

ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA ACUÍFERO PÉRMICO EN LA REGIÓN NORESTE DE URUGUAY

WATER QUALITY STUDY FOR THE PERMIAN AQUIFER SYSTEM IN THE NORTHEASTERN AREA OF URUGUAY

Pamoukaghlián, K.⁽¹⁾; Pérez, A.⁽²⁾; Samaniego, L.⁽³⁾

¹Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Geológicas, Iguá 4225, CP 11400.

²División Aguas Subterráneas, Gerencia Agua Potable, O.S.E., Carlos Roxlo 1275.

³Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas (CeReGAS), Rondeau1665.

E-mail: esmectita90@gmail.com

Editores: Dra. Elena Peel; MSc. Fernando Scaglia
revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 – Montevideo – Uruguay Tel: 2929 0318-Int. 1612/161

3 www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

Se estudian los problemas de calidad del agua subterránea, correspondiente al Sistema Acuífero Pérmico, en la región noreste de Uruguay, de acuerdo con los análisis químicos obtenidos a partir de muestras tomadas de perforaciones pertenecientes a OSE. Esta región abarca un área de unos 20.000 km², donde se ubican más de 40 pequeñas localidades abastecidas con agua subterránea que demandan agua en cantidad y calidad. Este sistema acuífero incluye tres subsistemas: (a) Formaciones San Gregorio - Tres Islas (conforman un acuífero mayormente confinado de productividad media a baja); (b) Grupo Melo (acuitardo); y (c) Formación Yaguarí (que conforma un acuífero generalmente semiconfinado de productividad baja). La problemática de la calidad atiende principalmente a valores elevados de conductividad y anomalías en las concentraciones de Na, Cl, F, Mn y SO₄. La mala calidad del agua en algunas zonas puntuales ha obligado a la prospección del recurso mediante el análisis de pozos existentes, la realización de una o más obras de captación y en muchos casos la ampliación del radio de acción, lo cual acarrea mayores inversiones en perforaciones y distribución para poder brindar agua potable.

Palabras clave: Sistema Acuífero Pérmico, calidad, anomalía, agua subterránea

ABSTRACT

Groundwater quality problems, corresponding to the Permian Aquifer System, in the northeast region of Uruguay, are studied according to the chemical analyzes affected from samples taken from OSE wells. This region covers an area of about 20,000 km², where there are more than 40 small towns supplied with groundwater that demand water in quantity and quality. This aquifer system includes three subsystems: (a) San Gregorio and Tres Islas Formations (mostly confined aquifer with medium to low productivity); (b) Melo Group (aquitard); and (c) Yaguarí Formation (which forms a generally semi-confined aquifer of low productivity). The quality problem mainly addresses high conductivity values and anomalies in the Na, Cl, F, Mn and SO₄ concentrations. The poor water quality in some specific areas has forced the prospecting of the resource through the analysis of affected wells, the performance of one or more collection works and in many cases the extension of the range of action, which entails greater investments in drill holes and distribution in order to provide drinking water.

Keywords: Permian Aquifer System, quality, anomaly, groundwater

OBJETIVO

Se tiene como principal objetivo realizar una primera aproximación a la caracterización de los Acuíferos Pérmicos desde el punto de vista de su calidad, de acuerdo a los datos disponibles en la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (O.S.E). Como objetivo específico se planteó generar una base de datos que permita prever la factibilidad de obtener agua de buena o mala calidad en los futuros emprendimientos de captación de aguas subterráneas.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la región noreste del país, contemplando parcialmente a los departamentos de Tacuarembó, Rivera, Cerro Largo y Durazno (Figura 1). La misma está incluida dentro de la Subprovincia Pérmica (Montaño et al., 2006a, 2006b). La información que se presenta y analiza es obtenida de las perforaciones de O.S.E. distribuidas en los centros poblados y alrededores, quedando zonas extensas sin datos, por lo que esto debe ser tenido en cuenta a la hora de extrapolar u obtener conclusiones generales.

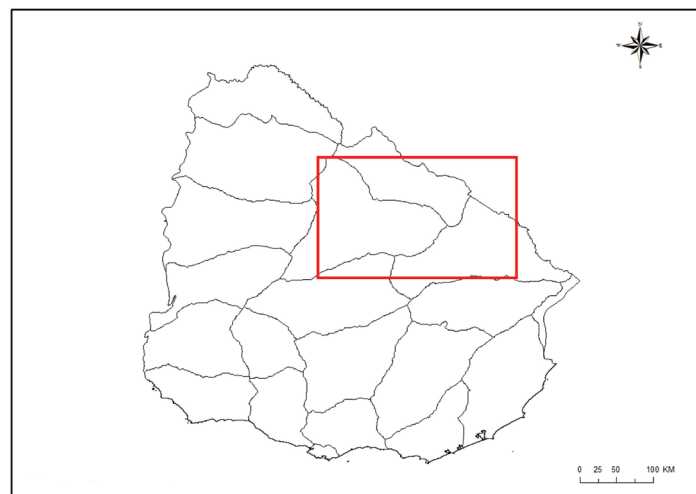


FIGURA 1. Mapa de Uruguay donde se indica con un recuadro rojo el área de estudio
FIGURE 1. Map of Uruguay where the study area is indicated with a red box.

METODOLOGÍA

La metodología consta de las siguientes etapas:

- (1) Recopilación de la información, presentando datos ordenados en un sistema de coordenadas

apropiado (UTM: *Universal Transverse Mercator*); datos hidráulicos; unidades geológicas correspondientes a los aportes de cada perforación y datos químicos obtenidos en el Laboratorio Central de O.S.E. (2) Generación de una base cartográfica georreferenciada, utilizando *software* de sistemas de información geográfica apropiados, donde se incluye: (a) ubicación de perforaciones; (b) principales parámetros hidráulicos; (c) datos físico-químicos; y (d) elementos traza. (3) Análisis y comparación de los parámetros de calidad del agua, haciendo referencia a los valores máximos permitidos de acuerdo con las Normas UNIT 833: 2010 del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT; 2010) y Decreto 375/2011, publicado en el Diario Oficial el 14 de noviembre del año 2011, que establece los valores máximos permitidos (VMP) para el agua potable. (4) Representación de estos parámetros en mapas y gráficos adecuados.

GEOLOGÍA

Las unidades geológicas que afloran en el área de estudio corresponden a formaciones de rocas sedimentarias de edad Carbonífero-Pérmico, (ver [Figura 2](#)).

Las unidades geológicas aquí reconocidas de acuerdo con los perfiles litológicos de las perforaciones son las siguientes y se pueden describir de base a tope de la siguiente manera, como se muestra en la [Tabla 1](#), de acuerdo con Bossi et al. (1998): **(a) Formación San Gregorio (Carbonífero - Pérmico inferior)** constituida por psefitas hasta pelitas, predominando las primeras. Las psefitas están representadas especialmente por diamictitas resedimentadas, tillitas y, en menores proporciones, conglomerados clastosoportados; **(b) Formación Tres Islas (Pérmico inferior)** compuesta por psamitas desde finas hasta muy gruesas con porcentajes variables de pelita y escasas psefitas; **(c) Grupo Melo (Pérmico superior)** incluyen las Formaciones Frayle Muerto, Mangrullo y Paso Aguiar: se componen de facies arenosas y heterolíticas y facies pelíticas que pueden alcanzar espesores de hasta 15m (De Santa Ana y Gutiérrez, 2000); **(d) Formación Yaguarí (Pérmico superior)**: se compone de psamitas y pelitas (macizas o laminadas), asociadas con escasas facies heterolíticas (flaser) y calcáreas (lentes micríticos concrecionales); **(e) Formación Buena Vista (Pérmico Tardío)** compuesta por areniscas medias a finas intercaladas con niveles pelíticos y conglomerádicos.

