

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DEL URUGUAY: IMPORTANCIA Y APROVECHAMIENTO ACTUAL

GROUNDWATER RESOURCES IN URUGUAY: IMPORTANCE AND PRESENT USE

Montaño, J.*; Gagliardi, S.; Montaño, M.

*Facultad de Ciencias, Iguá 4225. C.P. 11400. Montevideo, Uruguay

Email: montanox@movinet.com.uy

RESUMEN

Tradicionalmente el uso de los recursos hídricos en el Uruguay se sustentó en la explotación de las aguas superficiales derivado de la gran densidad de su red hidrográfica. A partir de 1950 comenzó la utilización intensiva de los recursos hídricos subterráneos, principalmente para abastecimiento humano de centros poblados del interior del país, cubriendo actualmente el 70% de estos casos. Esta evolución fue consecuencia principalmente del menor costo del agua subterránea, su disponibilidad y buena calidad. A partir de 1980 se intensifica aún más el uso del agua subterránea, principalmente con el fin de satisfacer las demandas de riego en los sectores productivos de hortalizas, tanto a cielo abierto como en invernadero, árboles frutales e industria lechera. También fue utilizado como un recurso estratégico para impedir el ingreso de cólera al país en los años 90 con un programa fronterizo de abastecimiento de pequeñas comunidades.

Además, se distingue la utilización de acuíferos termales y surgentes del Sistema Acuífero Guaraní, como fuente de abastecimiento de complejos turísticos termales, en un área reducida pero con un potencial hídrico importante cuya explotación genera una de las mayores entradas de divisas para el país por turismo regional.

Igualmente se puede establecer que Uruguay no presenta una riqueza hídrica subterránea importante, debido que casi un 65% de sus acuíferos son fisurados, el resto está compuesto por acuíferos porosos de variada potencialidad.

Palabras clave: acuíferos, calidad de aguas, reservas explotables, Uruguay

ABSTRACT

Traditionally the use of the water resources in Uruguay was based on the exploitation of surface waters due to the great density of the hydrographic network. The intensive use of the groundwater resources began after 1950, mainly for supplying small towns within the country; nowadays this practice covers the 70% of the country. Basically, this evolution was a consequence of the lower cost of the groundwater, its availability and good quality. Since 1980 the use of the groundwater has been intensified even more, mainly with the purpose of satisfying different demands like vegetable plantation irrigation - either in the open air or in greenhouse- fruit trees and milk industry. Evenmore, it has been used as an strategic resource to prevent the entrance of cholera to the country during the 1990 decade through a program for supplying water to small communities in the frontier area.

In addition, it is marked out the use of thermal and flowing aquifers belonging to the Guaraní Aquifer System as water suppliers for thermal spas and hotels in a reduced area, eventhough having a great hydric potencial whose exploitation yields one of the major foreing currency entrance because of regional tourism.

Moreover, it can be stated that Uruguay do not present an important groundwater wealth because the 65% of its aquifers are fisurated and the others are pourous with diverse potentiality.

Keywords: aquifers, quality of waters, exploitable reservations, Uruguay

INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende realizar un aporte en el sentido de delimitar los principales acuíferos del país, separando las áreas donde se encuentran acuíferos sedimentarios y acuíferos fisurados, además de brindar una visión sobre el nivel actual de aprovechamiento del recurso, su importancia estratégica y la necesidad de creación de un marco de gestión sustentable del mismo.

DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL MUNDO

Aproximadamente existen en el planeta unos 1400 millones de kilómetros cúbicos de agua (Tabla N° I), de los cuales el 97,4 % es agua marina salada no apta para el consumo humano sin tratamiento previo.

El agua dulce no predomina, representa apenas el 2,6% de agua del mundo. Su distribución no es uniforme: las dos terceras partes se encuentran en estado sólido en los glaciares y casquetes polares, o sea, de difícil acceso al consumo humano. El resto se encuentra en ríos, acuíferos, lagos, nubes y en el cuerpo de los seres vivos.

Respecto al agua dulce, la mayor concentración se encuentra en los casquetes polares (1,9 %) en forma de hielo, lejos de los ámbitos poblados. En los continentes, el volumen de agua almacenado hasta unos 1000 m de profundidad representa aproximadamente el 0,5% del total, superando la disponible instantáneamente en ríos y lagos (0,02%). Sin embargo, algunos ríos como el Río de la Plata, que con un módulo de 20.000 m³/s, podría por sí solo abastecer a la población mundial (5.000 millones), a razón de 345 l/día por habitante.

En resumen se puede establecer que solo el 0,52% del agua mundial está disponible, es dulce, líquida y solo el 0,02% es superficial. El volumen total de agua no varía pero circula permanentemente entre el mar el cielo y la tierra; de esta circulación dependen directamente los recursos de agua dulce de todas las regiones. Sin embargo, la estamos deteriorando a una gran velocidad. Cada día es más difícil y costoso encontrar agua segura para el consumo humano. La situación mundial no es nada alentadora. Las Naciones Unidas calculan que una cuarta parte de la humanidad no tiene asegurado el abastecimiento de agua dulce. Para el año 2005 seremos 6100 millones de per-

Estados de Agua	Superficie (km ²)	Volumen (km ³)	Espesor (m)	Parte proporcional en las reservas mundiales	
				(%) en el total de las reservas de agua	(%) en las reservas de agua dulce *
Océanos	371.000.000	1.328.000.000	3.580	97,4	
AGUA ALTERNATIVA (potencial y real)	174.000.000	20.000.000	114	1,6	
Reserva de agua subterránea	136.000.000	10.500.000	77	0,15	70,4
Humedad del suelo	32.000.000	0,700	0,02	0,001	0,005
AGUAS Y RESERVA SUPERFICIALES	38.000.000	20.000.000	1,700	1,1	100,0
Glaciares	12.000.000	21.000.000	1.750	1,08	81,000
Lagos y ríos	1.000.000	2.000.000	2.000	0,01	0,010
Reserva de agua dulce	200.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Reserva de agua dulce disponible	2.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Reserva de agua dulce líquida	2.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	140.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	50.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	50.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	50.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	50.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001
Agua dulce líquida disponible	140.000.000	0,001	0,001	0,000001	0,000001

TABLA N° I. Distribución del agua en el planeta. (según UNESCO 1980)
 TABLE 1. Distribution of the water in the planet. (following UNESCO 1980)

(*) Sin contar las reservas de aguas subterráneas en la Antártida, que aproximadamente se calculan en 2x10⁶ km³, entre ellas fundamentalmente las dulces de cerca de 1x10⁶ km³.

Recursos hídricos subterráneos del Uruguay...

sonas, y si se considera en 200 l el consumo por día y por persona, la demanda mundial será de 1220 millones de m³. Pero como el agua en el mundo no aumenta, la que tenemos hoy es la misma que hemos tenido siempre, es imperioso para la humanidad estudiar y resolver el problema del manejo y preservación de este recurso.

El agua superficial está más expuesta a la contaminación y generalmente es mucho más cara, por el tratamiento que necesita para su potabilización, que la subterránea. Por ello, la mayoría de los países desarrollados, que se caracterizan por optimizar los usos de los recursos naturales, el empleo de agua subterránea para consumo humano, supera apreciablemente a la del agua superficial (Tabla N° II).

Resulta interesante también, indicar el consumo total de agua en el mundo y su evolución his-

tórica, así como la distribución con relación al uso (Tabla N° III).

En la Tabla N° III se observa que la agricultura tiene un predominio neto como consumidor de agua dulce, alrededor del 70% del total extraído desde 1900, frente al consumo humano que sólo incidió en el 6%. A escala mundial, la superficie de regadíos se ha multiplicado por cinco en los últimos 90 años, pasando de 47,3 millones a 272 millones de has.

El agua es el único elemento irremplazable en la naturaleza y sin ella finalizan todas las posibilidades de vida. El hombre moderno ha ignorado esto. Apreciemos en la Tabla N° IV una comparación entre la disponibilidad de agua que tuvo el mundo en 1950 y la que tendrá en el año 2005, discriminada por continentes.

	TOTAL Km ³ /año	Agua subterránea para uso humano (%)
Alemania	0.21	57
Bélgica	0.37	26
Dinamarca	0.79	68
Francia	5.06	59
Italia	0.96	30
Holanda	1.13	43
Inglatera	2.68	22

TABLA N° II. Extracción de agua en Europa (Auge 1998)
TABLE II. Extraction of water in Europe (Auge 1998)

Año	Consumo total Km ³ /año	Agricultura		Industria		Agua Potable	
		Km ³ /año	(%)	Km ³ /año	(%)	Km ³ /año	(%)
1900	400	280	70	10	7	20	5
1950	1100	770	70	120	20	60	5.5
1975	3700	2300	70	650	22	130	3
2000	3200	2100	66	1200	25	600	7

TABLA N° III. Uso del agua en el mundo (Auge 1998)
TABLE III. Use of the water in the world (Auge 1998)

	1950	2005
EUROPA	6	4
ASIA	0.6	3.3
AFRICA	20.6	5.1
AMÉRICA LATINA	107	22.2

TABLA N° IV. Disponibilidad en metros cúbicos de agua por persona. 1950-2005. (Auge 1998)
TABLE IV. Water availability in cubic meters for person. 1950-2005. (Auge 1998)

La tabla anterior dimensiona el reto. El agua dulce va a ser en los próximos 15 ó 20 años el problema ambiental y político más decisivo que enfrentará la humanidad. Sin embargo, estas estadísticas son generales, no revelan lo que pasa país por país, dónde encontramos desbalances abrumadores: mientras casi tres cuartas partes de la población mundial sólo puede disponer de 59 l por día, cada estadounidense consume 1000 l de agua por día de promedio.

