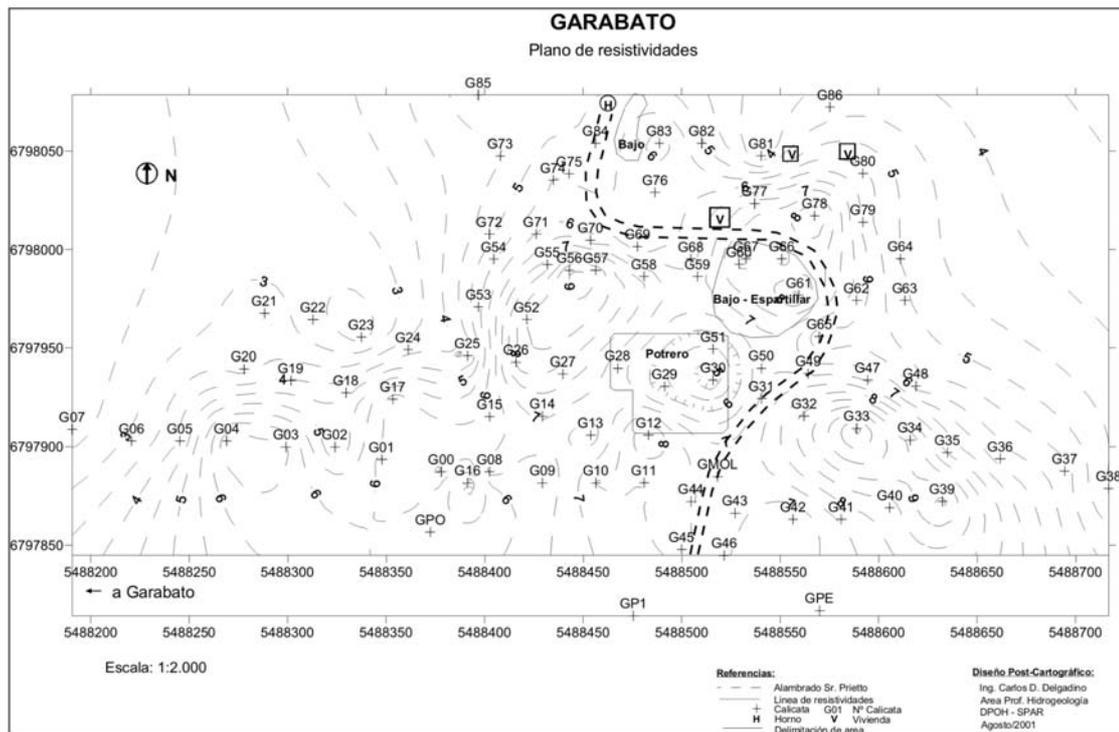


Figura 3. Detalle y plano de resistividades.

Asimismo con un criterio de uniformidad sobre estos 18 puntos últimamente mencionados, se realizaron 6 SEVs (Figura 4). Los puntos seleccionados fueron G33, G39, G45, G52, G57, G78 con valores de resistividades en Ohm/m de 10.172, 9.227, 7.109, 8.13, 8.432, 8.13 respectivamente para una abertura de AB/2 de 13 y de MN de 1.40 metros respectivamente.

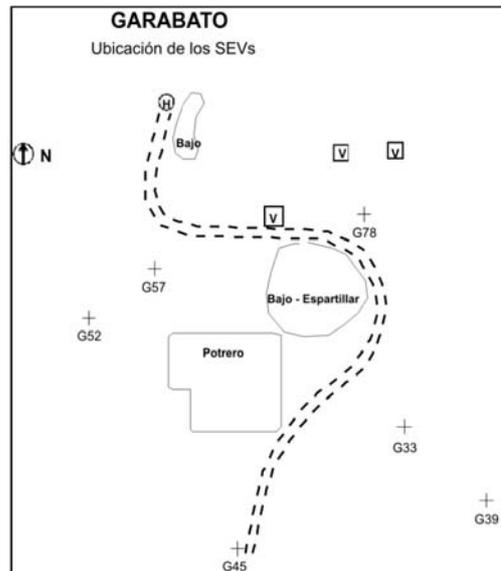


Figura 4. Ubicación de los SEVs.

Se identificaron tres sondeos con curvas del tipo HK (SEVs N° G33, G39 y G45) de cuatro capas, una curva tipo HKQ (SEV N° G52) de cinco capas y dos curvas del tipo QQ (SEVs N° G57 y G78) de 4 y 3 capas respectivamente (Figura 5).

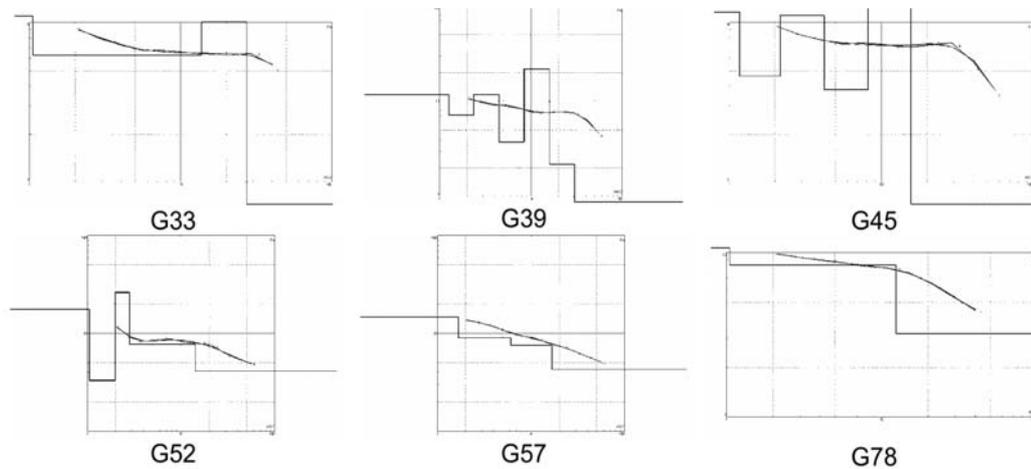


Figura 5. SEVs realizados.

Las curvas correspondientes a los SEVs G33, G39; G45 y G52, comienzan con valores de resistividades moderados, propios de sedimentos finos del tipo limoarcilloso, los que presentan intercalaciones de carbonatos, para luego decrecer levemente la resistividad, retomando un crecimiento paulatino en su última fase, indicando la presencia de un espesor más permeable del tipo arenoso con contenido de agua menos mineralizada, para finalmente descender la curva. Este último tramo visualiza una zona de interfase de agua dulce – salada, ya que por debajo es evidente la presencia de agua más mineralizada.

Las curvas correspondientes a los SEVs G57 y G78 denotan un decrecimiento paulatino a partir de resistividades iniciales superiores para el primer caso y cercano a 10 Ohm/m para el segundo caso.

Con la interpretación de estas curvas, se seleccionaron las áreas y se determinaron las correspondientes profundidades de los pozos de exploración (Figura 6).

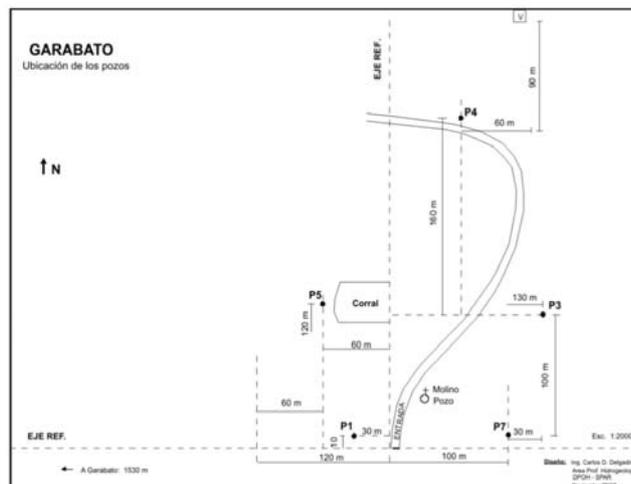


Figura 6. Ubicación de los pozos exploratorios.