La **Formación Cuaró (Cretácico inferior)** intruye las formaciones sedimentarias y está conformada

por diques de emplazamiento vertical a horizontal y sills de emplazamiento horizontal, compuestos por micro-gabros y doleritas (tholeílicas). Scaglia (2013) describe petrográficamente el Sill de Cuaró (Departamento de Tacuarembó) compuesto por plagioclasa cálcica, piroxeno, óxidos de Fe-Ti, con textura glomeruloporfírica y presencia de sulfuros (calcopirita) y trazas de Mn y Cr.

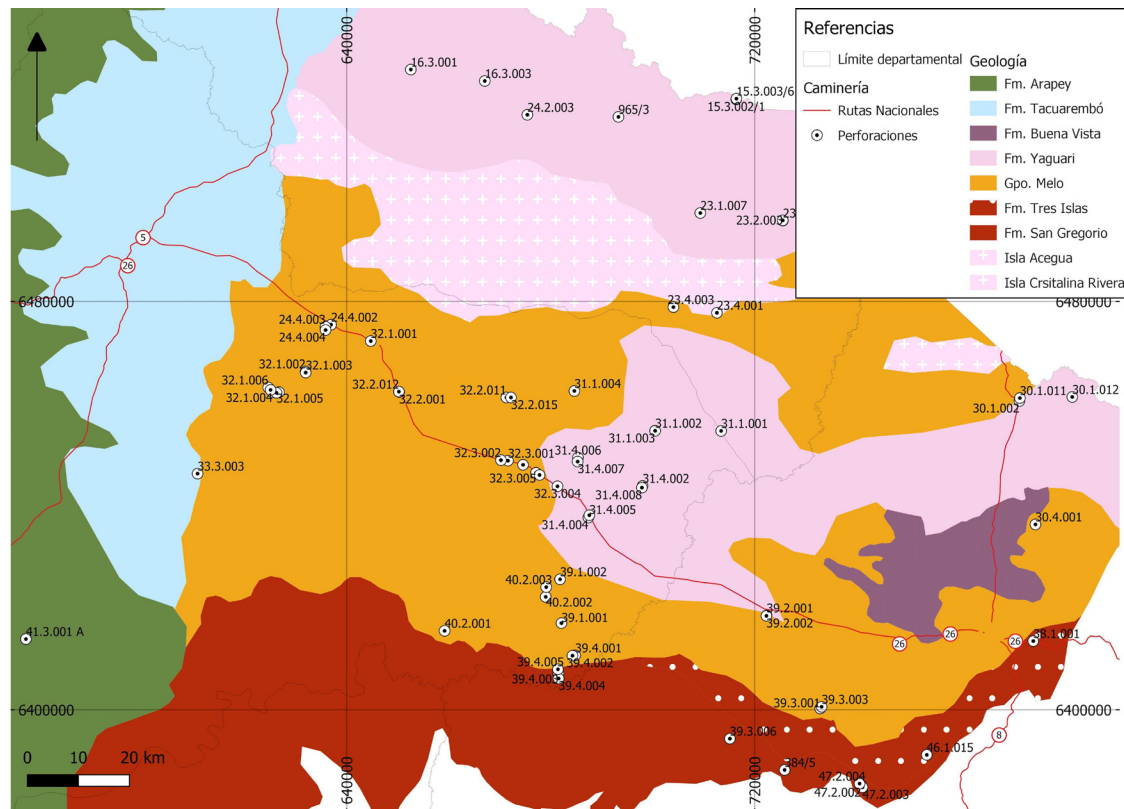


FIGURA 2. Mapa geológico en el que se indica la ubicación de las perforaciones (modificado de Bossi et al. 1998)).

FIGURE 2. Geological map indicating the location of the wells (modified from Bossi et al. (1998)).

HIDROGEOLOGÍA

Según Montaña et al. (2006a) se pueden reconocer tres unidades hidrogeológicas enmarcadas en la denominada **Subprovincia Pérmica: (a) Acuífero San Gregorio - Tres Islas**, el cual se encuentra generalmente confinado y es de productividad media a baja; **(b) Formación Melo**, que constituye un acuitardo y eventualmente puede comportarse como un acuífero fisurado; **(c) Acuífero Yaguari** que se comporta como un acuífero libre o semiconfinado y es de productividad baja. Por otra parte, Capeci (2013) define el Sistema Acuífero Carbonífero Pérmico Uruguayo que consiste en unidades acuíferas y acuitardos intercaladas entre si y conectadas hidráulicamente. Esta autora indica que el Sistema Acuífero Carbonífero Pérmico Uruguayo está constituido por tres unidades acuíferas: San

Gregorio, Tres Islas y Yaguarí, y tres acuitardos intercalados: Frayle Muerto, Mangrullo y Paso Aguiar; y señala las unidades acuíferas referidas están conformadas principalmente por arenas finas a medias, diamictitas y conglomerados y los acuitardos por sedimentos pelíticos grises. En el área de estudio de este trabajo existen zonas donde no aflora el Grupo Melo por lo que en algunos sectores no se encontraría toda la columna estratigráfica completa que compone el Sistema Acuífero definida por Capeci (2013). Aquí hablamos de Sistema Acuífero Pérmico (Pérez et al., 2016), ya que no se analizan datos de la Fm. San Gregorio, de edad Carbonífero-Pérmico. El presente estudio se refiere a una parte del sistema o más estrictamente a un “subsistema” del “Sistema Acuífero Carbonífero Pérmico” definido por Capeci (2013).

Asimismo, es importante mencionar que en algunas zonas pueden encontrarse diques pertenecientes a la Formación Cuaró, debiendo determinar si las perforaciones analizadas captan agua de estas rocas, además de captar agua de las unidades hidrogeológicas sedimentarias. En este trabajo se tomó además un criterio de separación de las perforaciones correspondientes a las diferentes unidades geológicas, de acuerdo a los aportes de las mismas. Así se dividen en: (a) perforaciones que captan agua de la Formación Tres Islas, (b) perforaciones que captan agua del Grupo Melo y (c) perforaciones que captan agua de la Formación Yaguarí, considerando para los casos (a) y (c) aportes mixtos que suman aporte del Grupo Melo. Cabe señalar que no se analizan las perforaciones con aportes en la Formación San Gregorio, por no disponer de datos suficientes. Asimismo, la Formación Buena Vista no es analizada en este trabajo por no contar con perforaciones que capten agua subterránea de esta unidad.

Unidad	Edad
Formación Buena Vista	Pérmico Tardío
Formación Yaguarí	Pérmico Medio
Grupo Melo	Pérmico Temprano
Formación Tres Islas	Pérmico Temprano
Formación San Gregorio	Carbonífero Tardío-Pérmico Temprano bajo?