A este respecto es conveniente recordar la sentencia que en materia de disponibilidad de agua dictó la Constitución de la Organización Mundial de la Salud en 1946: “La salud de todos los pueblos es condición indispensable de la paz y la seguridad”, el acceso fácil al agua contribuye a mejorar la salud y hasta el aspecto estético de la población.

La disponibilidad de agua es uno de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. El tema afecta directamente la vida de millones de personas. Durante el siglo XX se constató un aumento acelerado de la demanda de agua debido, básicamente, a:

- el crecimiento de la población, la constante y creciente utilización del agua en el riego de cultivos, la demanda de la industria, y la degradación y sobreexplotación de los recursos hídricos.

Se debe considerar además que la disponibilidad de agua es básica para optimizar y aumentar la producción de la mayoría de los cultivos alimenticios.

Este panorama mundial ha llevado a que varios organismos internacionales y prestigiosos grupos científicos vaticinen, con fuertes argumentos, que en los próximos cincuenta años los problemas inherentes a la falta de agua o a la contaminación de las masas de agua (superficiales y subsuperficiales) afectarán concretamente al mundo entero.

Importancia de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas representan un recurso de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de cualquier país, pudiendo ser utilizadas para abastecimiento público, riego, realización de emprendimientos turísticos (aguas

termales), etc. Entre 1900 y 1995, la extracción de agua se sextuplicó sobrepasando el doble de la tasa de crecimiento de la población.

Varias son las razones que explican el importante y esencial papel de las aguas subterráneas cuando se las compara con las aguas superficiales: en algunos casos notable almacenamiento asociado; mayor protección frente a la contaminación; reducción del riesgo de gérmenes patógenos; frecuente disponibilidad en o cerca del lugar de demanda; puesta a disposición relativamente económica; fácil adecuación de las inversiones al crecimiento; constituyen una reserva de agua de emergencia; relativa facilidad para predecir comportamientos futuros.

Sin embargo, las aguas subterráneas no están exentas de problemas importantes de cantidad, calidad, gestión y prospección. Su alumbramiento requiere a veces importantes esfuerzos exploratorios que deben estar sustentados en estudios geológicos e hidrogeológicos y su extracción debe estar controlada por especialistas en el área hidráulica. La extracción del agua subterránea requiere de energía y además, produce descensos en los niveles piezométricos que aumentan los costos de extracción, reducen o agotan manantiales u otros pozos.

Es importante remarcar que las aguas subterráneas constituyen sistemas muy sensibles en cuanto a un mal uso y abuso del recurso, y a negligencias en la protección de los mismos de procesos de contaminación debidos a distintas causas. Por esto, un manejo sustentable del recurso respecto a su conservación y preservación de la contaminación, y a una explotación razonable, programada en función de las reservas, la recarga y renovación existente, es de suma importancia para lograr los beneficios deseados sin dañar la riqueza natural que este bien representa.

La profundización en el conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, su disponibilidad, características, comportamiento, etc., resulta indispensable para lograr una gestión sustentable de los mismos. Intentando realizar un aporte en este contexto, llevamos a cabo una descripción general de los Recursos Hídricos Subterráneos del Uruguay, su potencial y el nivel de aprovechamiento actual de los mismos.

MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL URUGUAY

En Uruguay, dada la conformación geológica del subsuelo, existen varias regiones que ofrecen la posibilidad de explotar los recursos hídricos subterráneos. Por un lado, en aquellas cuencas sedimentarias que poseen unidades en el subsuelo con buena porosidad y permeabilidad, permitiendo que el recurso agua se aloje en los poros (acuíferos porosos). También es posible extraer agua subterránea en áreas constituidas por rocas cristalinas, en donde el agua se almacena en diaclasas y fallas interconectadas (acuíferos fisurados).

Se presenta en la Figura N° 1 un mapa hidrogeológico esquemático de nuestro país. En el mismo se realiza una gran separación de los acuíferos dividiendo el territorio en tres Provincias Hidrogeológicas, concordando con la carta hidrogeológica del Uruguay escala 1:200.000 (Heinzen et al, 1986): Provincia Hidrogeológica Paranaense, Provincia Hidrogeológica Meridional y Provincia Hidrogeológica Costera. A su vez, cada provincia se divide en subprovincias.

Se distinguen también los acuíferos fisurados

de los sedimentarios y se detallan en el mapa las productividades de los distintos acuíferos, divididas en función de la capacidad específica (q) de las perforaciones:

- Productividad Alta: $q > 4 \text{ m}^3/\text{h/m}$
- Productividad Media: $4 \text{ m}^3/\text{h/m} > q > 2 \text{ m}^3/\text{h/m}$
- Productividad Baja: $2 \text{ m}^3/\text{h/m} > q > 0.5 \text{ m}^3/\text{h/m}$
- Productividad Muy baja: $q < 0.5 \text{ m}^3/\text{h/m}$

Se destaca que en este mapa son consideradas y separadas, además de los principales acuíferos, unidades geológicas de baja permeabilidad (acuitardos), como por ejemplo los sedimentos pérmicos grises o los materiales que componen la Formación Migues (acuífero cretácico de baja permeabilidad).

Esta consideración se realiza en función de que en las áreas de dominio de estas unidades también existe explotación de agua subterránea mediante pozos de gran diámetro (brocales), a pesar de la baja potencialidad de los acuíferos.

Si se compara la productividad de estas perforaciones con otras ubicadas sobre los acuíferos Raigón, Guaraní, Cretácico superior, de las que se obtienen caudales mucho mayores, sin duda que

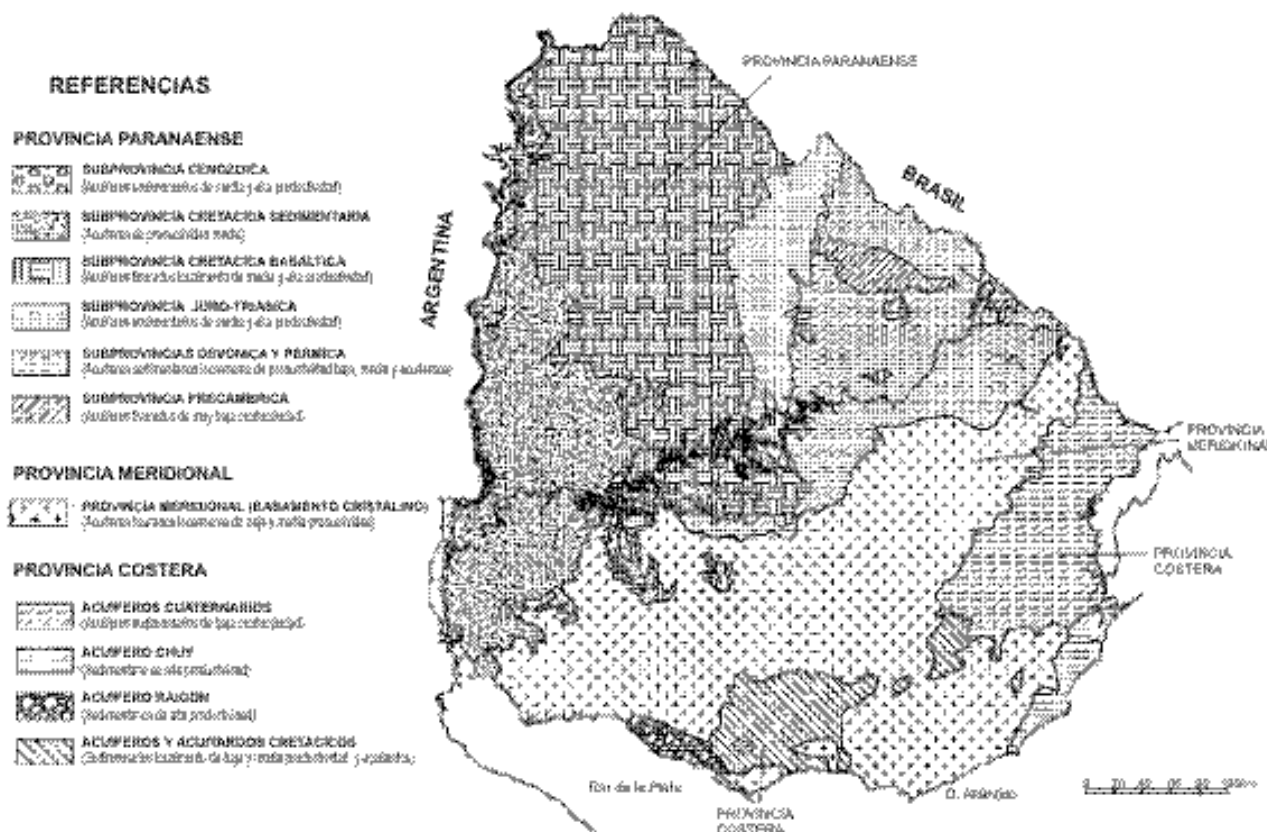


FIGURA N° 1. Mapa hidrogeológico del Uruguay
 FIGURE 1. Hydrogeologic map of Uruguay

su importancia queda totalmente relativizada.