El perfil litológico se obtuvo a partir de muestras recolectadas cada metro de profundidad y/o cambio litológico evidente, siendo homogéneo este perfil para la totalidad de los pozos construidos. En general presenta un primer espesor limoarcilloso hasta una profundidad promedio que varía entre los 10 a 12 metros, para luego aparecer la fracción arenosa hasta la profundidad de 15 metros aproximadamente según sea su ubicación, ya que a mayor profundidad denota la presencia de la interfase agua dulce – salada.

Para conocer el comportamiento hidráulico de los pozos, se efectuaron pruebas de funcionamiento, a valores promedio de caudal de 3600 litros/hora por un tiempo de duración de 3600 minutos, nivel estático de 4,00 a 4,20 metros y dinámico de 9,50 a 9,80 metros.

Los resultados de calidad de las muestras de agua al final de la prueba de funcionamiento presentan valores que exceden los límites obligatorios que recomiendan las normas de calidad de agua para consumo humano. Estas normas se encuentran plasmadas en el Anexo A de la Ley N° 11.220, que regula la calidad de agua de bebida para consumo humano en la Provincia de Santa Fe. En general el parámetro Hierro Total se encuentra sobrepasado para la totalidad de las muestras salvo la N° 4, mientras que el valor de arsénico se excede en las muestras N° 1 y 5. (Tabla 1)

Pozo	1	3	4	5	7
Fecha	22/05/2001	24/10/2002	24/10/2002	24/10/2002	24/10/2002
Analisis					
pH	7.3	7.2	7.05	7.05	6.9
Alcalinidad Total CO ₃ Ca mg/l	615	412	534	800	468
Dureza Total CO ₃ Ca mg/l	340	320	380	464	406
Cloruro (Cl-) mg/l	70	38	40	60	40
Sulfato (SO ₄ =) mg/l	24.1	20	37.5	74	59
Hierro Total (Fe) mg/l	2.79	0.36	1.59	5.09	2.28
Amoniaco (NH ₄ ⁺) mg/l	0.37	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Nitrito (NO ₂ -) mg/l	0.007	0.02	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Nitrato (NO ₃ -) mg/l	8.2	1.3	< 1	< 1	2.1
Fluoruro (F-) mg/l	0.05	0.84	0.67	0.46	0.6
Materia Organica (O ₂) mg/l	1.5	1.9	0.8	0.6	1.1
Arsenico (As) mg/l	0.063	0.01	< 0.01	< 0.01	0.059

Tabla 1. Parámetros físicos químicos de las muestras obtenidas.

Localidad de Intiyaco:

Dado el prolongado período de sequía que imperaba en la zona, el que repercutía en la única fuente superficial de agua disponible para consumo humano, el Ministerio de Asuntos Hídricos, a través de su equipo técnico emprendió una ampliación del estudio de fuentes (Palazzo, Delgadino, 2007) dando así respuesta a las necesidades de la población.

El área seleccionada se encuentra inserta dentro de la estancia Las Avispas, ubicada en el Paraje La Florida sobre la Ruta Provincial N° 31 que une las localidades de Intiyaco con Tartagal. El acceso al lugar se encuentra aproximadamente a 5 Km. hacia el sur de la ruta mencionada; y a 8 Km. al oeste de la localidad de Intiyaco.

A tal fin, y conociendo su ubicación; se elaboró un SIG utilizando como base imágenes satelitales SPOT del sector para su posterior reconocimiento en campo de las geoformas existentes (Figura 7). Dentro de los antecedentes, se contó con los protocolos de análisis físicos químicos de los tres pozos calzados pertenecientes al sector de estudio, cuya aptitud físico-química reúne las condiciones para el consumo humano. A si mismo se completó con un estudio de prospección geofísica, donde primeramente se ejecutaron calicatas a fin de definir valores de resistividad deseados con el objeto posterior de realizar sobre los mejores valores obtenidos en el terreno sus correspondientes SEVs. Esto da una aproximación de las condiciones geoelectricas del sector involucrado. Los SEVs y el censo se georeferenciaron al sistema de proyección Gauss-Kruger, utilizando GPS que posteriormente se volcaron al SIG.



Figura 7. Plano de ubicación.

En general se identificaron sondeos con curvas del tipo HK de cinco capas en casi su totalidad (Figura 8), donde el horizonte de interés se halla en la 3° y/o 4° capa.

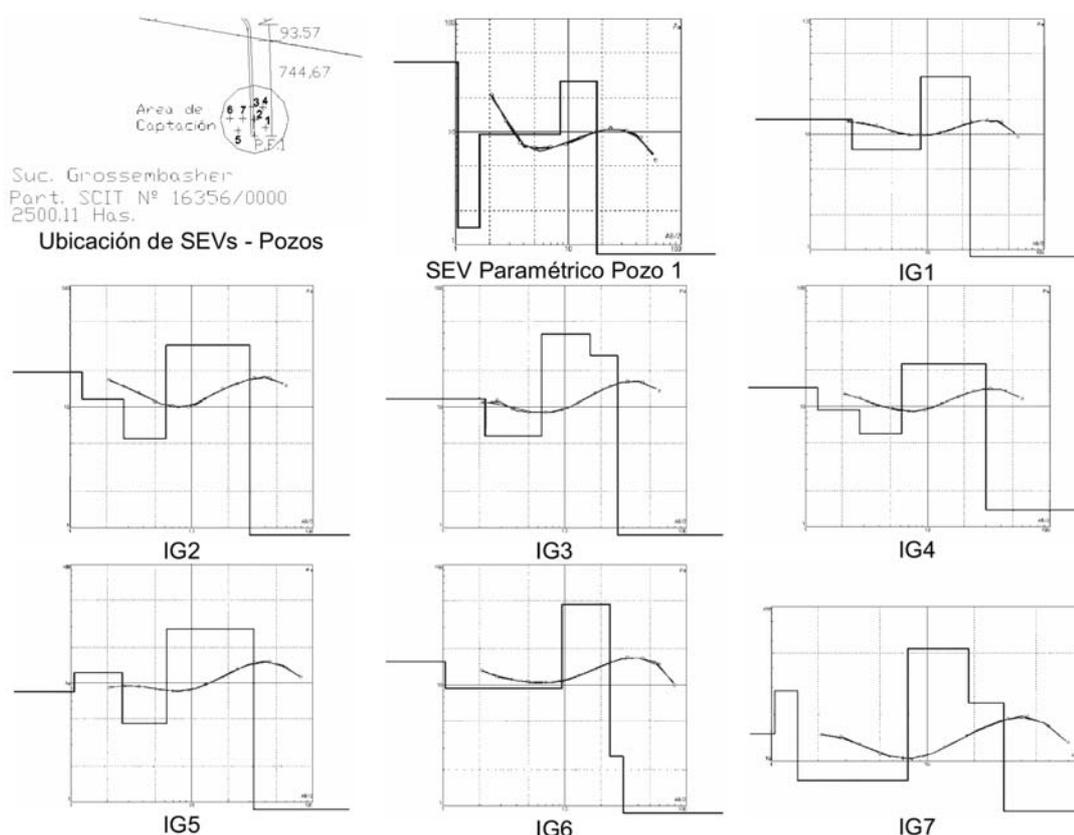


Figura 8. Ubicación de los SEV ejecutados.