TABLA 1. Cuadro estratigráfico utilizado en este artículo, modificado de Bossi et al. (1998).
TABLE 1. Stratigraphic chart used in this article, modified from Bossi et al. (1998).

RESULTADOS

Para evaluar la calidad del agua contenida en las unidades pérmicas arriba referidas, se analizaron

los siguientes parámetros: conductividad, pH, dureza, SO_4 , Cl, F, Fe, Mn, Zn y Na. Se descartaron análisis de datos que no presenten una problemática como por ejemplo nitratos y nitritos.

Conductividad: Según la norma UNIT 833 el VMP para la conductividad es 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para valores de conductividad entre 1.300 y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se deberá realizar la determinación de los Sólidos Totales Disueltos cuyo VMP es de 1000mg/l. En la Figura 3 se pueden apreciar los rangos de conductividad. En la Formación Tres Islas no se observan valores anómalos de conductividad, excepto en una perforación que tiene aporte mixto de Tres Islas y Grupo Melo donde se observó un valor muy elevado, mayor a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Las Pajas, Tacuarembó).

En función de la profundidad, se observa una tendencia general a valores mayores y presencia de anomalías entre 50 y 100m de profundidad ([Figura 4](#)). Las perforaciones con valores anómalos de conductividad corresponden a aquellas que tienen aporte exclusivamente de Grupo Melo (40% de los pozos), una perforación que recibe aporte mixto de Fm. Tres Islas y Grupo Melo y una perforación que recibe aporte mixto de Fm. Yaguará y Grupo Melo (ver [Figura 5](#)).

pH: Los valores de pH aceptados por la norma de agua potable están en el rango entre 6,5 y 8,5, próximos a pH neutro. Se registran tres datos de pH ácido con valores mínimamente por debajo de los

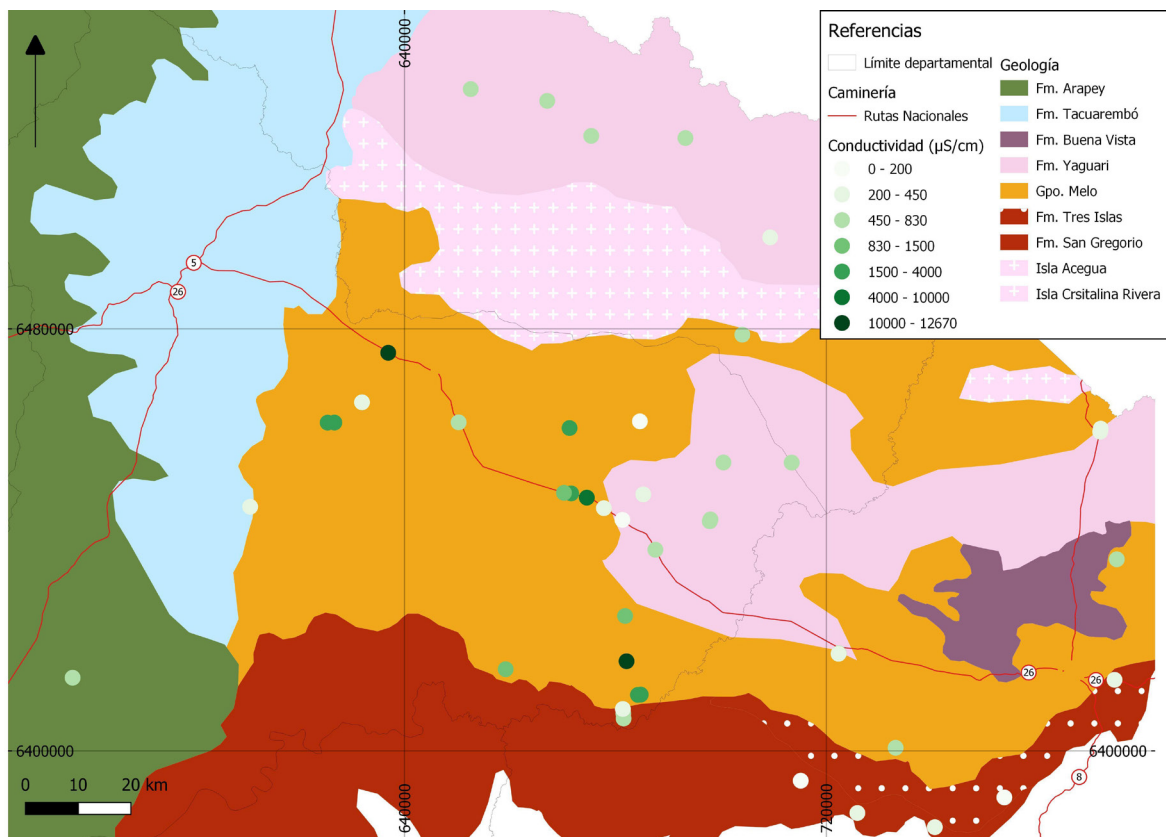


FIGURA 3. Mapas ilustrando valores de conductividad
FIGURE 3. Maps illustrating conductivity values.

aceptables, en Tacuarembó: 5,38 en Puntas de Carretera y 5,8 en Puntas de Cinco Sauces, y en Cerro Largo: 6,4 (Fm. Tres Islas). Asimismo se registra un caso puntual de pH por encima de la norma (9) en Paso de los Novillos.

Cloruros: se encuentran valores anómalos para las perforaciones de Tacuarembó en Picada Quirino (2.688 mg/l) y Paso de los Novillos (760 mg/l), ambos correspondientes al Grupo Melo y en Las Pajas (564 mg/l) con aportes mixtos en Fm. Tres Islas y en Grupo Melo. En el caso de las perforaciones que captan agua de la Formación Yaguarí no se encontraron anomalías de cloruros. Véase [Tabla 3](#).

Fluor: Se detectan anomalías de fluor en una perforación presente en la localidad de La Pedrera (Cerro Largo), correspondiente geológicamente a la Fm. Tres Islas y en dos pozos de la localidad de Las Pajas (Tacuarembó) con aporte mixto de Fm. Tres Islas-Grupo Melo. No se observan anomalías de F para la Formación Yaguarí.

