

OPTIMIZACION DE LA EXPLOTACION DEL SISTEMA ACUIFERO

JURASICO TRIASICO, TACUAREMBO - BUENA VISTA

Jorge Montaña (1)
Roberto Carrión (2)

- (1) Facultad de Humanidades y Ciencias, Departamento de Geología.
Tristán Narvaja Nº 1674, Tel 491748, Montevideo, Uruguay.
(2) Dirección Nacional de Minería y Geología.
Hervidero Nº 2861, Tel. 201951, Montevideo, Uruguay.

ABSTRACT

The Jurassic-Triassic aquifer system is one of the main water reserves of the area, with certain influence on the economic development of the countries belonging to the Parana Basin.

On this paper some characteristics allowing the optimization of the use of this resource at a national level are determined: storage, current volumes in use and future exploitation possibilities for different purposes.

Since 1980 the measurements of the water levels on the wells show that they remain unchanged, pointing out that the system is balanced.

The total volume of water yield by the wells infiltrates in the cropping zone of the aquifer and means a 13 percent of the exploitable storage, the rest reaches the streams.

Considering the storage, if may be determined that the area would support 15 wells with a yield of 600 m³/h each one, enough to satisfy an irrigation plan of public supply purposes.

About the use of it as thermal spring it would be restricted to the Northern littoral area, where there is highly probable the existence of high temperatures, with springs up to 40 meters and solid residue concentrations over 600 ppm, if the San Gregorio - Tres Islas level is reached.

INTRODUCCION

La zona de estudio está ubicada al Noroeste del País, limitando al Oeste con la República Argentina y al Noreste con la República Federativa del Brasil.

La temperatura media varía entre 18° C al Sur de la zona y 19° C en la parte Norte, con una máxima promedio en el área de 26° C y una mínima de 13° C. La precipitación media anual oscila entre 1200 mm para la zona Sur y 1400 mm en el Norte del área. La clasificación climática es de templado lluvioso.

La zona se distingue por la producción intensiva de caña de azúcar, tabaco, productos primor y explotación ganadera. Además de ubicarse cinco departamentos, Paysandú, Salto, Tacuarembó, Artigas y Rivera, estos tres últimos con una gran incidencia del agua subterránea en el abastecimiento público, tanto a nivel de las ciudades capitales como en los pueblos de los respectivos departamentos.

El objetivo de este trabajo es el análisis del principal acuífero del área, constituido por sedimentos de edad Jurásica-Triásica, que ocupan la cuenca sedimentaria del Paraná ubicada en el centro este de América del Sur, abarcando un área de 1.540.000 km², distribuidos en cuatro países: Brasil (1.000.000 km²), Argentina (400.000 km²), Paraguay (100.000 km²) y Uruguay (40.000 km²). Este acuífero aflora en la parte central del país en una faja Norte-Sur, desde la Ciudad de Rivera hasta la de Paso de los Toros, con un ancho medio de 35-40 km., hacia el Oeste buza, ubicándose debajo de las lavas basálticas de la Formación Arapey (Formación Serra Geral) donde desarrolla su mayor potencia 1200 m en la zona más occidental del País.

GEOLOGIA

La zona de estudio corresponde al límite sur de la cuenca del Paraná, ocupando un área de 100000 km², en el noroeste del País.

Es una cuenca intracratónica de forma aproximadamente elíptica, ocupada por sedimentos con una potencia máxima en Uruguay de 1200 m. Las rocas son principalmente clásticas con intercalaciones de diabasa de espesor variado.

La sedimentación comienza en el DEVONICO INFERIOR, que en la base está constituida por areniscas conglomerádicas de color blanco amarillento, hacia la parte superior varía a areniscas finas de color rojizo (F. Cerrezuelo). Sobre estos sedimentos se apoyan areniscas finas y lutitas de origen marino (F.Cordobés). Finaliza este período con areniscas finas a medias de colores violáceos de origen litoral fluvial (F.La Paloma).

Los períodos CARBONICO-PERMICO están representados por sedimentos de origen glacial y fluvio-torrencial, formados por limolitas, fangolitas, lutitas várnicas y tillitas con intercalaciones de conglomerados y areniscas.(F. San Gregorio)

El PERMICO comienza con una sedimentación de origen litoral representados por areniscas finas a conglomerádicas (F.Tres Islas). Prosigue una deposición de sedimentos marinos neríticos a epicontinentales formados por lutitas, areniscas muy finas a limolitas y areniscas arcillosas de colores gris y negro (F.Fraile Muerto, F.Mangrullo, F.Paso Aguiar).

Termina este período con sedimentos de origen fluvio estuarino con limolitas, areniscas finas y lutitas de color pardo, finalizando la sedimentación con areniscas finas a gruesas de color rojo a violáceo (F. Yaguarí).

La sedimentación JURASICO-TRIASICO está caracterizada por la tercera secuencia depositacional de la cuenca, está integrada por las Formaciones Buena Vista y Tacuarembó. Ambas son producto de una aridez y continentalización del área en ese momento.