Se ejecutaron en el sector siete (7) pozos exploratorios en los puntos definidos por los SEVs a una profundidad de 15 metros con extracción de muestras de sedimentos por cada metro atravesado y/o cambio litológico evidente. Se encontró una similitud litológica en la totalidad de los pozos, presentando un primer espesor arcillo limoso de tonalidad castaña clara con intercalaciones de nódulos calcáreos hasta una profundidad de 7 metros, un segundo espesor de 2 metros de una arena arcillosa fina amarillenta y finalmente el tercer espesor hasta los 15 metros de una arena fina a mediana amarillenta, ya que por debajo se encontraría la interfase agua dulce - salada.

En función del perfil obtenido en todos los pozos se decidió colocar una longitud de filtro de 4 mts y 11 mts de portafiltro, engravando el tramo filtrante.

Se efectuó una prueba de funcionamiento en cada pozo a un caudal de 4000 lts/hs con el objeto de limpiarlo y obtener así una muestra representativa de agua para su análisis físico químico en un laboratorio autorizado. Los protocolos demuestran para los mismos la aptitud para agua de consumo humano, encontrándose la totalidad de los parámetros por debajo del límite obligatorio que recomienda la Ley Provincial N° 11.220. (Tabla 2)

Pozo		2	3	4	5	6	7
Fecha		26/09/2006	26/09/2006	26/09/2006	11/09/2006	11/09/2006	11/09/2006
Analisis							
pH		7.09	6.84	6.98	6.94	7.16	7.15
Turbiedad	UNT	8.8	5.9	11.6	1.61	0.93	8.87
Conductividad	uS/cm	508	571	653	406	450	456
Dureza Total CO ₃ Ca	mg/l	266	266	184	211	232	230
Cloruro (Cl ⁻)	mg/l	6.3	10.6	7.1	7.1	6.5	3.7
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.4	1.1	0.5	0.4	0.1	0.1
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/l	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Alcalinidad Total CO ₃ Ca	mg/l	286	314	365	239	258	255
Bicarbonatos CO ₃ Ca	mg/l	349	383	445	292	315	311
Hierro Total (Fe)	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Fluoruros (F ⁻)	mg/l	///	///	///	0.18	0.19	0.17
Arsenico (As)	mg/l	< 0.01	0.012	0.019	0.016	< 0.01	< 0.01

Tabla 2. Parámetros físicos químicos de las muestras obtenidas.

CONCLUSIONES

Gracias a la conjunción de los SIG apoyado sobre una base de imágenes SPOT debidamente georeferenciadas, en que se visualizan las geofomas mencionadas y a partir de su correspondiente posterior campaña de prospección geofísica, fue posible definir los sectores de los emplazamiento de los pozos, respetando por ende las profundidades que impone la interpretación de los SEVs con el fin de brindar el vital elemento a través de un servicio comunitario hacia la población.

Para la explotación y el régimen de funcionamiento en ambas localidades se recomendó que el caudal no debería superar los 3600 litros / hora y las 8 horas de funcionamiento, respetando la secuencia impuesta para los pozos a fin de preservar la calidad físico químico del acuífero explotado.

Es importante destacar que similares resultados se obtuvieron aplicando la misma metodología en la localidad de Pozo de los Indios, distante a 12 kilómetros al oeste de la localidad de Garabato.

Finalmente, cabe mencionar, que esta metodología resultó sumamente útil para la localización de geofomas capaces de almacenar agua de una calidad aceptable.

REFERENCIAS

- DELGADINO, C. D. (2004.a).** Curso de Interpretación de Imágenes Satelitales. (Disertante). Escuela de Instrucción y Perfeccionamiento Aeronáutico (Habilitada por Orden N° 011/91 del Comando de Regiones Aéreas de la Fuerza Aérea Argentina). EIPA Sede Santa Fe.
- DELGADINO, C. D. (2004.b).** Primeras Jornadas de Enseñanza de Manejo de Navegador Satelital. (Disertante). Escuela de Instrucción y Perfeccionamiento Aeronáutico (Habilitada por Orden N° 011/91 del Comando de Regiones Aéreas de la Fuerza Aérea Argentina). Convenio: EIPA Sede Santa Fe - Universidad Católica de Santa Fe.
- IRONDO M. (1987).** Geomorfología y Cuaternario de la Provincia de Santa Fe (Argentina), D'ORBIGNYANA N° 4. PRINGEPA – CONICET, Corrientes, Argentina.
- MOSCOW STATE UNIVERSITY. (2003).** Resistivity Sounding Interpretation. Version 3.0.1.e. (Versión Académica). Manual del Usuario
- PALAZZO, R. (2002).** Estudio para el aprovechamiento de agua subterránea a las localidades de Garabato y Pozo de los Indios (Departamento Vera). Informe Técnico. Area Profesional Hidrogeología. Dirección Provincial de Obras Hidráulicas – Servicio Provincial de Agua Rural. Ministerio de Obras y Servicios Públicos y Vivienda.
- PALAZZO, R.; DELGADINO, C. D. (2007).** Estudio para el aprovechamiento de agua subterránea a la localidad de Intiyaco (Departamento Vera). Informe Técnico. Dirección General de Estudios y Proyectos de Saneamiento. Subsecretaría de Infraestructura. Ministerio de Asuntos Hídricos.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SAG EN LOS ALREDEDORES DE LA CIUDAD DE TACUAREMBÓ, URUGUAY

Mauricio Montaño ¹, Jorge Montaño ^{1,2}, Claudio Gaucher ², Sergio Gagliardi ¹, Paula Collazo ².

¹ GeoAmbiente SRL, mmontano@geoambiente-uruguay.com., geoambiente@adinet.com.uy

² Universidad de la República-Facultad de Ciencias. montanox@movinet.com

RESUMEN

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) en Uruguay ocupa un área aproximada de 43.000 km² de los cuales 38.000km² se encuentran cubiertos por basaltos de la Formación Arapey constituyendo una estructura de confinamiento que se manifiesta en parte de esta zona con características de termalismo y surgencia.

El resto del área se presenta aflorante con características de acuíferos libres a semiconfinado.

Como caracterización del área aflorante se presenta esta investigación en los alrededores de la ciudad de Tacuarembó, abarcando una superficie de 240 km².

Se realiza un análisis de los aspectos estratigráficos controversiales de la Formación Tacuarembó y su incidencia en la hidrogeología como parte integrante de lo que se denomina el Sistema Acuífero Guaraní en Uruguay.

En la zona analizada se extrae agua mediante pozos solamente de las litologías pertenecientes a la Formación Tacuarembó; si bien existen areniscas eólicas de la Formación Rivera de mayor permeabilidad las mismas no funcionan como acuífero por su poco espesor y/o por encontrarse en cotas altas (superiores a los 170 m).

Es un acuífero de tipo multicapa, funciona como libre o semiconfinado, presenta caudales promedios de 3,2 m³/h, transmisividades de 4 a 16 m²/día y valores de conductividad hidráulica que varían de 0,2 a 0,78 m/día que lo definen como un acuífero pobre.

Se destaca que este comportamiento hidrogeológico correspondientes a estas litologías constituyen aproximadamente el 70% a 75 % del SAG aflorante en Uruguay y relativiza la importancia de este sistema acuífero en el país.

Palabras claves: Acuífero, Guaraní, Tacuarembó.

SUMMARY

The Guaraní Acifer System (SAG) in Uruguay occupies an approximated area of 43,000 km², of which 38,000 km² are covered by basalts of "Formacion Arapey" forming a confinement structure that appears in some parts of this area showing features of thermalism and spouting. The rest of the area appears out cropping area with characteristics of free acqifers to semiconfined. This reasearch is presented as a characterization of the out cropping area, in the surroundings of Tacuarembó city, covering a surface of 240km².