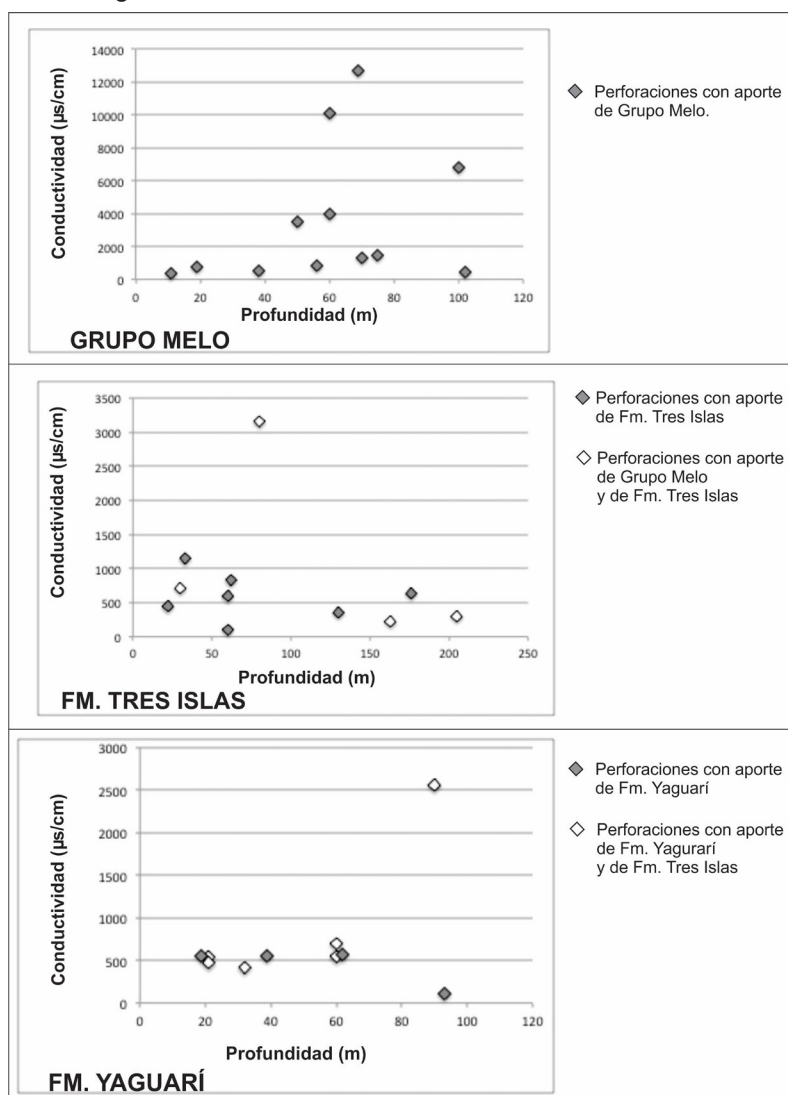


FIGURA 4. Distribución de rangos de conductividad en función de la profundidad.
FIGURE 4. Distribution of conductivity values ranges in relation with well deep.

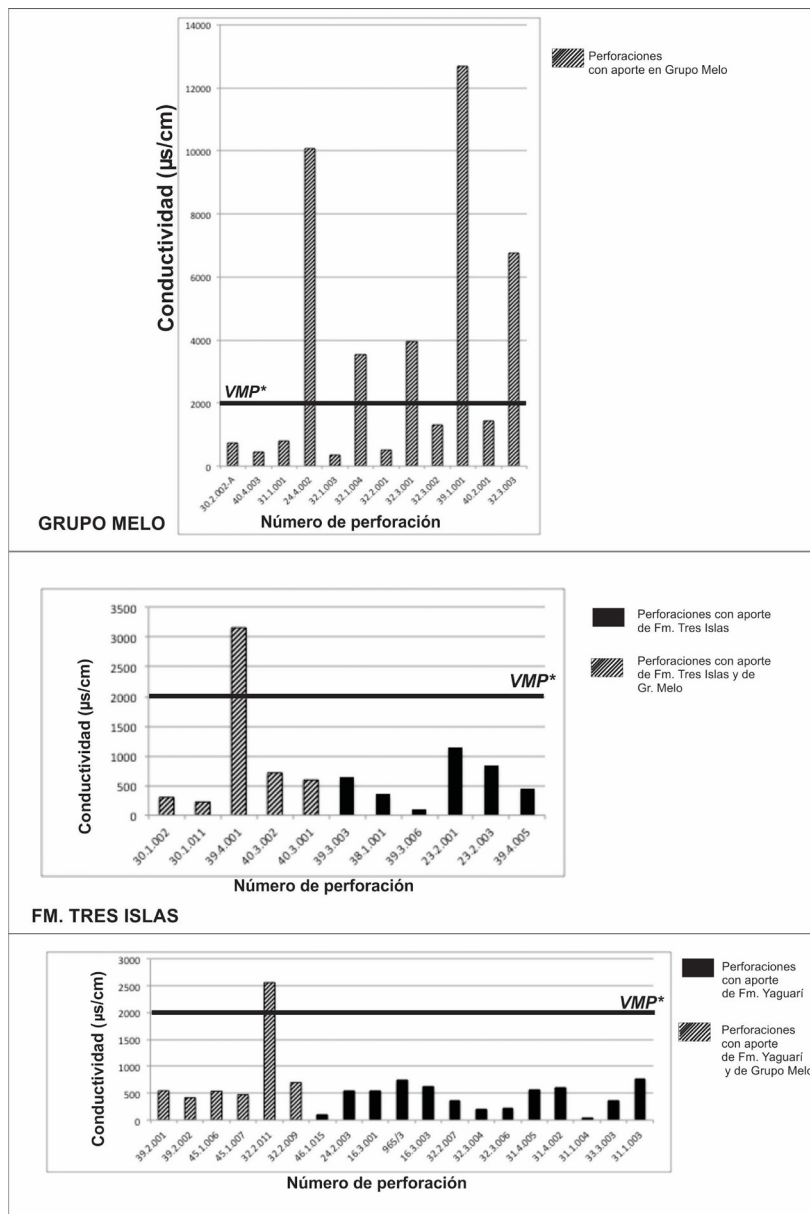


FIGURA 5. Conductividades en perforaciones con aportes de Grupo Melo, de la Formación Tres Islas y de la Formación Yaguarí, discriminando valores para aportes mixtos. Nótese el límite del valor máximo permitido (VMP) en 2000 µs/cm.

FIGURE 5. Conductivities from wells with contributions from Melo Group, Tres Islas Formation and Yaguarí Formation, discriminating mixed contributions. Note the limit of the maximum allowed value (MAV) at 2000 µs/cm.

Dureza: Se analizan los valores de dureza definida como la “concentración total en peso del contenido de Ca^{+2} y Mg^{+2} expresada como equivalentes de CaCO_3 y expresada en ppm o mg/l” (Custodio y Llamas, 1983). La distribución de valores en el área de estudio es aleatoria (ver [Figura 6](#)). Se detecta sólo un caso con valores por encima de los máximos permitidos (VMP 500 mg/l según norma UNIT): 1581 mg/l en Las Chircas (Tacuarembó), el cual capta agua del Grupo Melo. Véase Tabla 3. Según los índices de dureza ([Tabla 2](#)) la mayor parte de las perforaciones correspondientes al Grupo Melo presentan aguas duras (entre 150 y 300 mg/l). La Fm. Tres Islas presenta aguas duras,

aumentando sensiblemente la dureza al considerar las perforaciones con aporte mixto (Fm. Tres Islas - Gr. Melo). Para el caso de la Formación Yaguarí también se observa que la mayor parte de los valores corresponden a aguas duras y se registra un solo valor en la categoría “muy duro” en Paso Livindo (Tacuarembó) con una dureza de 467 mg/l (ver [Figura 7](#) y Tabla 3).