Pero si se considera su importancia en el contexto de las áreas en que se desarrollan, se visualiza que resultan fundamentales en el área rural, no solo desde el punto de vista agrícola productivo sino incluso para el abastecimiento domiciliario. Esto se debe a que en estas zonas los recursos hídricos (no solo los subterráneos) son muchas veces escasos o su aprovechamiento resulta dificultoso.

Para pequeños y medianos productores, que muchas veces no cuentan con corrientes superficiales cercanas, la construcción de una perforación brocal cercana a su vivienda es una solución

aunque esta perforación erogue un caudal mínimo.

Se desprende de la observación del mapa y se comprueba en la Tabla N° V y Figura N° 2, donde se detallan las superficies de afloramiento de los distintos acuíferos, que más del 50% del territorio está ocupado por acuíferos fisurados (Basamento Cristalino y Basaltos), en los que el agua se almacena y circula en fracturas, fisuras y fallas, y ocasionalmente en el manto de alteración. Estos acuíferos tienen la particularidad de que su aprovechamiento depende directamente de la identificación y ubicación de estructuras portadoras.

Acuífero	Formación	Región	Superficie de afloramiento (km ²)	% sobre el total del territorio
Basamento	Medioeval y Pormancas (Subprovincia Porsimbólica)	Partes sur centro y este del País	50 000	28,74
Basaltos	Pormancas (Subprovincia costera basáltica)	NO del País-Dpto. Artigas, Salto, Paysandú y Río Negro	48 000	27,70
Devónico Pérmico	Pormancas (Subprovincia Devónico Pérmico)	N del país	7000	3,93
SAG	Pormancas (Subprovincia Juro Triásico)	N-NO del País - Dpto. Salto, parte de Paysandú - Rivera y Tacuarembó	3 700	2,08
Miércoles Azules y Pando	Pormancas (Subprovincia Costera Berlinoventana)	W del País	18 000	9,44
Migueles	Costera (Acuífero y subunidades costeras)	S del país	5100	2,85
Salto	Pormancas (Subprovincia Costera)	N-NO del País	1 000	0,56
Los Meris	Costera (Acuífero Costero)	E del País - Los Meris	6 000	3,30
Raigón	Costera (Acuífero Raigón)	Sur	2 100	1,18
Otros			30 600	16,99

TABLA N° V. Superficies de afloramiento de las diferentes unidades acuíferas en Uruguay
 TABLE V. Outcrop areas of the different aquifer units in Uruguay

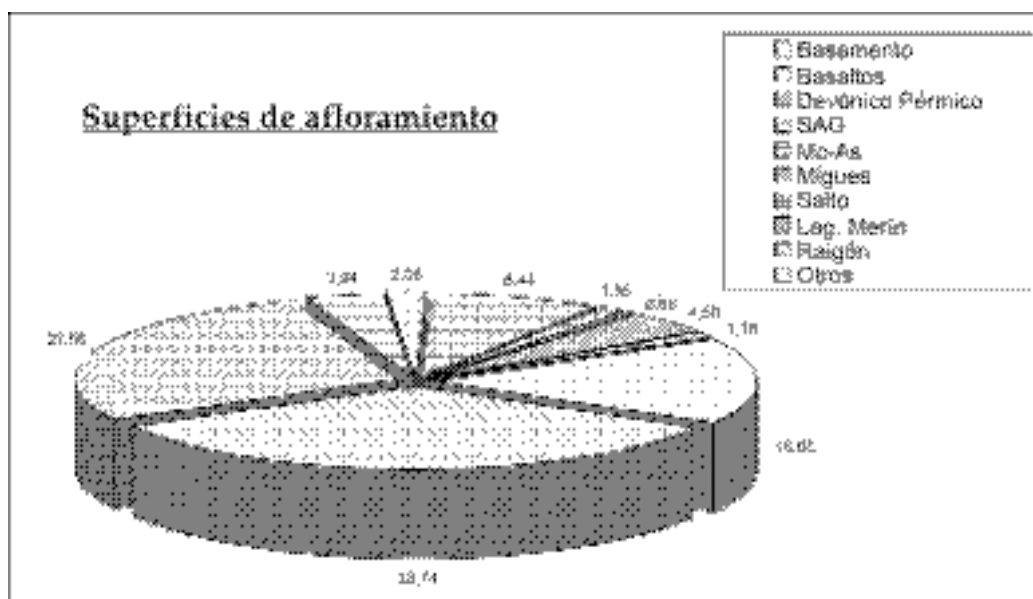


FIGURA N° 2. Superficies de afloramiento de acuíferos sobre el total del territorio
 FIGURE 2. Aquiferous outcrop areas over total of the territory.

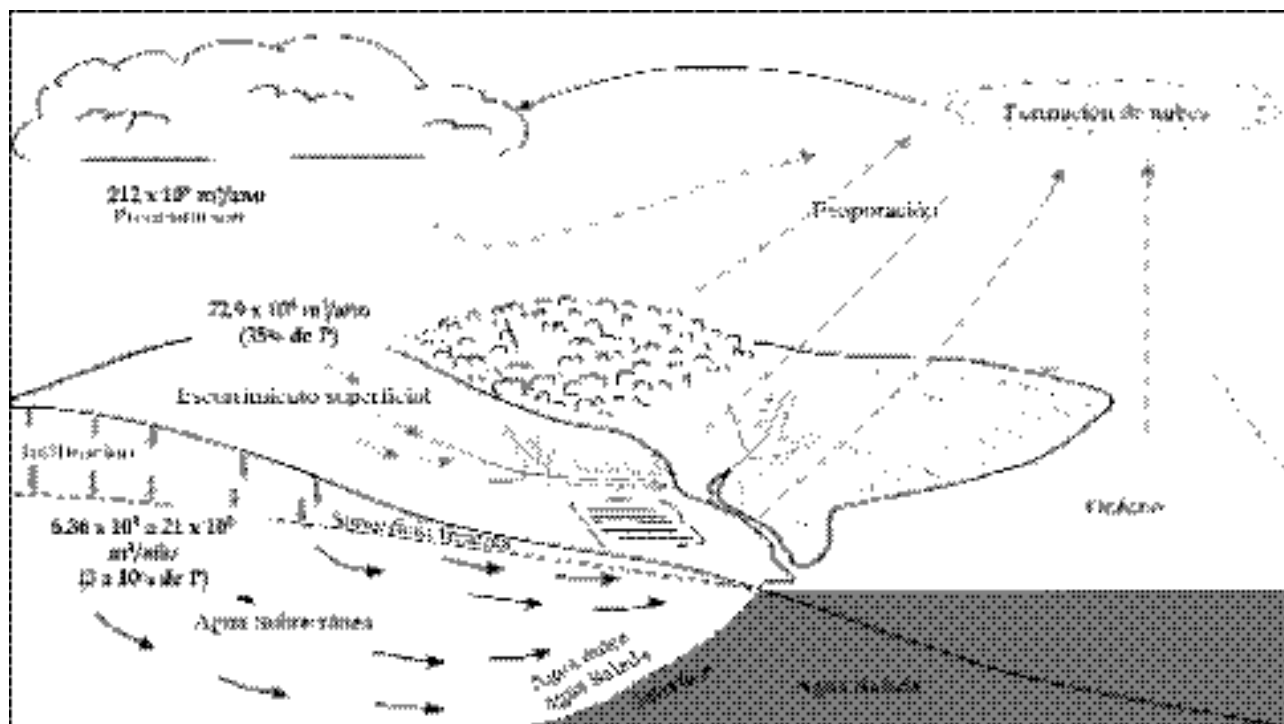


FIGURA N° 3. Ciclo hidrológico. Recarga
 FIGURE 3. Hydrological cycle. Recharge

RESERVAS EXPLOTABLES

Los volúmenes disponibles o reservas explotables de agua subterránea, se pueden evaluar desde el punto de vista de la recarga de los acuíferos del Uruguay. En la Figura N° 3 se observan las distintas etapas del ciclo hidrológico y se destaca que la recarga en nuestro país, se estima entre un 3 y un 10% de las precipitaciones, en función también de un escurrimiento superficial estimado en un 35% de las lluvias recibidas.