The analysis performed covers the stratigraphycs controversial aspects of the "Formacion Tacuarembó" and its incidence in the hydrogeology as a relevant part of what is known as the Guaraní Acifer System. In

the area of the research, water is extracted through wells only of the litologies that take part of “Formacion Tacuarembó”, although there are eolian sandstorms of the “Formacion Rivera” that show more permeability, they can not be taken as aquifers due to their little thickness and because of the fact that they are located at a higher level. (over 170m)

It is a multilayer aquifer, it appears as free or semiconfined, and shows average volume of flow of 3,2 m³/h, transmissivity of 4 to 16 m²/day and values of hydraulic conductivity that range between 0,2 and 0,78 m/day, which define this aquifer as a poor one.

It is worth pointing out that this hydrogeology behaviour of this litologies, is about 70% to 75% of SAG out cropping in Uruguay, and this fact makes the importance of this aquifer in the country relative

Keywords: Aquifer, Guarani, Tacuarembó.

OBJETIVOS

- Estudiar las Formaciones geológicas y la estratigrafía, considerando la incidencia de las mismas en las características hidrogeológicas del SAG.
- Investigar las características y el comportamiento hidrogeológico del acuífero en los alrededores de la ciudad de Tacuarembó.
- Confeccionar un mapa piezométrico y la determinación de los parámetros hidráulicos del acuífero.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se ubica en el Departamento de Tacuarembó (figura 1), abarca secciones de las cartas topográficas a escala 1:50.000, Tacuarembó J-12 y Bañado de Rocha J-11, editada por el Servicio Geográfico Militar.

La zona de estudio tiene una superficie de 240 km², encontrándose entre coordenadas X=470 a X'=490 e Y=6486 a Y'= 6498.

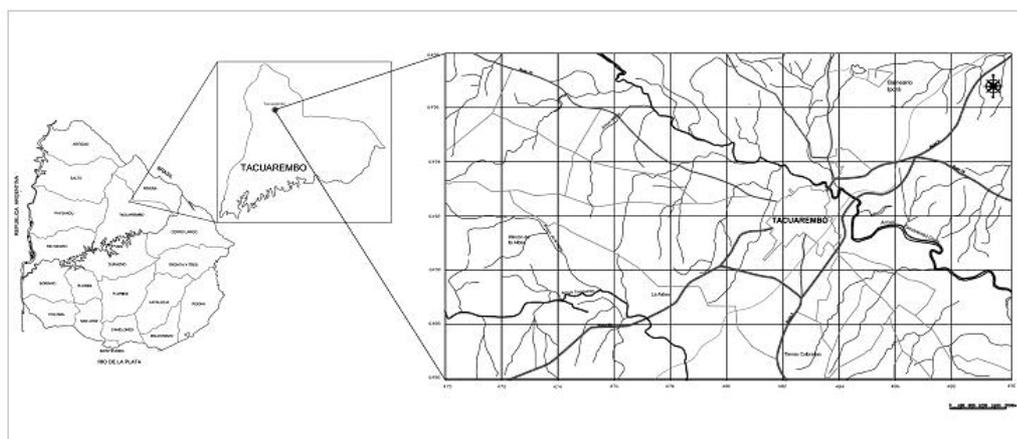


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.

METODOLOGÍA.

Estudio sedimentológico-estratigráfico.

- gabinete: En una primera etapa se analizaron los antecedentes geológicos del área de estudio y las

descripciones de más de 60 perforaciones.

b) Campo: Se realizaron levantamientos de columnas estratigráficas con recolección de muestras para su estudio en el laboratorio.

c) Laboratorio: se caracterizaron las litologías a partir de análisis con lupa binocular (Zeiss SV11) y comparador granulométrico y láminas delgadas bajo microscopio petrográfico (Leica DM LP).

Estudio hidrogeológico

a) **gabinete:** Revisión de antecedentes, se analizaron perforaciones realizadas en el área de estudio y sus alrededores. Se cuenta con la profundidad de los pozos, descripción litológica y datos de ensayos de bombeo así como niveles estáticos y dinámicos de las perforaciones.

b) **Campo:** Relevamiento de nuevas perforaciones, se tomó contacto con empresas de perforaciones radicadas en la zona para obtener información de las mismas. Se visitaron predios de productores y se realizaron medidas de niveles estáticos para la confección del mapa piezométrico y ensayos de bombeo prolongados para determinar los parámetros hidráulicos mediante el software Aquifer Test.

RESULTADOS

Geología descriptiva.

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se encuentra constituida en casi su totalidad por litologías pertenecientes a la Formación Tacuarembó de Ferrando & Montaña (1986).

En algunas zonas con cotas altas, por encima de la Formación Tacuarembó afloran sedimentos eólicos pertenecientes a la Formación Rivera según Ferrando & Montaña (1986).

En las inmediaciones del arroyo Tacuarembó existen sedimentos de poco espesor pertenecientes al Cuaternario.

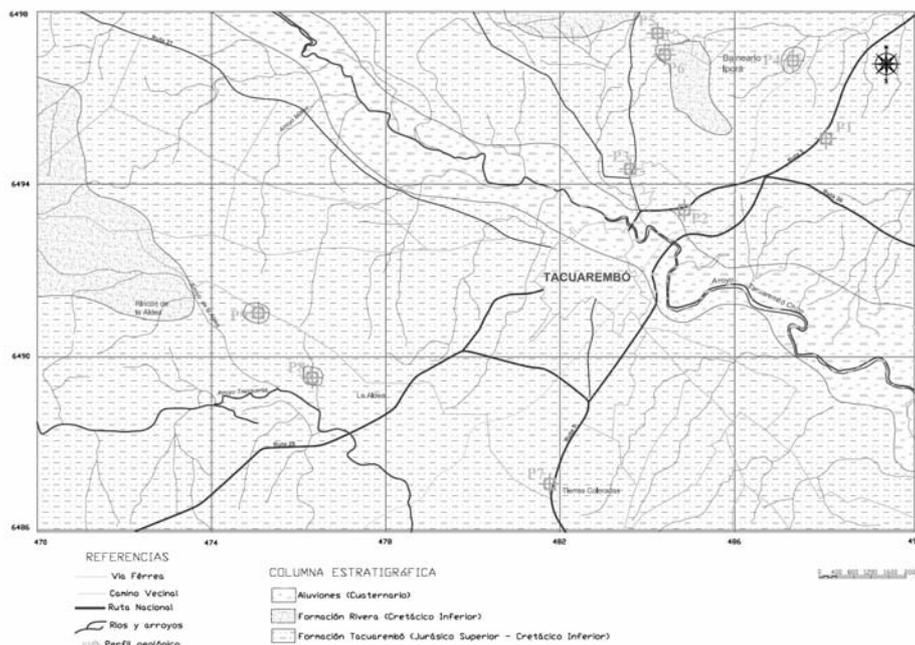


Figura 2.
Mapa geológico
modificado de
Bossi & Ferrando
(2001).

A continuación se describen las unidades objeto de este estudio en el área de Tacuarembó.

Formación Tacuarembó (Jurásico Superior – Cretácico Inferior).