Sulfatos: En las perforaciones correspondientes al Grupo Melo se detectaron en 4 de 11 perforaciones analizadas valores anómalos mayores a 400 mg/l: Picada Quirino, Paso de los Novillos y Puntas de Carretera (2 perforaciones), todas ubicadas en el Departamento de Tacuarembó. En el caso de Picada Quirino y Puntas de Carreteras ambos presentan valores extremadamente elevados. Luego se detectó una anomalía de sulfatos en una perforación con aporte mixto de Fm. Yaguarí-Grupo

Clasificación	Ppm CaCO ₃ (mg/l)
Muy suaves	0-15
Suaves	16-75
Medias	76-150
Duras	150-300
Muy duras	>300

TABLA 2: Clasificación de índices de dureza del agua.

TABLE 2: Classification of water hardness indices.

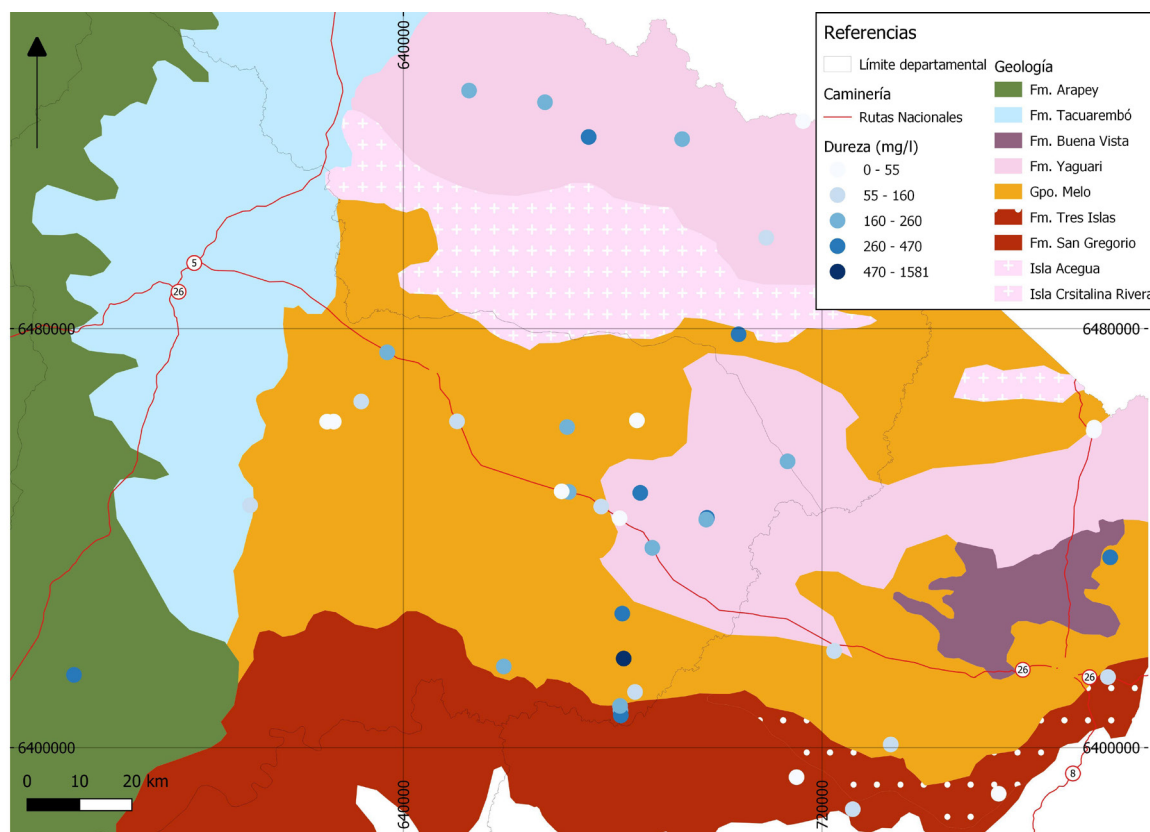


FIGURA 6. Mapa ilustrando los valores de dureza
FIGURE 6. Map illustrating hardness values.

Melo, correspondiente a la localidad de Los Rosas en Tacuarembó (ver [Figura 8](#)).

Sodio: En las perforaciones que captan agua del Grupo Melo se observa que el 50% de las perforaciones presentan valores de Na por encima del VMP, llegando a valores muy elevados de hasta 700 mg/l y en una caso particular un valor extremadamente elevado (2.411 mg/l en Las Chircas). En perforaciones que captan agua de la Fm. Tres Islas no se observan valores anómalos pero cuando reciben aporte mixto (Fm. Tres Islas-Grupo Melo) se detectan valores muy elevados de hasta 600 mg/l. La Formación Yaguarí no presenta problemas de Na. Véanse los histogramas de la Figura 8 y mapa correspondiente de la [Figura 9](#).

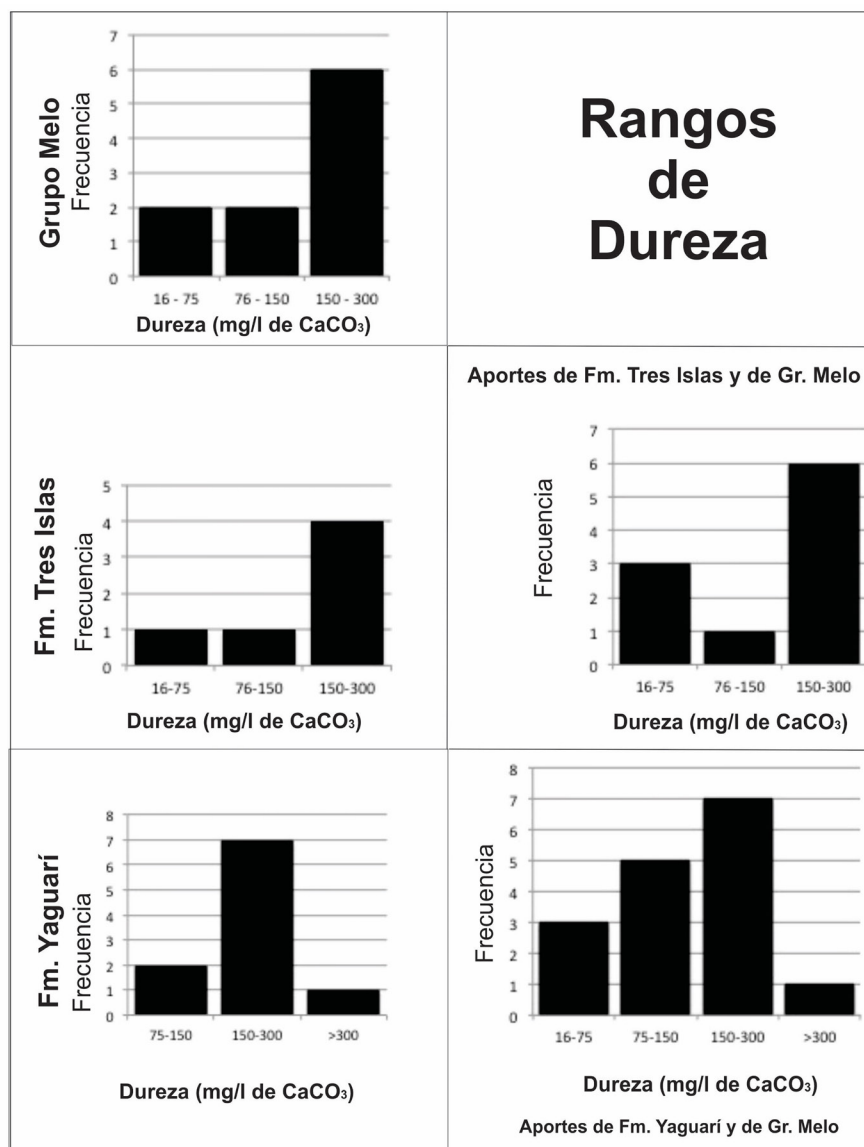


FIGURA 7. Dureza del agua en función de la frecuencia de pozos con aporte del Grupo Melo, de la Fm. Tres Islas, de la Fm. Yaguarí, y con aportes mixtos.