Con una precipitación promedio anual de 1200 mm se estima que el volumen de recarga y por lo tanto, de reserva hídrica subterránea renovable y en consecuencia explotable entre 6.36×10^9 a 2.12×10^{10} m³/año aproximadamente (Tabla N° VI).

	JULIO/AÑO	Volumen (m ³ /año)
Precipitación (P)	1200	$2,12E+11$
Escurrimiento (E = 35% de P)	420	$7,42E+10$
Recarga (R = 3 al 10% de P)	36 120	$6,36E+09$ $2,12E+10$

TABLA N° VI. Recarga
 TABLE VI. Recharge

UTILIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO

El ente encargado del abastecimiento público de agua es OSE en el Uruguay (Obras Sanitarias del Estado). El agua subterránea representa actualmente un 28% del total del agua suministrada por OSE, constituye la única fuente de alimentación para 73% de los servicios y es parte del suministro para otro 12% de servicios. La gran mayoría de localidades del interior de nuestro país, se abastece exclusivamente de perforaciones, pues:

- Abastecidas por agua superficial: 53 (17%)
- Abastecidas por agua subterránea: 235 (74%)
- Abastecidas por sistema mixto: 30 (10%)
- Total de servicios en el país: 318 (100%)

En la Tabla N° VII, se detallan los caudales elevados de aguas superficiales y subterráneas para el año 1994, en las diferentes secciones del interior del país.

Se desprende de esta información, y se puede observar en la Figura N° 4, que los departamentos donde el abastecimiento se cubre mayormente con aguas subterráneas son Rivera y Rocha, explotando los acuíferos Guaraní y Chuy, respectivamente.

También es importante la participación del agua subterránea en el abastecimiento de Artigas, Ca-

nelones, Colonia, Florida, Río Negro, San José, Soriano y Tacuarembó, alcanzando o superando el 30% del total.

Además de los volúmenes extraídos, es importante considerar la cantidad de localidades abastecidas por agua subterránea en el interior (74 % del total).

Es de destacar que gran cantidad de pequeñas localidades se encuentran en lugares inadecuados desde el punto de vista de la disponibilidad o del fácil acceso al agua superficial.

En muchos países, antiguamente, las poblaciones se establecían en aquellos lugares en que encontraban condiciones favorables para su mantenimiento. Dos razones llevaban a que un grupo nómada se estableciera en un lugar determinado: la tierra apta para el cultivo y el agua abundante y de buena calidad para abastecimiento humano y del ganado. Estas condiciones propicias se encontraban en general en los valles en el sitio de las fuentes naturales. Luego, cuando sobrevino el tiempo de los ferrocarriles, el trazado de éstos se

Localidad	Agua superficial		Agua subterránea		Total
	m³	%	m³	%	
Artigas	5.500.742	25,45	1.474.694	44,02	6.975.436
Caracas	2.267.771	42,72	1.225.100	37,28	3.492.871
Parícuti - El Barquet	3.194.154	77,26	1.163.719	27,74	4.357.873
Cerro Largo	4.339.679	35,71	629.406	14,79	4.969.085
Colonia	3.400.974	30,74	1.305.314	43,26	4.706.288
Durazno	2.103.451	94,29	29.141	0,01	2.132.592
Florencia	1.763.593	94,00	38.234	0,14	1.801.827
Florida	1.907.410	94,00	39.742	0,01	1.947.152
Lavalleja	4.316.448	94,15	29.631	0,07	4.346.079
Maldonado	17.262.262	25,28	77.122	0,11	17.339.384
Payson	7.583.127	43,17	999.700	2,23	8.582.827
Río Negro	1.700.000	25,23	5.400.000	74,77	7.100.000
Rivera	1.764.754	43,09	2.400.000	56,91	4.164.754
Rosario	2.177.377	45,61	2.575.400	54,39	4.752.777
Salto	6.573.360	33,45	1.330.292	19,00	7.903.652
San José	2.500.910	98,08	1.174.091	31,02	3.675.001
Soriano	3.221.379	42,24	1.427.600	30,71	4.648.979
Tacuarembó	1.397.227	73,24	1.412.400	70,24	2.809.627
Treinta y Tres	2.336.329	47,22	2.599.420	52,78	4.935.749
TOTAL	73.661.460	76,67	22.153.098	23,33	95.814.558

TABLA N° VII: Caudales elevados en el interior del país para abastecimiento público (OSE 1994)
 TABLE VII. High flows inside the country for public supply (OSE 1994)

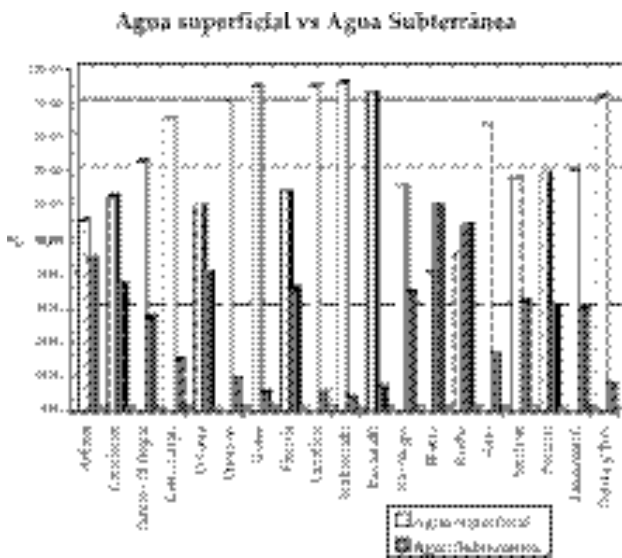


FIGURA 4. Elevación de agua superficial vs agua subterránea (para abastecimiento público).
 FIGURE 4. Elevation of surface water vs groundwater (for public supply).

ajustó a los hechos preexistentes. Las líneas férreas buscaron los centros poblados y de ahí que los trazados fueran, salvo excepción, trazados “de valle”.

En el Uruguay el proceso fue, en muchos casos, inverso. El ferrocarril se desarrolló en un interior casi despoblado, y precedió la constitución de núcleos poblados. Su trazado se proyectó no siguiendo los valles sino las divisorias de aguas, por motivos económicos, o por considerarse que en esa forma se evitaban grandes inversiones en puentes y otras obras de arte.

Esos trazados de “cuchilla” son los que han determinado la formación de centros poblados en sitios hidrológicamente inadecuados. Alrededor de cada estación de ferrocarril, y sin más objeto que el de facilitar el acceso a la vía de comunicación,

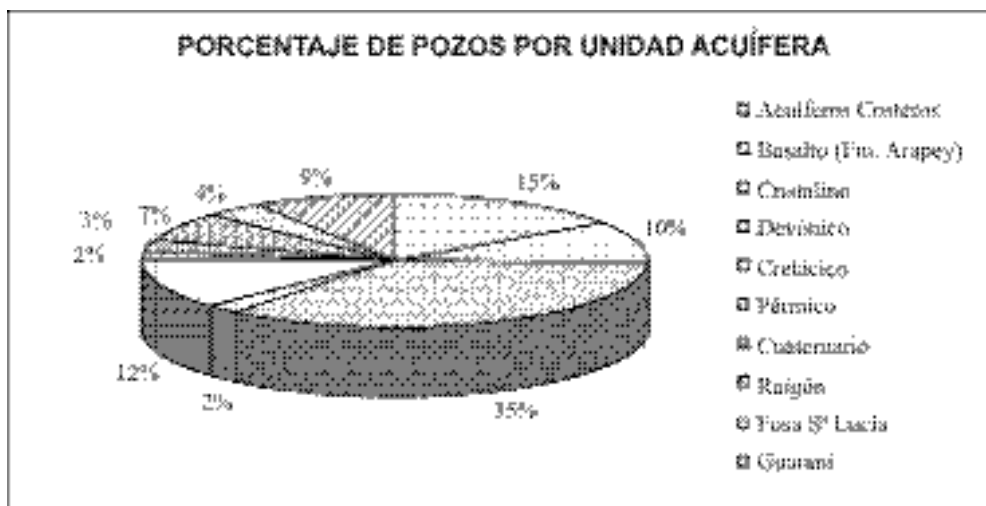


FIGURA N° 5. Porcentaje de pozos por acuífero (para abastecimiento) Fuente: Pérez & Pérez (2002)
 FIGURE 5. Percentage of wells for aquifer (for public supply). (Following Pérez & Pérez 2002)

se instalaba primero una “pulpería” y luego, sucesivamente, una comisaría y unas cuantas viviendas, y poco a poco la subdivisión de la tierra y el amanzanamiento estabilizaban prácticamente el centro poblado.

En muchos casos no puede encontrarse ninguna otra razón para esos agrupamientos, ya que en esas líneas de cumbre que recorre el ferrocarril no hay aguas superficiales y por lo general no existen tierras apropiadas para desarrollar cultivos y asegurar así la vida de la población.

En este marco, la explotación del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de la población se presenta como una solución viable y favorable económicamente.

A esto se debe la gran cantidad de pequeñas poblaciones que se abastecen de esta manera en el interior del país.