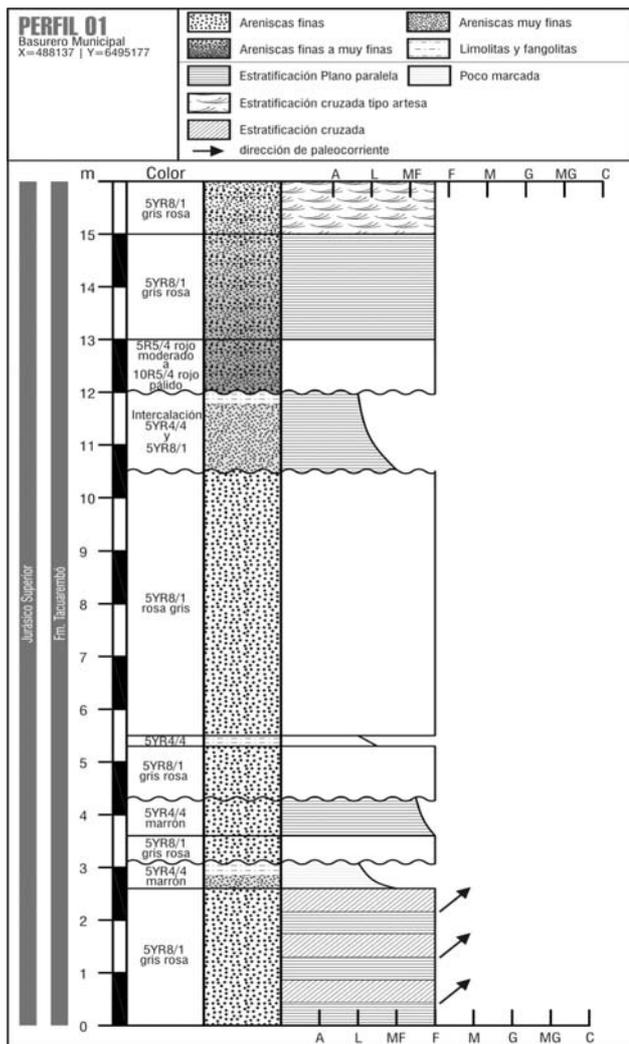
La Formación Tacuarembó aflora en el 80% del área de estudio y esta representada por areniscas finas (56%) en mayor proporción, también se encuentran areniscas muy finas (28%) y en menor porcentaje areniscas finas a medias, limolitas, fangolitas, wackes y pelitas.

Los colores predominantes para las areniscas finas son el 5YR8/1 (gris rosa), tonalidades amarronadas como el 5YR4/4 (marrón moderado), 5Y6/4 (marrón amarillento) y el 10R8/2 marrón rojizo y tonalidades rojas como el 10YR8/2 (naranja muy pálido) y el 10R5/4 (rojo pálido). Todos estos colores marcan un ambiente oxidante de sedimentación.

Las pelitas presentan colores sugiriendo ambiente con Eh=0 como el 10Y5/4 (verde oliva).

Las limolitas y fangolitas presentan los siguientes colores 5YR4/4 (marrón moderado) y 5Y7/2 (gris amarillento) y en menor porcentaje 5Y6/4 (marrón amarillento) y 5YR8/1 (gris rosa).

En las areniscas finas encontramos (ver Figura 3) concreciones calcáreas de hasta 40 cm de diámetro.

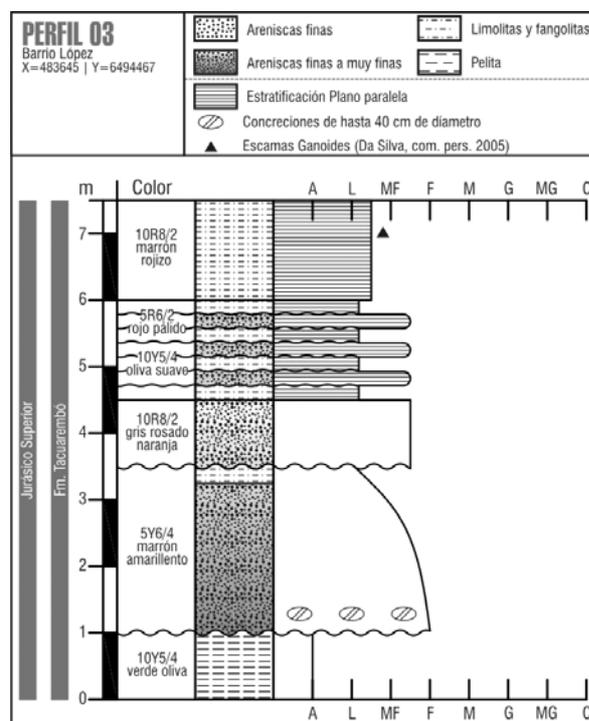


En los afloramientos de la Formación Tacuarembó se observa estratificación plano paralela y estratificación cruzada tipo artesa y cruzada planar (ver figura 3 y 4). La estratificación cruzada solo se observa en litologías de areniscas muy fina a fina.

Con respecto a la edad, Perea et al (2001) describieron para esta unidad varios dientes y una espina de aleta dorsal de un tiburón dulceacuícola al que determinaron como *Priohyodus*. Esta especie se registra también en sedimentos del Jurásico Superior y Cretácico Inferior en Africa y la Peninsula Arábica, por lo que constituye el taxón que permite proponer la edad más precisa para esta Formación. Según Yanvín et al (2002) la Formación Tacuarembó presenta ostrácodos que tienen gran similitud con otros del Jurásico Superior y Cretácico Temprano en las cuencas del Congo y China, especialmente con aquellas del Jurásico Tardío.

Figura 3. Perfil Geológico Barrio López Fm Tacuarembó.

Figura 4. Perfil Geológico Basurero Municipal. Fm Tacuarembó.



Formación Rivera (Cretácico Inferior).

Las sedimentitas de origen eólico pertenecientes a la Formación Rivera, se encuentran por encima de la Formación Tacuarembó y solamente aflora en zonas de cotas altas (superiores a los 170m). En el área de estudio esta Formación está integrada principalmente por arena fina (63.7 %) aunque también se observa arena fina a muy fina (34.6 %) y finas a medias (1.7%).

Los colores predominantes son rojizos 10R6/6 (rojo moderado naranja), 10YR8/6 (naranja amarillento pálido) y 10YR7/4 (naranja grisáceo), también se observa en menor proporción colores 5YR8/1 (gris rosa). El cemento de las areniscas esta constituido por hematita y en menor proporción sílice.

Las estructuras que se observan son estratificación cruzada planar, en artesa y estratificación cruzada acanalada tangencial en la base y laminación plano paralela con gradación inversa (Figuras 4 y 5).

Los buzamientos de los foresets o caras de avalancha en muchos casos son mayores a 26°, típicos de ambientes eólicos.

Para el presente trabajo se levantaron columnas estratigráficas. En las siguientes figuras se pueden observar las paleocorrientes, estructuras sedimentarias, granulometría y fósiles de las Formaciones Tacuarembó y Rivera en el área de estudio. Para facilitar la ubicación de los perfiles fueron todos referenciados por GPS.

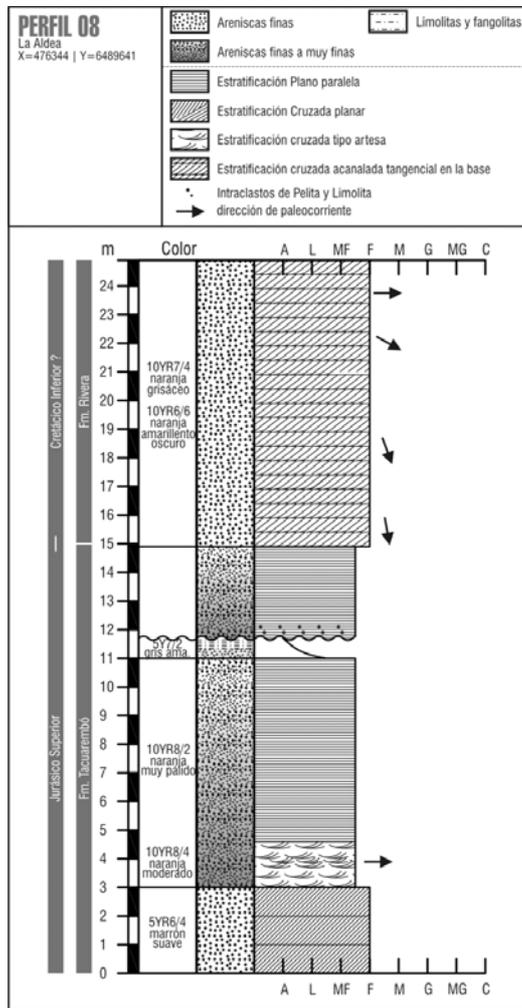


Figura 5. Perfil Geológico La Aldea.