FIGURE 7. Water hardness depending on the frequency of wells with contributions from the Melo Group, the Tres Islas Fm., the Yaguarí Fm. and mixed contributions.

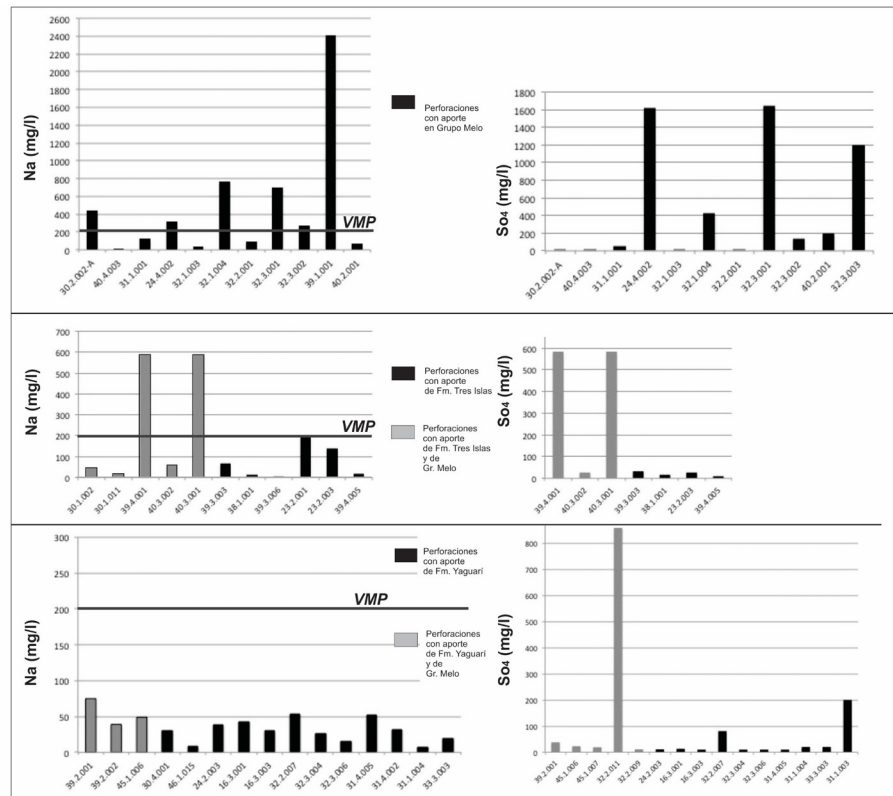


FIGURA 8. Concentraciones de sodio (izquierda) y de sulfato (derecha) en perforaciones con aportes del Grupo Melo, Fm. Tres Islas y Fm Yaguarí, discriminando aportes mixtos.

FIGURE 8. Sodium and Sulfate concentrations in wells with contributions from the Melo Group, the Tres Islas Formation and from the Yaguari Formation, discriminating mixed contributions.

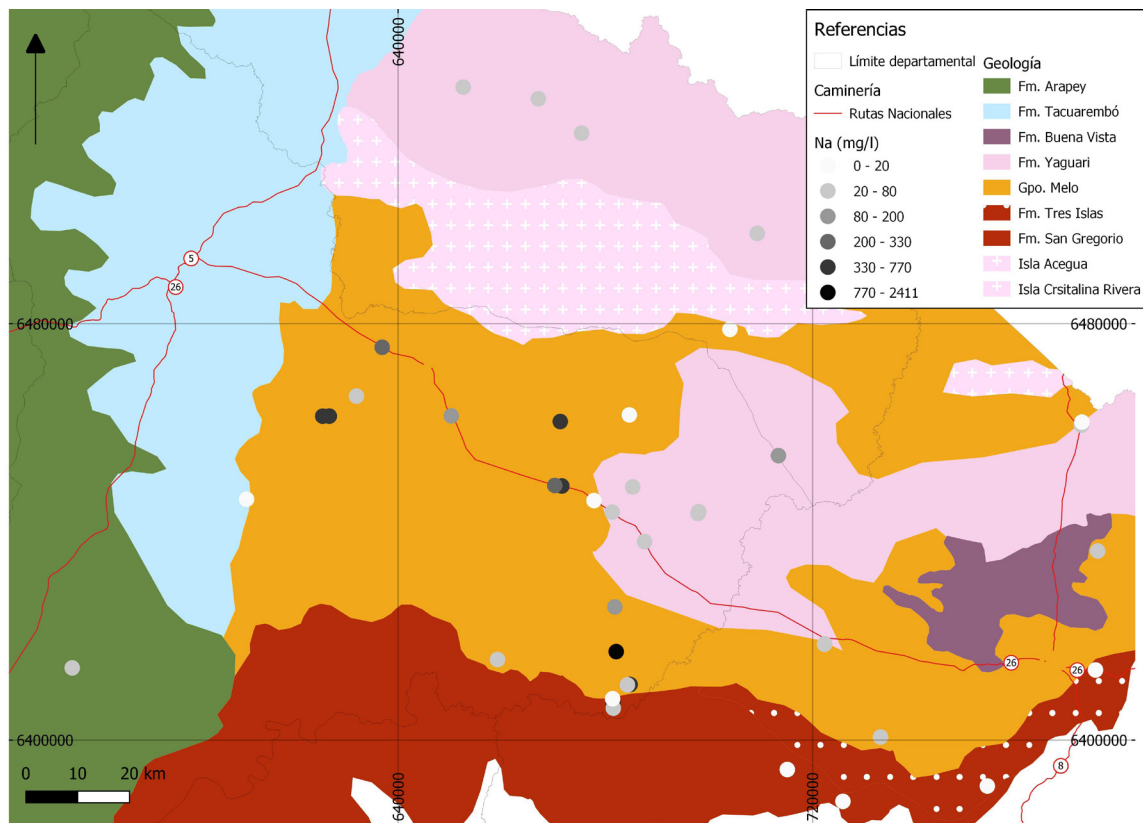


FIGURA 9. Mapa ilustrando los valores de las concentraciones de sodio.

FIGURE 9. Mapa illustrating sodium concentration values.

Hierro: Se observan cuatro casos con anomalías de hierro en perforaciones geológicamente correspondientes al Grupo Melo; un solo caso anómalo correspondiente a perforaciones con aporte mixto desde el Grupo Melo y Formación Tres Islas; y tres casos cuyos aportes provienen de la Formación Tres Islas.