La mayor cantidad de pozos para abastecimiento público, en correspondencia con las superficies de afloramiento, se encuentra en áreas de acuíferos fisurados (Basamento Cristalino y Basaltos). Esto se visualiza en la Figura N° 5.

Esta distribución de perforaciones no se corresponde con los volúmenes extraídos en cada unidad acuífera: por ejemplo del acuífero Guaraní se extrae un volumen equivalente al 32% del total captado, siendo que captan este acuífero 9% del total (Figura N° 6) de las perforaciones construidas para abastecimiento público.

En función del análisis anterior, surge la idea de la importancia real y estratégica del recurso hídrico subterráneo en relación al abastecimiento público, en cuanto a:

- disponibilidad: mayor distribución en el territorio en relación con las aguas superficiales

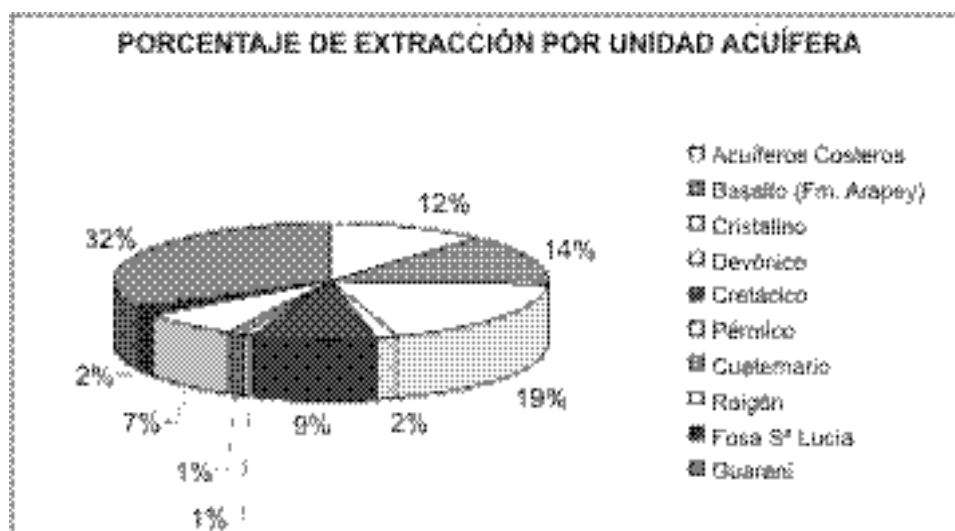


FIGURA N° 6. Extracción de agua en porcentaje por acuífero (para abastecimiento). Fuente: Pérez & Pérez (2002)
 FIGURE 6. Percentual water extraction for aquifer (for public supply). From Pérez & Pérez (2002)

- factibilidad: a primera vista parece más “fácil” tomar agua de una corriente superficial, cuando ésta se encuentra a una distancia razonable. Pero teniendo en cuenta que el agua superficial necesita tratamiento de potabilización y el agua subterránea generalmente no, y que los costos de inversión son mucho menores en una captación de agua subterránea que en una planta potabilizadora, para muchos casos resulta más conveniente la utilización del recurso hídrico subterráneo.

Aunque debe considerarse cada caso en particular, se puede decir que para demandas pequeñas y medianas, en el Uruguay, debido fundamentalmente a la ubicación geográfica de los centros poblados pequeños, el agua subterránea se presenta en general como una mejor solución desde el punto de vista técnico y económico.

UTILIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO

Para analizar la aplicación y utilización del recurso hídrico subterráneo para riego nos centraremos en el análisis de las perforaciones construidas en el marco del proyecto PRENADER (Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego).

Este proyecto constituye un ejemplo de utilización del agua subterránea con fines de riego, con más de 1400 pozos construidos en todo el país. Estas perforaciones, brindan un caudal “potencial” de aproximadamente 17 000 m³/h.

En la Tabla N° VIII, se detallan el total de perforaciones, los caudales y profundidades totales y promedio por departamento. Los departamentos en que se construyeron más perforaciones en el marco de este proyecto fueron Montevideo, Ca-

DEPARTAMENTO	Total de perforaciones	Prof total (m)	Q total (m ³ /h)	Promedio de profundidad (m)	Promedio de caudal (m ³ /h)
ARTIGAS	113	860,25	80,54	7,52	0,71
CANELONES	243	1370,25	140,25	5,68	0,58
CELESTIA	17	240,25	30,25	14,15	1,77
DURAZNO	14	60,25	6,25	4,30	0,45
FRESENSE	18	140,25	14,25	7,79	0,79
GUATEMALA	18	90,25	9,25	5,03	0,53
ITAEMBA	12	70,25	7,25	5,87	0,59
LA PAZ	200	1600,25	160,25	8,01	0,80
LAGUNA	13	90,25	9,25	6,96	0,70
LIBERTAD	12	60,25	6,25	5,02	0,50
MALDONADO	143	701,25	201,25	4,90	1,40
MERCURIO	25	200,25	20,25	8,01	0,80
MINAS	27	100,25	10,25	3,73	0,37
TOTALES	1389	7000	1600		

TABLA N° VIII: Perforaciones realizadas en el marco del Proyecto PRENADER
TABLE VIII. Bored wells by PRENADER Project

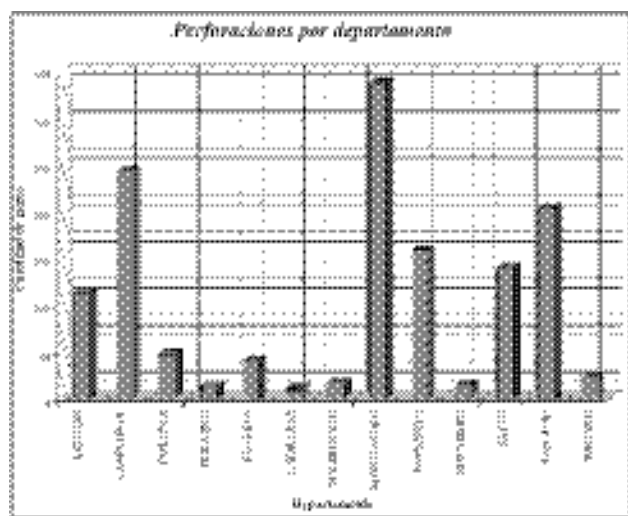


FIGURA N° 7. Pozos para riego, por departamento en Uruguay
FIGURE 7. Wells used for watering in the departments of Uruguay

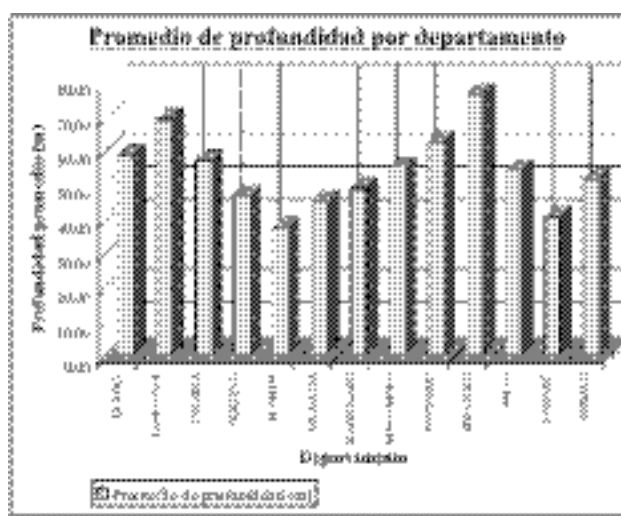


FIGURA N° 8. Datos de profundidad de pozos para riego, por departamento en Uruguay
FIGURE 8. Depth data of wells used for watering in the departments of Uruguay

nelones, San José, Paysandú, Salto y Artigas (Figura N° 7).

En la Figura N° 8, se observa que los pozos más profundos fueron construidos en los departamentos de Canelones, Río Negro y Paysandú. El promedio general de profundidad de pozo es de 56 m.

Los mayores promedios de caudales obtenidos (Figura N° 9) corresponden a los departamentos de San José, Paysandú y Salto (15m³/h). No son representativos los promedios en Lavalleja, Maldonado y Río Negro debido a la baja cantidad de perforaciones construidas en estos departamentos (<15 en c/u). El promedio general de caudal obtenido por pozo es de 12 m³/h.

Como manera de visualizar la importancia y el valor del recurso hídrico subterráneo, utilizado en este caso para riego, se puede realizar la siguiente cuantificación. Estimando el volumen de agua extraído para riego de los pozos construidos por PRENADER por año, en función de una tasa de bombeo de 15 horas diarias durante 4 meses al año (período de déficit hídrico) y para un costo del metro cúbico de agua de OSE (Tarifa Familiar 15-20 m³/mes) de U\$S 0,59/m³; el valor en dólares de este volumen es:

$$\text{Valor} = Q_{\text{total}} (\text{m}^3/\text{h}) \times 15 \text{ horas} \times 120 \text{ días} \times \text{U\$S } 0,59 / \text{m}^3$$

$$\text{Valor} = 17.000 \times 15 \times 120 \times 0,59 \equiv \text{U\$S } 18.000.000 / \text{año}$$

Este valor de 18 millones de dólares anuales habla por sí solo, teniendo en cuenta además que se han considerado solo los pozos de PRENADER, una pequeña parte de las perforaciones explotadas para riego en todo el territorio.