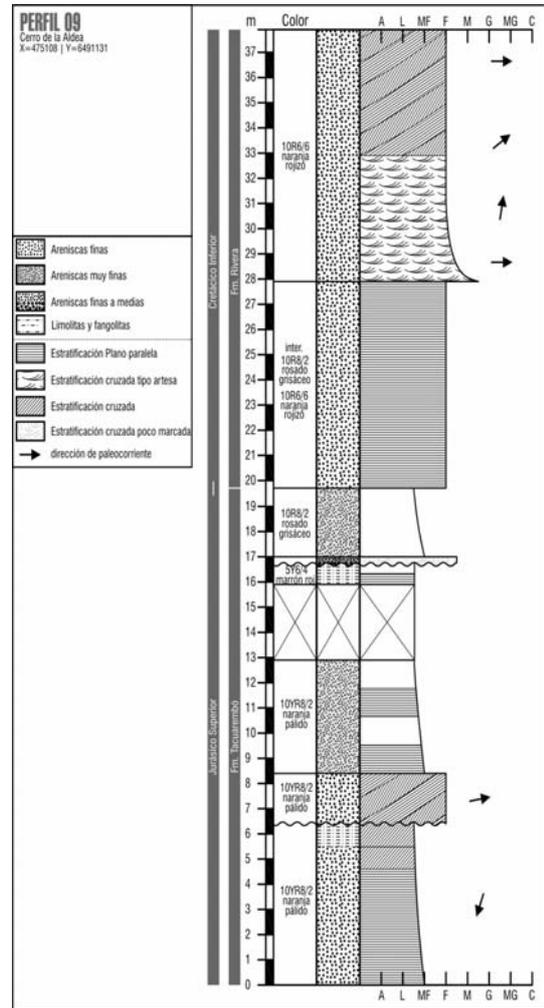


Figura 6. Perfil Geológico Cerro de la Aldea.

Hidrogeología.

El acuífero del área de estudio está constituido por los sedimentos permeables de la Formación Tacuarembó si bien existen areniscas eólicas pertenecientes a la Formación Rivera, estas no se comportan como acuífero por estar localizadas en cotas altas (superior a los 170m) y/o por tener poco espesor.

El acuífero Tacuarembó forma parte del Sistema Acuífero Guaraní, que según Montaño (2003) está constituido en Uruguay por una sucesión de sedimentos, esencialmente silicoclásticos, que presentan en general valores permeabilidad variada. Representados de base a techo por las Formaciones Yaguari Superior (Pérmico Medio), Buena Vista (Pérmico Tardío), Itacumbú (Jurásico Superior), Tacuarembó (Jurásico Superior- Cretácico Inferior) y Rivera (Cretácico Inferior). Este conjunto sedimentario se encuentra protegido por una extensa y potente capa basáltica en una superficie de 38000 Km². El resto del acuífero corresponde a la zona de afloramientos situados en la región centro-norte que ocupa aproximadamente 5000 Km², donde se incluye el área de estudio.

El espesor del acuífero Tacuarembó en el área de estudio es superior a los 139 m como lo indica la perforación N° 43, coordenadas X= 481,8 e Y= 6493,8.

El principal uso del agua subterránea es para consumo humano y riego de pequeños productores, también están abastecidas con este recurso hídrico aunque en menor proporción, industrias muchas de ellas relacionadas con la forestación.

Datos utilizados.

Los datos utilizados provienen de más de 60 perforaciones para agua realizadas por Mevir (Movimiento para la Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural), Prenader (Programa de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego), sección Hidrogeología de Dinamige (Dirección Nacional de Minería y Geología), Obras Sanitarias del Estado (OSE), empresas perforadoras particulares.

A continuación se analizan los datos obtenidos en el inventario de pozos como parte de la caracterización del acuífero.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Profundidades

Las profundidades de las perforaciones de captación de agua subterránea del área se sitúan entre 30m y 139m, la mayoría de los pozos (76.5%) tiene profundidades menores de 50 m (Tabla 1, Figura 7). Solo el 6.4% de los pozos tiene profundidades mayores a 80 m. El 17 % de los pozos tiene profundidades entre los 51 y 80 m.

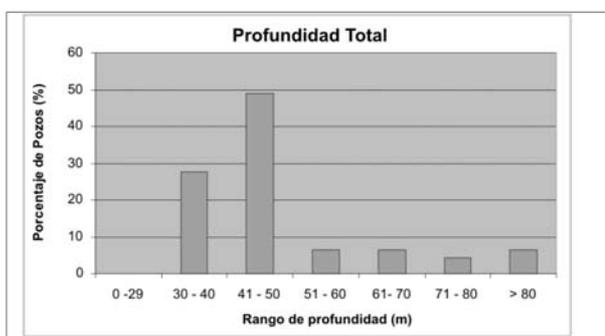


Figura 7. Histograma de las profundidades de las perforaciones. Niveles Estáticos

Profundidad Pozo (m)	0 a 29	29 a 40	41 a 50	51 a 60	61 a 70	71 a 80	> 80
%	0	27.6	48.9	6.4	6.4	4.2	6.4

Tabla 1. Profundidad de las perforaciones.

Los niveles estáticos se sitúan entre 2m y 30m por debajo del suelo, situándose en la mayoría de las perforaciones (50%) con niveles menores a los 10 m (Tabla 2, figura 8).

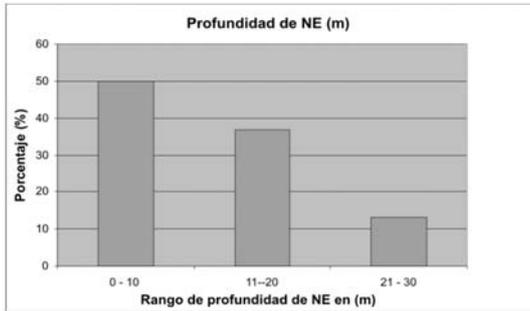


Figura 8. Histograma de los niveles estáticos del área de estudio.

NE (m)	0a10	11a20	21a30
%	50	36.9	13

Tabla 2. Niveles estáticos de los pozos semisurgentes.

El caudal sirve como medida de la potencialidad o productividad del acuífero respecto a la obtención de agua subterránea (ver tabla 3 y figura 9).

El 68% de los pozos del área obtienen caudales menores a 4m³/h y sólo el 4.2 % de los pozos obtienen caudales mayores a 6m³/h.

El caudal promedio del área de estudio es de 3.2m³/h.