Manganeso: Se detectan tres casos con manganeso elevado correspondientes a aportes desde el Grupo Melo y un valor elevado en la Formación Tres Islas; mientras en el acuífero Yaguarí se detectan dos perforaciones con anomalías de Mn correspondientes a aporte mixto de Grupo Melo y Acuífero Yaguarí.

Zona UTM	X UTM	Y UTM	Z (m)	Departamento	Localidad/ Escuela (PPLER)	Q (m3/h)	Prof. (m)	NE (m)	Unidad Hidro Geo.	Conductividad (µs/cm VMP 2000)	Cl (mg/l) VMP 250	Na (mg/l) VMP 200	F (mg/l) VMP 1.5	Dureza (mg/l) VMP 500	Alcalinidad total (mg/l) VMP NE
21 J	771900	6460508	136	Cerro Largo	Isidoro Nobila	7	205	1,14	GM/TI	301	18	46		44	101
21 J	771994	6461083	129	Cerro Largo	Isidoro Nobila	36,6	163	0	GM/TI	224	6,9	17		43	63
21 J	782262	6461293	155	Cerro Largo	La Mina - E60	0,48	33	15,22	Y						
21 H	775046	6436324	150	Cerro Largo	Pueblo Nando - E34	0,66	62	18,4	Y	567	7,7	30		294	293
21 H	774622	6413476	96	Cerro Largo	La Pedrera	1,7	130	0	TI	355	10	15	2,7	153	157
21 H	725863	6388232	227	Cerro Largo	Cerro de las Cuentas	1,32	37,8	11,6	SG/TI	228	21	13	0,69	98	87
21 H	722333	6418485	151	Cerro Largo	Ramón Trigo - Esc. 83	0,4	60	9,5	GM/Y	546	48	75		98	160
21 H	722297	6418412	149	Cerro Largo	Ramón Trigo - Esc. 83	1,2	32	5	GM/Y	418		39		133	163
21 H	732833	6400267	150	Cerro Largo	Fraile Muerto	12	198	20	TI						
21 H	733113	6400596	150	Cerro Largo	Fraile Muerto	12	176	22,67	GM	638	57	66	0,67	159	190
21 H	715125	6394351	137	Cerro Largo	Tres Islas	2,5	60	7,35	TI	104	3,7	2,5		53	60
21 H	753733	6391184	209	Cerro Largo	Guazuambí	6,1	93	21,2	Y	105	8,2	8,2		24	29
21 H	740815	6385255	222	Cerro Largo	Ganem - Esc. 33	0	70		GM/Y						
21 H	741124	6384834	225	Cerro Largo	Ganem - Esc. 33	0	80		GM/Y						
21 H	740551	6385549	216	Cerro Largo	Ganem - Esc. 33	0	130		GM/Y	312					
21 J	641523	6397541	137	Durazno	Cuchilla de Ramirez - E57	1,2	102	4,61	GM	455		17		192	211
21 H	517284	6334221	87	Durazno	Los Tapes - E23	2,5	64	7,1	SG/B	661	15	67	0,65	212	314
21 J	716366	6519604		Rivera	Cerrillada	0,25	21		Y		5			54	56
21 J	716407	6519737		Rivera	Cerrillada	0,2	18		Y						
21 J	652561	6525438	58	Rivera	La Calera - E13	1,8	18,7	6,6	Y	551		43		221	274
21 J	667067	6523202	157	Rivera	Tres Puentes - E104	7,2	96	7,01	Y	619		30		256	301
21 J	709331	6497335	163	Rivera	Arroyo Blanco	7,2	55	4,81	Y	359	15	41		152	102
21 J	725524	6495854	139	Rivera	Hospital	1,2	33	2,5	TI	1147	107	197		153	359
21 J	725493	6495900	130	Rivera	Hospital	0,8	62	3,4	TI	831	50	139		144	350
21 J	712583	6477782		Rivera	Alborada (Plano 27348)	1	26	3,9	Y						
21 H	704054	6478896	159	Rivera	Chircas de Caraguatá	1,8	30	3,15	Y	553		12		287	263
21 H	675411	6516573	191	Rivera	Cerro Pelado	5,2	40	8,08	Y	550		38		314	229
21 H	713413	6454646	137	Rivera	Sarandí del Río Negro	1,2	56		GM	799	13	122	0,65	192	364
21 J	693271	6516166		Rivera	La Puente	6,6	62	5,02	Y	739	29			219	305
21 J	636923	6475459	238	Tacuarembó	Picada Quirino - E41	0	60		GM	10061	2688	313		169	75
21 J	635837	6475043	276	Tacuarembó	Poblado Heriberto	0	60		GM						
21 J	635849	6474405	135	Tacuarembó	Poblado Heriberto	0	25		GM						
21 H	700470	6454698	142	Tacuarembó	Paso Mariano	0	100		Y						
21 H	700469	6454668	146	Tacuarembó	Paso Mariano	0	44		Y	770					
21 H	684631	6462465	179	Tacuarembó	Puntas de Cinco Sauces	5	30	5,12	Y	48		7,5		14	
21 H	698012	6443869	149	Tacuarembó	Caraguatá al Norte	1,2	70	8,3	Y	608	14	32		295	314
21 H	687372	6437669		Tacuarembó	Toscas de Caraguatá	4,2	51	7,12	Y						
21 H	687569	6438134	112	Tacuarembó	Toscas de Caraguatá	12	22		Y	559	0,5	52		201	258
21 H	685326	6449425		Tacuarembó	Paso Linvido	0	56		Y						
21 H	685273	6448631	110	Tacuarembó	Paso Linvido - E100	6	30	3,73	Y	366		53		467	78
21 H	697879	6443530	141	Tacuarembó	Caraguatá al Norte - E38	3	60	3,8	GM/Y	700	26	47		192	295
21 J	644710	6472253		Tacuarembó	Ansina	0,5	55,5	6,5	Y/SG						
21 H	631920	6466302	106	Tacuarembó	Pueblo Semper	0	90		GM						
21 J	631950	6466075	104	Tacuarembó	Pueblo Semper - E135	1	11	3,7	GM	360		34		138	169
21 H	650269	6462280	128	Tacuarembó	Pueblo del Barro - (PL)	1,2	38		GM	526		88	0,59	86	270
21 J	671297	6461198	320	Tacuarembó	Los Rosas	3	90	1	GM/Y	2561	136	474	0,71	176	256
21 H	650229	6462336	123	Tacuarembó	Pueblo del Barro	0	43		GM/Y						
21 J	672204	6461192	143	Tacuarembó	Los Rosas	0	70		GM/Y						
21 H	671607	6448811	135	Tacuarembó	Puntas de Carretera	0,25	60	0	GM	3960		701		228	252
21 H	670240	6448916	132	Tacuarembó	Puntas de Carretera	0,25	70	8,1	GM	1317	47	276	0,65	32	422
21 H	674573	6448005	111	Tacuarembó	Puntas de Carretera	0,6	100		GM	6760					
21 H	681320	6443793	151	Tacuarembó	Las Arenas	2,9	44	3	Y	197		26		47	95
21 H	677114	6446439	139	Tacuarembó	Las Arenas	0	50		GM/Y						
21 H	677807	6446012	138	Tacuarembó	Las Arenas	0,4	44	1,7	Y	216		16		79	89
21 H	610749	6446275	167	Tacuarembó	Cerros de Clara	0,55	30	12,5	Y	361	30	19		93	75
21 H	682099	6416995	110	Tacuarembó	Las Chircas - E29	0,2	69	22,8	GM	12670		2411		1581	107
21 H	681831	6425579	125	Tacuarembó	Cerro Pereira	1,2	27	2,13	GM	944	60	145	1	419	178
21 H	684783	6410673		Tacuarembó	Las Pajas	0,8	80	23,15	GM/TI	3160	564	588	3		
21 H	684268	6410620	129	Tacuarembó	Las Pajas - PPLER	2,4	80	23,8	GM/TI	2762	555	49	2,9	142	339
21 H	681491	6407095		Tacuarembó	Las Pajas - PPLER	1,3	60	0,38	GM/TI	594	76	588	3	195	212
21 H	681544	6406144	106	Tacuarembó	Las Pajas	2,5	30	14,5	GM/TI	714	19	61	3	287	288
21 H	681407	6407952	116	Tacuarembó	Las Pajas	5	22		TI	444		19	0,79	203	206
21 H	659187	6415483	104	Tacuarembó	Los Feos - E128	1	75	8	GM	1426	143	66	1	242	292
21 H	679015	6422134	117	Tacuarembó	Las Chircas	0	55		GM						
21 H	679108	6424041	143	Tacuarembó	Las Chircas	0	40		GM						
21 H	577087	6413871	175	Tacuarembó	Achar	1,8	25	9,2	Y	622	15	35		306	268
21 H	626714	6462234	103	Tacuarembó	Paso de los Novillos	4	40	0	GM/B	3210	687	629	0,81	21	129
21 H	625444	6462221	103	Tacuarembó	Paso de los Novillos	0,45	50	3	B	3530	760	763	0,67	28	131
21 H	626230	6462105	104	Tacuarembó	Paso de los Novillos	0	50		GM/B						
21 H	624612	6463147	126	Tacuarembó	Paso de los Novillos	0	8,5		A/B						
21 H	625064	6462677	102	Tacuarembó	Paso de los Novillos	0	53		GM/B						