No tenemos una estimación de los pozos para riego existentes en todo el país, pero sin duda la cantidad es varias veces mayor a la de los construidos en el marco de este proyecto.

A los efectos de lograr una idea del grado de aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos en el Uruguay, se realiza en la Tabla N° IX una estimación del porcentaje del agua subterránea disponible utilizado en abastecimiento público por OSE y en riego mediante la explotación de los pozos de PRENADER.

Como ya fue mencionado anteriormente, se estima que el volumen de recarga, y por lo tanto de reserva hídrica subterránea explotable, se sitúa entre 6.36×10^9 a 2.12×10^{10} m³/año. Con un volumen utilizado para abastecimiento (OSE) del orden de 2.2×10^7 m³/año y para riego (pozos de PRENADER) del orden de 3×10^7 m³/año se estaría utilizando en estas perforaciones entre 0.2 y 1% de la recarga anual o de las reservas renovables.

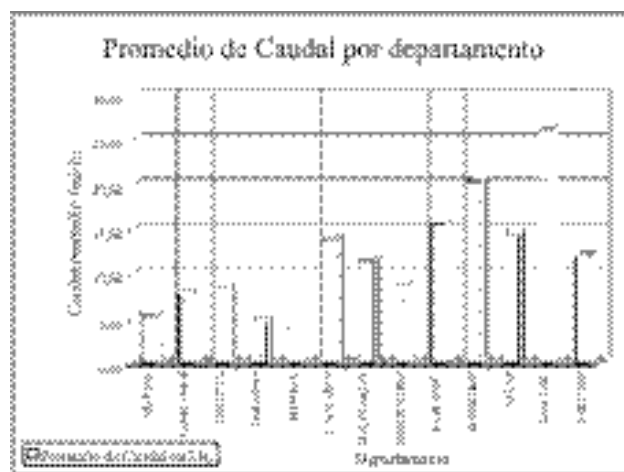


FIGURA N° 9. Promedio de caudal obtenido por departamento (perforaciones para riego)

FIGURE 9. Average flow for department (wells for watering)

		mm/año	Volumen (m ³ /año)	Volumen m ³ /año		% sobre la recarga	
				min (3% de P)	max (50% de P)	min	max
Precipitación (P)		1200	2,12E+11				
Escurrimiento (E _s = 35% de P)		420	7,42E+10				
Recarga (R = 3 al 10% de P)		36	6,36E+09				
		120	2,12E+10	6,36E+09	2,12E+10	~	~
Gasto de agua subterránea	Abastecimiento público (OSE, año 1994, interior del país)			2,20E+07		0,35	0,10
	Riego (PRENADER) (tasa de bombeo 15 horas/día, durante 120 días/año)			3,04E+07		0,48	0,14
	GASTO TOTAL			5,24E+07		0,82	0,25

TABLA N° IX. Gasto de agua subterránea en abastecimiento y riego
TABLE IX. Groundwater expense in public supply and watering

El consumo de agua subterránea por parte de OSE y de las perforaciones de PRENADER no representa el total de la explotación existente en el país, sino solamente una parte pequeña de la utilización del recurso.

De todas maneras, surge claramente del análisis anterior, que en Uruguay tanto el potencial de utilización del agua subterránea como el margen en volumen disponible son altos. Debe destacarse que esta consideración general, tiene numerosas excepciones: en muchos lugares existen situaciones de sobreexplotación del recurso (Punta del Este, Punta Espinillo, etc), además de grandes zonas donde los volúmenes de agua subterránea explotable son mínimos (por ejemplo áreas de dominio de sedimentos pérmicos grises).

IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA INDUSTRIA TURÍSTICA

Uno de los principales atractivos turísticos del Uruguay se sitúa en el Corredor Termal Litoral, en los departamentos de Artigas, Salto y Paysandú. Los centros termales situados en esta zona tienen perforaciones que captan agua del Sistema Acuífero Guaraní (SAG), una de las más impresionantes reservas subterráneas de agua dulce en el mundo. Este acuífero es un recurso compartido entre los países del MERCOSUR Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, (Figura N° 10) y posee un potencial hídrico del orden de 40.000 km³.



FIGURAN° 10. Mapa de ubicación del Sistema Acuífero Guaraní
 FIGURE 10. Location map of the Guaraní Aquifer System

Está constituido por una potente sucesión de estratos porosos y permeables más o menos interconectados, que en su gran mayoría se depositaron durante el Mesozoico (Triásico – Jurásico) y parte superior del Paleozoico (Pérmico).

Con espesores que alcanzan los 800 m, se distribuye en un área aproximada de 1.182.500 km² de la siguiente forma: en Paraguay ocupa un área de 71.700 km²; en Argentina 225.500 km²; en el norte de Uruguay 43.000 km². El resto corresponde a Brasil, donde se distribuye por los estados norteños de la siguiente manera: 157.600 km² en Rio Grande do Sul; 49.200 km² en Santa Catarina; 131.300 km² en Paraná; 155.800 km² en Sao Paulo; 213.200 km² en Mato Grosso do Sul; 55.000 km² en Goiás; 52.300 km² en Minas Gerais; y 26.400 km² en Mato Grosso.

En un 60 a 65% de su extensión, el SAG se encuentra cubierto por potentes coladas basálticas que superan en algunos lugares los 1.000 m de potencia. Este grado de soterramiento genera que en algunas regiones como el área que comprende las ciudades de Concordia (Argentina) y Salto (Uruguay) el SAG presente condiciones de termalismo y surgencia.

En la Figura N° 11 se presentan las áreas confinada y aflorante del SAG en el Uruguay. El aprovechamiento de este recurso por parte de la industria turística está directamente vinculado en Uruguay al área confinada del SAG, donde el acuífero presenta temperaturas de 30 a 45° además de condiciones de surgencia y ocasionalmente alto contenido en sales.

Desde el punto de vista de su constitución geológica, pueden distinguirse dos grandes paquetes sedimentarios que conforman dos subsistemas hidrogeológicos distintos:

- Denominaremos SAG Típico al constituido por rocas sedimentarias asimilables a la Formación Tacuarembó (Jurásico, Bossi et al. 1975 in Veroslavsky et al. 2003) y a las formaciones Buena Vista (Ferrando & Andreis, 1986 in Veroslavsky et al. 2003) y Yaguari (Bossi, 1966) ambas de edad Pérmico superior. De forma general se puede caracterizar a las sedimentitas que constituyen el SAG típico por una sucesión de areniscas de origen continental (Formación Tacuarembó), depositadas por sistemas fluviales y lacustres a las que se asocian varios episodios eólicos que se intercalan a lo largo de toda la sección y rocas sedimentarias depositadas en ambiente

transicional-continental (formaciones Yaguarí – Buena Vista). El espesor puede variar desde los pocos metros hasta más de 200 m totalmente saturados de agua. Está representado entonces en la región aflorante de Uruguay por la Formación Tacuarembó (Bossi et al, 1975 in Veroslavsky et al 2003) y la Formación Buena Vista (Pérmico Superior).

- el otro paquete sedimentario, sobre el cual el SAG típico se apoya, será denominado SAG Pérmico, y está conformado por sedimentitas de edad Pérmico Inferior y Medio, de media a baja permeabilidad. Está constituido por rocas sedimentarias correspondientes a las formaciones San Gregorio (Pérmico Inferior), Tres Islas (Pérmico Medio) que han sido depositadas en ambientes marinos poco profundos y que, por su contenido variable en sales, condiciona la calidad del agua.

De manera general, se puede establecer que el SAG típico se apoya sobre sedimentitas pérmicas

de media a baja permeabilidad (SAG Pérmico, Figura N° 5) que han sido depositadas en ambientes marinos poco profundos y que, por su contenido variable en sales, condiciona la calidad del agua y define el segundo sistema hidrogeológico del área.

SAG confinado

El corredor litoral termal se sitúa sobre el SAG confinado. Las lavas confinantes corresponden a la Formación Arapey (Cretácico), compuesta por sucesivas coladas de basaltos, en cantidad y espesores variables dentro del área mencionada, dependiendo de los pulsos efusivos y de la distancia a los centros de emisión. Se han llegado a identificar 26 coladas en la ciudad de Salto. La perforación de OSE (Salto) mostró un espesor de basaltos de 1021 m.