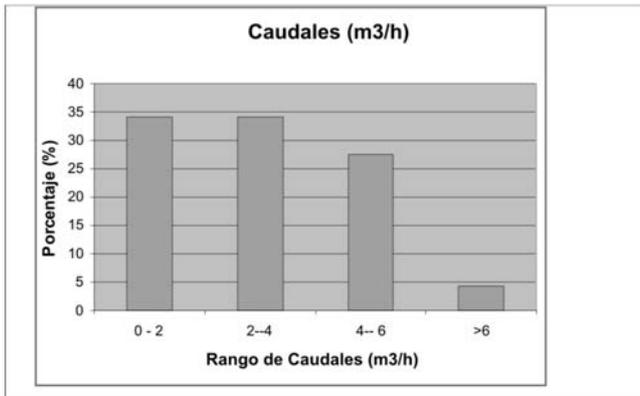


Figura 9. Histograma de los caudales de las perforaciones del área de estudio.

Q (m ³ /h)	0 a 2	2 a 4	4 a 6	> 6
%	34	34	27.6	4.25

Tabla 3. Caudales de los pozos semisurgentes.

Ensayos de Bombeo

Para la determinación de los parámetros hidráulicos (K) conductividad hidráulica, (T) transmisividad y (S) coeficiente de almacenamiento del acuífero se analizaron tres ensayos de bombeo con el software Aquifer Test.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis de los ensayos de bombeo por el programa Aquifer Test por el método de Hantush : son los siguientes:

Transmisividad.*Tabla 4. Valores de Transmisividades del área de estudio.*

Perforación	Acuífero	$\frac{T}{-}$ (m²/día)
1	Tacuarembó	15.7
24	Tacuarembó	4.6
48	Tacuarembó	4.1

Las transmisividades en el área de estudio son bajas y están en el orden de los 4m²/día a 16 m²/día ver tabla 4.

Conductividad Hidráulica (K)

Según los valores que se obtuvieron mediante el análisis de ensayos de bombeo, la conductividad hidráulica varían de 0.2 a 0.78 m/día ver tabla 14, que representan según Benítez (1963) litologías de mezclas de arena muy fina y fina / arena fina y/o media con algo de matriz limosa o arcillosa a mezcla de arenas fina y media.

Si tomamos el promedio de las 3 medidas obtenidas es de 0.54m/día. El acuífero se clasifica como pobre.

Tabla 5. Valores de conductividad hidráulica del área de estudio.

Perforación	Acuífero	$\frac{T}{-}$ (m²/día)
1	Tacuarembó	0,78
24	Tacuarembó	0.66
48	Tacuarembó	0.2

Coefficiente de almacenamiento (S)

En el caso del acuífero Tacuarembó los valores que nos dan de coeficiente de almacenamiento (S) son de acuífero semiconfinado y en ocasiones acuífero libre esta en función del espesor de material arcilloso que se encuentre por encima del acuífero.

Tabla 6. Valores de coeficiente de almacenamiento (s) del área de estudio.

Perforación	Acuífero	S
1	Tacuarembó	1.8 X 10 ⁻²
24	Tacuarembó	3.11 X 10 ⁻³
48	Tacuarembó	4.5 X 10 ⁻²

Piezometría

El mapa piezométrico fue confeccionado con datos obtenidos de medidas realizados de junio a julio del año 2000. Se relevaron 37 perforaciones. Para seleccionar los pozos se tuvieron en cuenta, los de mejor información constructiva y mejor accesibilidad para las medidas de niveles estáticos.

Para analizar e interpretar la dinámica del agua subterránea en el área se elaboró el mapa potenciométrico que se observa en la (Figura 10), del cual se puede concluir lo siguiente:

- El acuífero en la zona de estudio se encuentra descargando hacia el Arroyo Tacuarembó Chico y hacia el Arroyo Tranqueras.
- En la ciudad de Tacuarembó las direcciones de flujo se orientan hacia el NE.
- Las direcciones de flujo estimadas estarían confirmando la existencia de un área de recarga del acuífero que tiene una orientación N45W coincidiendo aproximadamente en parte de su extensión con el área de interfluvio entre la cuenca del arroyo Tacuarembó Chico y el arroyo de Tranqueras

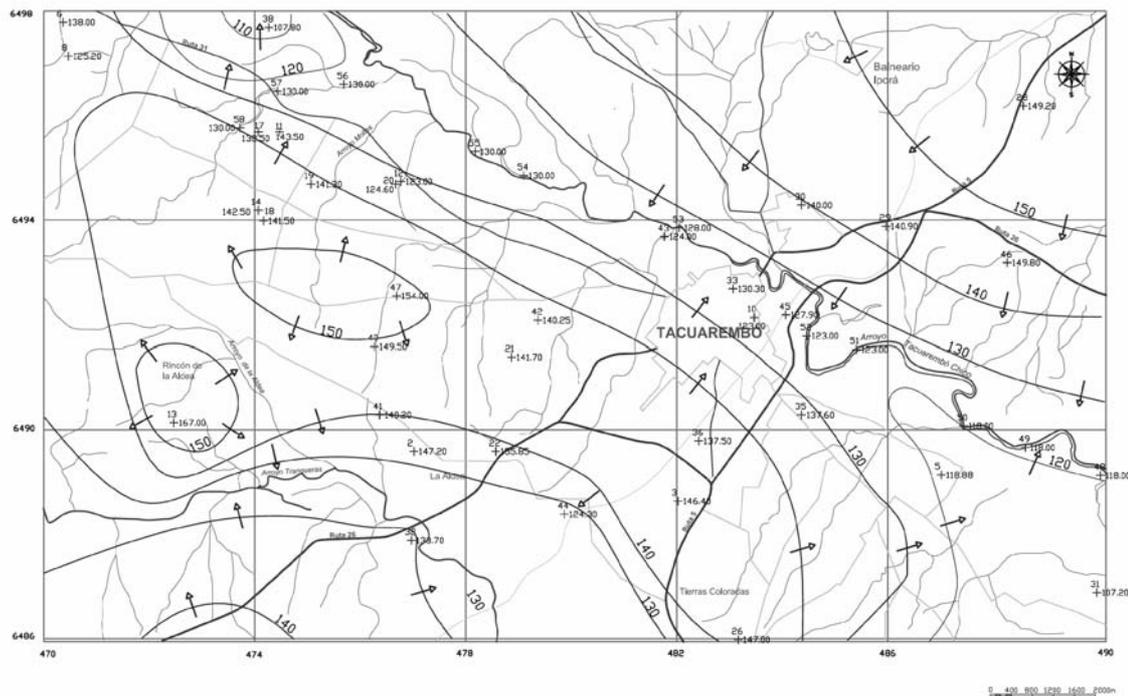


Figura 10. Mapa potenciométrico del área de estudio.

DISCUSIÓN

En el área de estudio afloran litologías pertenecientes al Miembro Inferior de la Formación Tacuarembó de Bossi *et al.* (1975) o Formación Tacuarembó de Ferrando & Montaña (1986) y en menor proporción en algunas zonas con cotas altas, por encima de la Formación Tacuarembó encontramos sedimentos eólicos pertenecientes a la Formación Rivera según Ferrando & Montaña (1986).

En este trabajo adoptamos la nomenclatura de Ferrando & Montaña (1986) nombrando a estas litologías como Formación Tacuarembó y Formación Rivera, porque son perfectamente mapeables como lo demuestra

el Mapa Geológico a escala 1:100.000 realizado por Montaña (1990) que fue corroborado en el campo para este trabajo. En lo que respecta al área de estudio, el mapa Geológico de Bossi & Ferrando (2001) a escala 1:500 000 también se puede verificar en el campo.

Se considera en consonancia con lo que explicita la Guía Estratigráfica Internacional, que lo principal a la hora de separar una formación es que posea atributos litológicos característicos, diferenciables de las demás formaciones, y que sea cartografiable a una escala razonable (p.ej. mayor a 1:20.000). En vista de las diferencias litológicas claras presentadas en la Tabla 7, así como la demostrada mapeabilidad de la Formación Rivera (Fig. 2), se considera que se cumplen las premisas para reconocer una formación.