TABLA 3: Ubicación, principales características y datos químicos de las perforaciones.

TABLE 3. Location, main characteristics and chemical data of the perforations.

Zinc: Solamente se detecta un valor anómalo correspondiente al Grupo Melo, en Isidoro Noblía (Cerro Largo): Zn 5,4 mg/l, siendo el VMP 4 mg/l.

CONCLUSIONES

1. La zona de estudio abarca una extensión de 20.000 km² donde se desarrollan una gran cantidad de pequeñas localidades. Los acuíferos que se explotan presentan una calidad de agua muy variable lo que determina que para el abastecimiento de agua a la población se deban realizar estudios específicos de manera de alumbrar agua potable.

2. La química del agua subterránea en una unidad no es uniforme, pudiendo variar por regiones. En muchos casos la presencia de una o varias unidades con mayor probabilidad de contener anomalías en una región puntual determina que un pozo sea posible de explotar y otros deban ser descartados por la mezcla con aguas. En muchos casos pozos muy cercanos.

3. La Formación Yaguarí es la que se presenta como la más estable en calidad siendo muy puntuales los lugares donde el agua no se puede consumir directamente. Las conductividades varían entre los 500 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una tendencia a crecer en profundidad. El pH no presenta ninguna particularidad. Las aguas son duras y el sulfato es en general menor a 200 mg/l. Los cloruros no presentan anomalías y el sodio esta en general por debajo de los 100 mg/l. Los valores de F, Fe, Mn y Zn se presentan por debajo de lo establecido por la norma de agua potable.

4. El agua presente en el Grupo Melo es la que presenta los valores más anómalos y que no sólo en general no puede ser aprovechada directamente para el consumo, sino que el contacto de estas aguas con aguas de los demás acuíferos puede influir negativamente en la calidad del agua de mezcla. Si bien estos sedimentos se clasifican como acuitardos en muchas ocasiones se producen pequeños filtrados a nivel de bajas porosidades como de discontinuidades estructurales o fracturas que aportan pequeños caudales de agua subterránea de muy mala calidad. Es en estos sedimentos que se han medido los valores más altos en conductividad ($>10000 \mu\text{S}/\text{cm}$) siendo normales los valores superiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A esto se le asocian valores altos en cloruros y sodio.

5. Se recomienda no realizar perforaciones con un diseño tal que tengan aporte mixto de Fm. Yaguarí-Grupo Melo o de Fm. Tres Islas-Grupo Melo, para tratar de salvaguardar las condiciones de potabilidad del agua extraída de Fm. Yaguarí y de la Fm. Tres Islas. En las perforaciones que sólo es

posible la captación de agua del Grupo Melo, la probabilidad de obtener valores anómalos es mayor en las perforaciones de profundidad mayor a 50m.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSSI, J., FERRANDO, L., MONTAÑA, J., CAMPAL, N., MORALES, N., GANCIO, F., SCHIPILOV, A., PIÑEIRO, P., SPRECHMAN, P. (1998) **Carta geológica del Uruguay 1/500.000, Cátedra de Geología - Facultad de Agronomía, Geoeditores.**
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, E. (1983) **Hidrología Subterránea.** Tomo 1 y 2. Editorial Omega. España.
- CAPECI, S. (2013) **Estudio hidrogeológico del Sistema Acuífero Carbonífero-Pérmico Uruguayo.** Trabajo final de grado. Facultad de Ciencias, UDELAR. 205pp.
- DE SANTA ANA, H. & GUTIÉRREZ, L. (2000): **Formación Mangrullo (Cuenca Norte, Uruguay): estratigrafía y recursos minerales asociados.** Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 7: 2-14.
- MONTAÑO, J., GAGLIARDI, S., MONTAÑO, M. (2006a) **Recursos hídricos subterráneos del Uruguay.** Boletín Geológico y Minero, 117 (1): 201-222.
- MONTAÑO, J., PEEL, E., PÉREZ, A. (2006b) **Hidrogeología del Paleozoico de la Cuenca Norte.** In: Cuencas Sedimentarias del Uruguay. DIRAC-Facultad de Ciencias. pp. 281-302.
- PÉREZ, A., PAMOUKAGHLIAN, K., SAMANIEGO, L. (2016) **Problemas de Calidad en los Acuíferos Pérmicos de la Región Noreste de Uruguay.** VIII Congreso Uruguayo de Geología, Resumen. CD Actas. Montevideo Poder Ejecutivo, República Oriental del Uruguay. (2011). Decreto 375/011. Modificación al Reglamento Bromatológico Nacional. Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales, República Oriental del Uruguay. Diario Oficial N° 28.348, del 14 de noviembre del año 2011. Recuperado de <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/375-2011>
- SCAGLIA, F. (2013) **Estudio petrogenético del Sill de Cuaró, Departamento de Tacuarembó, Uruguay.** Tesis de Maestría. PEDECIBA. 185pp.
- UNIT, Agua Potable-Requisitos 2010. Recuperado de <http://www.aiqu.org.uy/documentos/medioambiente/unit>.