En la región de Salto el SAG típico presenta su mayor desarrollo (Figura N° 12) y se comporta

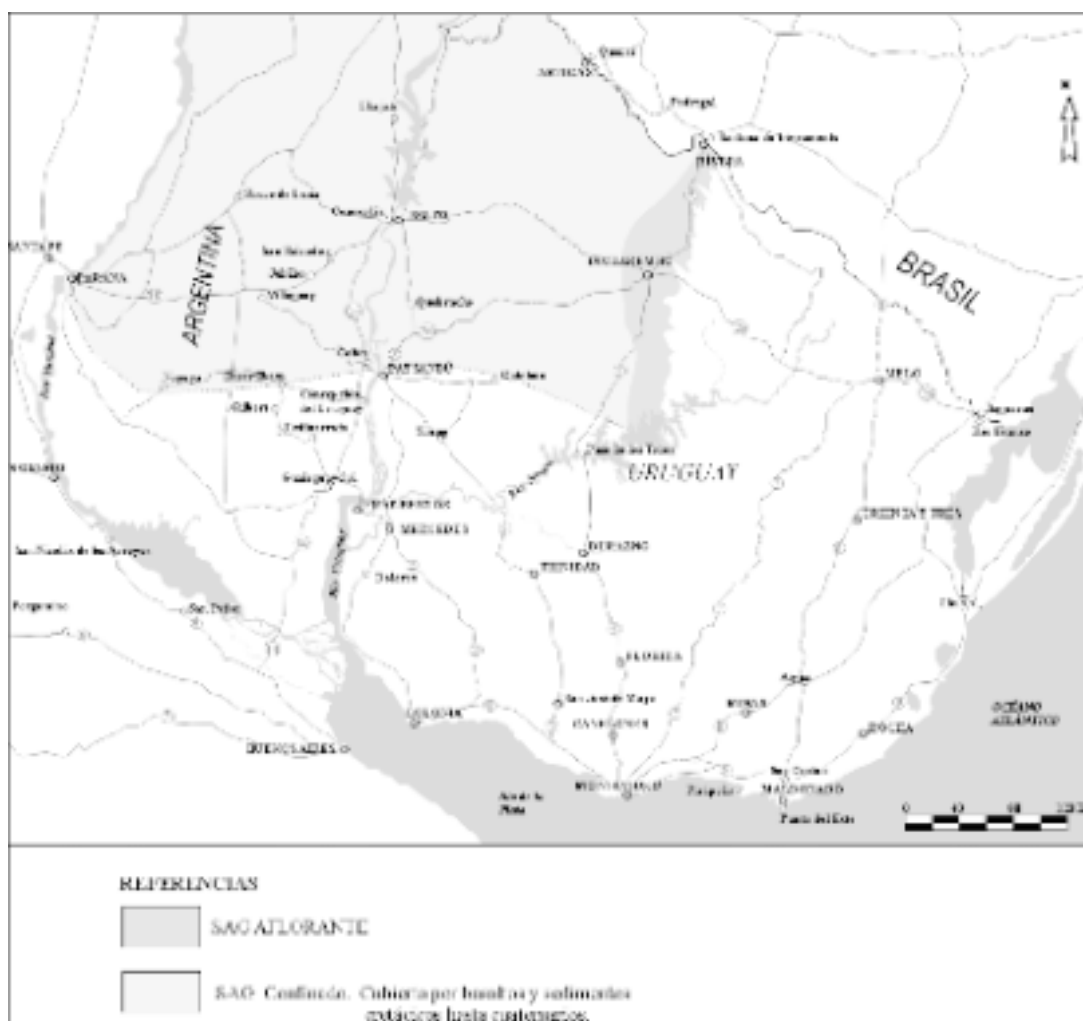


FIGURA N° 11. Mapa Zona aflorante y Zona confinada del Sistema Acuífero Guarani en Uruguay
 FIGURE 11. Map of outcrop area and confined area of the Guarani Aquifer System in Uruguay

hidrogeológicamente, por lo general, en forma independiente de las unidades hidrogeológicas de edad Pérmico. No se ha comprobado en esta área ninguna conexión entre ambos sistemas, aunque

la región presenta una gran estructuración tectónica (lineamientos y fallas) que podrían ser la vía de conexión entre los dos sistemas acuíferos.

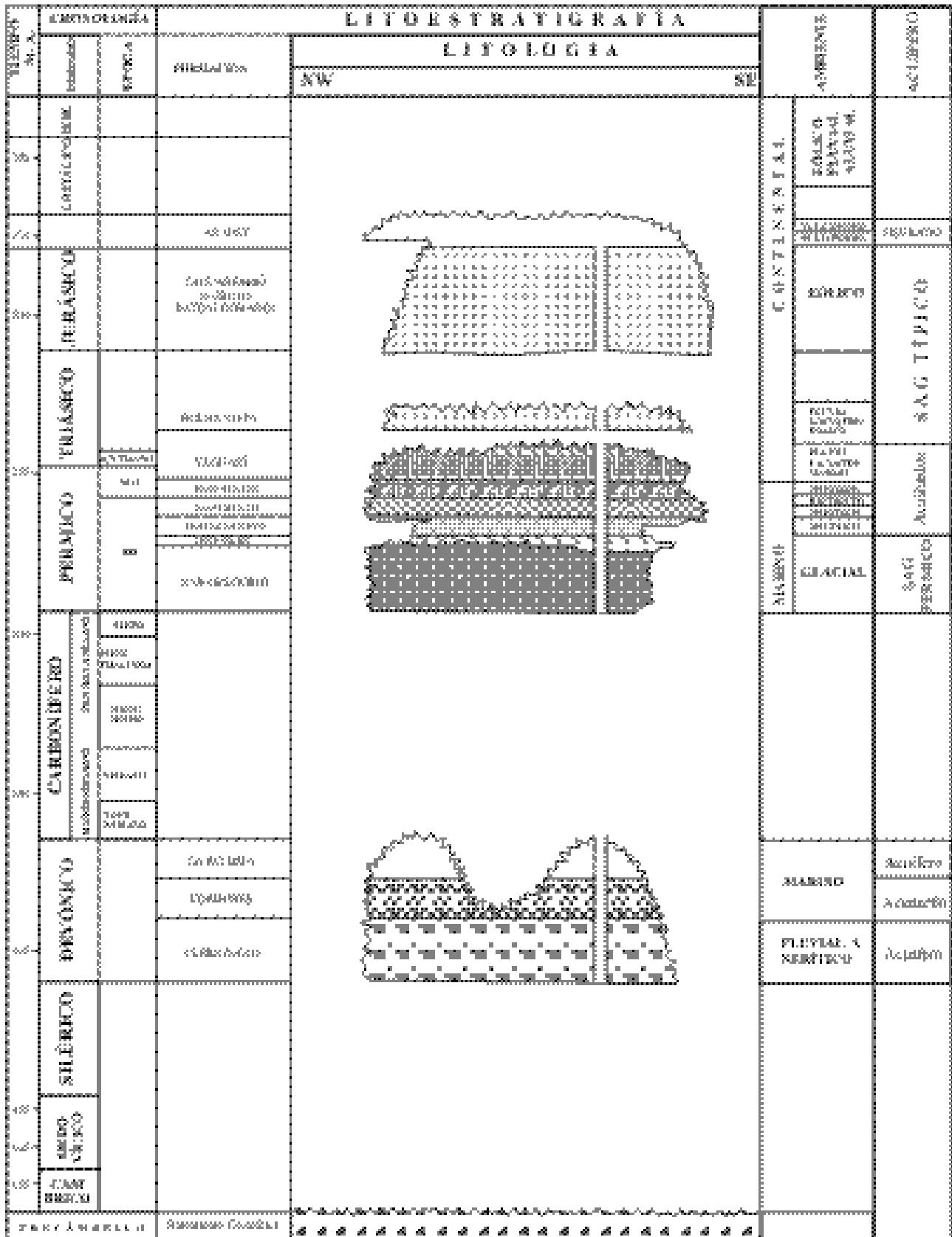


FIGURA N° 12. Columna estratigráfica de la Cuenca Norte uruguaya (Montaño et al 2002)
 FIGURE 12. Stratigraphic column of the Norte basin (Montaño et al 2002)

Perforaciones

Los pozos termales en el área litoral (Tabla N° X) presentan caudales de surgencia que oscilan entre los 20 a 300 m³/h. Se destaca que la mayoría de los pozos son utilizados para abastecimiento de centros turísticos termales. El espesor del techo basáltico del acuífero en el área de Salto es de aproximadamente 1000 m. En la Tabla N° X se detallan las perforaciones infrabasálticas existentes en el área piloto Salto – Concordia y sus principales características.

Importancia socioeconómica del recurso hídrico termal

Nos referiremos a la incidencia socioeconómica del recurso hídrico termal en la ciudad de Salto, de la que se tiene mayor información al respecto. La ciudad de Salto tiene un total de 93.117 habitantes según el último censo (1996), de los cuales 44.366 son hombres y 48.751 mujeres. El total de hogares es de 25.747.

Desde el punto de vista de la ocupación laboral, se estima que en el departamento de Salto el turismo empleaba en los 90', antes de las crisis económicas regionales vivida últimamente, 2000 puestos de trabajo directos y 1500 indirectos, aproximadamente en uno de cada 13 hogares existía en la década del 90 una persona cuyo trabajo estaba vinculado directa o indirectamente al turismo termal.