Las características litológicas de ambas unidades son claramente diferenciables en el campo ver figura 3, 4, 5 y 6. En la tabla 7 se contrastan varias características de las Formaciones Tacuarembó y Rivera.

Tabla 7. Características distintivas de la Formación Tacuarembó y Rivera.

Características	Formación Tacuarembó	Formación Rivera
Granulometría	Areniscas muy finas en menor proporción areniscas finas y finas a medias Limolitas, fangolitas y pelitas	Areniscas finas a muy finas y finas a medias
Color	Gris rosa, marrón moderado, naranja pálido, rojo pálido y verde oliva	Rojo moderado, naranja amarillento, naranja grisáceo y gris rosa.
Estructuras sedimentarias	Estructura masiva Estratificación plano paralela Estratificación cruzada tipo artesa y cruzada planar de pequeño a mediano porte.	Estratificación cruzada planar y en artesa de gran porte. Estratificación cruzada acanalada tangencial en la base y laminación planoparalela con gradación inversa.
Textura superficial de granos	Varios	Marcas de impacto Superficies pulidas
Grado de consolidación	Friable	Friable y en ocasiones forman escarpas por procesos de silicificación (consolidados).
Fósiles	Presenta	No presenta.
Buzamiento máximo de los foresets	< 26°	> 26°
Redondez clastos	Subredondeado a subangulosos.	Bien redondeados.
Composición areniscas	Wackes y subarcosa	Cuarzo arenitas a subarcosa

Desde el punto de vista hidrogeológico es muy importante la separación de estas dos Formaciones ya que en los lugares donde solo existe Formación Tacuarembó (como en el área de estudio) nos encontramos con acuíferos pobres (con caudales promedios de 3,2 m³/h y transmisividades que varían de de 4 a 16 m²/día). Donde existe Formación Rivera (Zona del Parque Gran Bretaña al oeste de la ciudad de Rivera) en cotas

topográficas favorables y con buen espesor, los acuíferos son muy buenos (con caudales de 50 a 110 m³/h Montaño et al (1998) y transmisividades que varían entre 140 a 169 m²/día.

Es importante destacar que los caudales pobres encontrados en el acuífero Tacuarembó, están en función de las litologías portadoras de agua que en un alto porcentaje son de baja permeabilidad y transmisividad (menores a los 16m²/día), representadas principalmente por areniscas finas a muy finas limosas con niveles de limolitas, arcillitas y fangolitas.

Cabe destacar que los sedimentos de la Formación Rivera, con litologías representadas por areniscas finas a medias, presentan permeabilidades y transmisividades mayores a las de la Formación Tacuarembó Montaño J. et al (1998).

Estas características litológicas favorecen el almacenamiento de agua subterránea, además de favorecer la recarga al propio Acuífero Tacuarembó.

No siempre la Formación Rivera funciona como acuífero. En este caso si bien existe, la la misma se encuentra en cotas altas (mayores a 170m)y/o tiene muy poco espesor no permitiendo el almacenamiento de agua.

CONCLUSIONES

- a) En el área de estudio ocurren la Formación Tacuarembó y Rivera (Ferrando et al 1986), las cuales es posible separar a nivel de campo
- b) La Formación Tacuarembó constituye el subsuelo de alrededor del 80% del área de estudio.
- c) Las paleocorrientes medidas en los sedimentos pertenecientes a la formación Tacuarembó tienen sentido preferencial marcada hacia el E y subordinadamente hacia el W.

Se puede concluir por las direcciones de las paleocorrientes que existía en el Juráico Superior un área deprimida hacia el Este.

- d) La Formación Rivera esta integrada principalmente por arena fina (63,7 %) aunque también se observa arena fina a muy fina (34,6 %) y finas a medias (1,7%).
- e) Los buzamientos de los foresets o caras de avalancha en muchos casos son mayores a 26 ° típicos de ambientes eólicos. Para la Formación Rivera la distribución unimodal de las paleocorrientes son de dirección dominante E y otra hacia el N10E.
- e) En la zona solo se extrae agua mediante pozos de las litologías pertenecientes a la Fm Tacuarembó. Si bien existen sedimentos eólicos pertenecientes a la Formación Rivera los mismos no funcionan como acuífero por su poco espesor y/o por encontrarse en cotas altas (superiores a los 170m).
- f) El acuífero Tacuarembó es del tipo multicapa, funciona como acuífero libreo o semiconfinado, confirmado por los valores del coeficiente de almacenamiento que varía entre 10⁻² y 10⁻³.

El acuífero Tacuarembó es un acuífero pobre, con caudales promedios de 3,2 m³/h y valor de transmisividad que varían entre 4 a 16 m²/día.

- h) Los valores de conductividad hidráulica varían de 0,2 a 0,78 m/día.
- i) El acuífero se encuentra descargando hacia el Arroyo Tacuarembó Chico y hacia el Arroyo Tranqueras.

- j) Las direcciones de flujo estimadas estarían confirmando la existencia de un área de recarga del acuífero que tiene una orientación N45W coincidiendo aproximadamente en parte de su extensión con el área de interfluvio entre la cuenca del arroyo Tacuarembó Chico y el arroyo Tranqueras.

REFERENCIAS

- BOSSI, J, FERRANDO, L.A.; FERNANDEZ, A.N.; ELIZALDE, G.; MORALES H, LEDESMA J, CARBALLO E, MEDINA E; FORD I & MONTAÑA, J (EDS,) (1975)** Carta Geológica swl uruguay. 32 pags., 1 mapa 1:100.000; Montevideo.
- BOSSI J, NAVARRO R (1998)** Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, 970pp
- DA ROSA FILHO EF, FORLIN M, MONTAÑO J (1998)** Informacoes básicas sobre distribuicao do Sistema Aquífero Guarany nas regioes Sul e Sudeste do Brasil. A agua em Revista (Revista da CPRM, Servicio Geológico do Brasil) 10:22-26.
- FERRANDO, L. A. Y MONTAÑA, J. R. (1986)** Esquema geológico de los alrededores de Tacuarembó. IV Reunión Internacional Proyecto N° 193: Silúrico – Devónico de América Latina. Tacuarembó. Uruguay.
- MACHADO J (2005)** Compartimentacao espacial e arcabouco hidroestratigrafico do Sistema Acuífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tesis de Doutorado, Porto Alegre :Unisinos ,2005 ,pp. 54-71.
- MONTAÑO, J. (2003)** El Sistema Acuífero Guraní (SAG), pp191-211 de Veroslavsky G, Ubilla M & Martínez S (eds): Cuencas sedimentarias de Uruguay Geología, paleontología y recursos naturales del Mesozoico .DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo.
- MONTAÑO J, ERNANI F, HINDI E, CICALESE H, MONTAÑO M, GAGLIARDI S (2002)** Importancia de las Estructuras Geológicas en el Modelo Conceptual del Sistema Acuífero Guaraní Área Uruguaya. Revista da Associacao Brasileira de Aguas Subterráneas Numero 16. Pp 111 a 119.
- MONTAÑO J, TUJCHNEIDER O, AUGE M, FILI M, PARIS M Y D'ELIA M, PÉREZ M, NAGY M, COLLAZO P, DECOUD P (1998)** Sistema Acuífero Guaraní-Acuíferos Regionales en América Latina-Capitulo Argentino Uruguayo. Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión Nacional del Litoral. Santa Fé, Argentina, 217 p.

*La edición se terminó de imprimir en
el mes de Octubre de 2007*

IMPRESOS S.A.

Vera 3825

E-mail: impresossa@gmail.com

Santa Fe - Argentina