Entre las termas del Daymán, Arapey y Horacio Quiroga, existen 4500 camas de hotel, número mayor que las existentes en Punta del Este, principal polo turístico del Uruguay. Se estima que en el corredor litoral turístico termal uruguayo, existía en la década de los 90' un promedio de ingreso de 230.000 turistas argentinos por año, más el mismo número de turismo interno, lo que da un total de 460.000 turistas al año. De esta cantidad el 80% asistían a las termas ubicadas en el depar-

tamento de Salto, o sea un total de 368.000 turistas al año.

Si el promedio de estadía por turista es de 4,2 días, con un gasto mínimo -que incluye una noche de hotel y un almuerzo- de 30 dólares por día; se alcanzan 57.960.000 dólares de ingreso por año provenientes del turismo termal. Estas cifras reflejan claramente la gran importancia socioeconómica del turismo termal en el área.

PROBLEMÁTICA ACTUAL Y FUTURA

En cuanto a los problemas actuales vinculados a las aguas subterráneas en el Uruguay se pueden detallar los siguientes:

- Sobreexplotación: Área Punta Espinillo (Montevideo): se trata de un área de alta demanda para riego, en el que se explotan perforaciones en el Basamento Cristalino (acuífero fisurado). La alta densidad de pozos a generado interferencia entre los mismos y descenso de los niveles piezométricos.
- Sobreexplotación e intrusión salina: Área Punta del Este (Maldonado): hace unos años la demanda por abastecimiento público en este balneario era cubierta mediante perforaciones. El aumento desmedido de la explotación del agua subterránea llevó a una situación de sobreexplotación que indujo la intrusión de agua de mar al acuífero, con la consecuente pérdida del recurso.
- Contaminación: los casos de contaminación son fundamentalmente de tipo puntual, generados por vertidos sanitarios, y sistemas de saneamiento precarios y defectuosos (fosas y pozos sépticos con vertedor hacia el suelo), actividad lechera (tambos) y ocasionalmente por agrotóxicos.
- Calidad: existen casos puntuales de problemas de calidad natural de las aguas subterráneas. El Acuífero Chuy presenta altos contenidos de hierro, el Acuífero Guaraní en su área sur presenta

País	Localidad	Coordenadas (UTM)		Z (m)	PP (m)	T (°C)	Q (m ³ /h)
		X	Y				
Uruguay	Salto	52924	621227	19	120	41	124
Uruguay	San Gabriel (Balderrama)	52324	620228	20	125	43,5	120
Uruguay	Salto	52924	621228	20	120	41	20
Uruguay	Las Peñas	52924	620228	12	120	46,5	138
Uruguay	Paseo del Libertador						200
Uruguay	Arroyo	52924	621228	20	120	43	150
Uruguay	San Gabriel	52924	621228	20	120	46	120

TABLA N° X. Pozos profundos (Salto)
TABLE X. Deep wells (Salto)

altos contenidos salinos. También los acuíferos cretácicos del sur del país presentan ocasionalmente tenores altos de sales lo que implica algunos problemas para la utilización de sus aguas para riego.

En Uruguay no existen problemas generalizados de calidad y sobreexplotación de aguas subterráneas a no ser en los casos puntuales y poco extendidos superficialmente. Esta situación no sugiere que no deban corregirse estos casos ni tomar todas las precauciones para que no se generen en otros lugares del país.

Justamente el hecho de que aún no se hayan presentado grandes problemas, ha generado la idea equivocada de que el Uruguay es un país extremadamente rico en aguas subterráneas, lo cual conlleva a un mal uso y abuso del recurso hídrico.

No existen en la mayor cantidad de casos planificación y racionalización del uso, así como fiscalización eficaz del cumplimiento de las normas vigentes.

CONCLUSIONES

- El 60% de los acuíferos del Uruguay son de tipo fisurado. En áreas extensas la disponibilidad de agua subterránea es baja (por ejemplo áreas de dominio de sedimentos pérmicos grises). Esto indica que el Uruguay es un país de riqueza relativa respecto a las reservas explotables de agua subterránea. Existen zonas con muy buena disponibilidad de agua subterránea, pero en la mayor parte del territorio uruguayo se da la situación contraria.
- La mayor demanda de agua coincide con las zonas de acuíferos fisurados, con menor disponibilidad de agua.

- A pesar de que el Uruguay no es, como muchas veces se afirma, extremadamente rico en aguas subterráneas, tanto el potencial de utilización como el margen en volumen disponible del recurso son todavía altos para la mayor parte de los acuíferos del país.
- De todas maneras existen ya problemas relacionados con sobreexplotación, contaminación e intrusión salina, etc, que deben servir de alarma y experiencia para la planificación del uso a mediano y largo plazo de un recurso tan importante y sensible.
- Es necesario desarrollar marcos de gestión de los recursos hídricos que aseguren un manejo sustentable del recurso. Para cumplir con lo anterior es importante desarrollar programas de estudio con el fin de conocer la reservas de cada acuífero para crear la base técnica de las futuras reglamentaciones.
- Existen a nivel estatal equipos con gran experiencia en aguas subterráneas capacitados para concretar los estudios hidrogeológicos necesarios, como DINAMIGE, OSE y la Universidad de la República.
- Como base para la protección y conservación del recurso, además del conocimiento se deben implementar programas de “cultura del agua” a nivel formal y no formal.
- Para lograr una administración eficiente del recurso es recomendable centralizar en una sola figura esta acción, como la Administración Nacional del Agua suplantando la atomización actual de servicios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AUGE, M. *Manual del Curso de Hidrogeología Ambiental*. 1998. Inédito.
- BOSSI, J. *Geología del Uruguay*. Montevideo: Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, 1966. 469 p.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.A.; ELIZALDE, G.; MORALES, H.; LEDESMA, J.; CARBALLO, E.; MEDINA, E.; FORD, I. & MONTAÑA, J. 1975. *Carta geológica del Uruguay a escala 1/1:000.000*. Montevideo. 32 p.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, M.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F.; SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D.; SPRECHMAN, P. *Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500.000*. Montevideo, 1998. CD-ROM.
- DA ROSA FILHO, EF.; FORLIN, M.; MONTAÑO, J. 1998. Informações básicas sobre distribuição do Sistema Aquífero Guarany nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. *A água em Revista - Revista da CPRM, Serviço Geológico do Brasil*, 10: 22-26.
- DECOUD, P. & ROCHA, L. Aportes de la hidráulica subterránea del Acuífero Guaraní en el NO del Uruguay. CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. 1, 2000. Fortaleza, Brasil. CD-ROM.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. 1998. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 2ª Ed. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil CPRM – Laboratorio de Hidrogeología da UFPE LABHID., 1998. 389 p.
- FERRANDO, L & ANDREIS, R. Nueva estratigrafía en el Gondwana del Uruguay. CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS. 1, 1986, Buenos Aires. Actas, 295-323.
- HEINZEN, W.; VELOZO, C.; CARRIÓN, R.; CARDOZO, L.; MADRACHO, H.; MASSA, E. *Carta Hidrogeológica del Uruguay. Escala 1:2.000.000*. Montevideo: Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), 1986. 70 p.
- MONTAÑO, J. Recursos hídricos subterráneos. El Sistema Acuífero Guaraní. In: VEROSLAVSKY, G; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (ed.). *Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico*. Montevideo: DIRAC-Facultad de Ciencias, 2003. 193-214.
- MONTAÑO, J.; ERNANI, F.; HINDI, E.; SICALECE, H.; MONTAÑO, M.; GAGLIARDI, S. 2002. Importancia de las estructuras geológicas en el modelo conceptual del Sistema Acuífero Guaraní. Área uruguaya. *Revista da Associação Brasileira de Aguas Subterráneas*, 16: 111-119.
- MONTAÑO J, TUJCHNEIDER O, AUGÉ M, FILI M, PARIS M Y D'ELIA M, PÉREZ M, NAGY M, COLLAZO P, DECOUD P. *Acuíferos Regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo argentino-uruguayo*. Santa Fé: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, 1998. 217 p.
- O.S.E. 1994. *Cuadro de funcionamiento de los servicios del interior. Resumen Anual*. Obras sanitarias del Estado, Montevideo, Uruguay. Inédito.
- PEREZ, A. Aguas subterráneas y desarrollo urbano. Area Rivera. TALLER GW MATE. 2005, Montevideo. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- PEREZ, A. & PEREZ, F. Importancia de la explotación de las aguas subterráneas en el abastecimiento público del Uruguay. ENCUENTRO DE PERFORADORES DE POZOS. 9, 1995. Curitiba.
- PÉREZ, A.; ROCHA, L.; DECOUD, P. & CARVAJAL, A. Comportamiento del Acuífero Guaraní en la ciudad de Artigas, Uruguay. CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. 1, 2000. Fortaleza, Brasil. CD-ROM.
- PRENADER. Banco de datos de las perforaciones del Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego. Sitio web del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca MGAP.
- TAHAL. *Proyecto agrícola de riego basado en la perforación de pozos profundos*. Tahal Consulting Engineers, 1986. Inédito.

Recibido: 22 de agosto de 2005

Aceptado: 18 de febrero de 2006