La Formación Buena Vista está constituida por areniscas gruesas a medias y finas, rojas enmarcadas en un sistema fluvial.

La Formación Tacuarembó está integrada por areniscas medias a finas con estratificación cruzada, la sedimentación es de origen edóico y fluvial desenvueltos ciclicamente.

Sobre los sedimentos de la Formación Tacuarembó se apoyan las lavas básicas de tipo toleítico de la Formación Arapey, de edad CRETACICA.

Sobre estos basaltos se depositan sedimentos de origen CRETACICO hasta sedimentos jóvenes de edad PLEISTOCENICA, que no se describen, teniendo en cuenta que no son de importancia en el presente trabajo.

HIDROGEOLOGIA

El desarrollo de este tema está centrado en el estudio Hidrogeológico del Acuífero Jurásico-Triásico y sus relaciones con formaciones geológicas que le sirven de marco en su expresión espacial y condicionan su comportamiento

hidráulico.

El Acuífero se corresponde con las Formaciones Tacuarembó y Buena Vista, formada por areniscas, bien redondeadas, muy bien seleccionadas, presentan altos valores de permeabilidad que ligado a su espesor y a su gran desarrollo superficial lo ubica dentro de los mejores del mundo.

Hidrodinámica

Para la interpretación hidrodinámica del acuífero, nos hemos planteado la división del mismo en dos modelos, el primero reflejaría el comportamiento hidráulico en la zona aflorante y el segundo en la zona confinada del mismo. La Zona AFLORANTE del acuífero ocupa un área de aproximadamente unos 3700 km², en una faja de dirección Norte-Sur con un largo de 160 km y un ancho medio de 35-40 km en la zona de mayor exposición que se estrecha hacia el Sur. En esta zona se destaca el poco espesor de los sedimentos eólicos de la Formación Tacuarembó.

El modelo para la interpretación del funcionamiento hidráulico, es el propuesto por Montaña, J.

Como se detalló en la parte Geológica, la Formación Tacuarembó está compuesta por dos tipos de litologías predominantes, una de origen eólica y otra de origen fluvial, las cuales se diferencian desde el punto de vista hidráulico en base a los parámetros transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

Se pueden distinguir dos zonas para ejemplificar lo expresado:

1. Área Rivera
2. Área Tacuarembó

Área RIVERA: existen aproximadamente un total de 150 pozos que explotan este acuífero, destinados al abastecimiento de la ciudad del mismo nombre y diferentes industrias. La profundidad media es de 90 m. captando agua de ambos tipos litológicos. La transmisividad varía entre 150 m²/día para los sedimentos eólicos y 27 m²/día para los de origen fluvial. Con un coeficiente de almacenamiento del orden de 10⁻³, indicativo del semiconfinamiento del acuífero. Los caudales específicos medios oscilan entre 90 m³/día/m para el miembro superior y 40 m³/día/m para el inferior.

Área TACUAREMBO: la explotación del acuífero es baja debido fundamentalmente a su bajo potencial, por presentarse predominantemente los sedimentos finos. La profundidad media de los pozos en la zona es de 80 m y un caudal medio de 3.5 m³/hora, el caudal específico medio es de 20 m³/día/m.

No existen datos precisos de transmisividad, debido a que el uso del recurso es poco importante y no ha ameritado trabajos rigurosos en la determinación de los parámetros hidráulicos del mismo. Aunque se pueden estimar valores inferiores a los presentados en el área Rivera, del orden de los 27 m²/día debido a la gran cementación que presentan los sedimentos en esta zona. En base a lo expuesto, se puede realizar una diferenciación del paquete sedimentario de la Formación Tacuarembó, desde el punto de vista hidráulico, en dos unidades acuíferas que denominaremos en este trabajo, Unidad Hidrogeológica Rivera y Unidad Hidrogeológica Tacuarembó, presentando ambas características de semiconfinamiento y tomando como parámetros para la primera una transmisividad media de 100 m²/día y para la segunda de 25 m²/día.

La Zona CONFINADA del acuífero, ocupa un área de unos 38000 km², al Oeste del País. El modelo hidráulico para el análisis del mismo es propuesto por IPT (Relatorio N° 14364). En el mismo se considera que el acuífero estaría compuesto por un paquete sedimentario constituido por las formaciones Tacuarembó y Yaguairí funcionando como un sistema hidráulico único. Tomando como guía dicho trabajo y en función de los nuevos avances, producto de la prospección de petróleo en la cuenca, se logró identificar las areniscas de origen fluvial correspondientes a la Formación Buena Vista, que se confundían con el miembro superior de la Formación Yaguairí, integrante del sistema acuífero conjuntamente con la Formación Tacuarembó. En base a esto

denominaremos al acuífero confinado como sistema Tacuarembó-Buena Vista. No existen datos de los parámetros hidráulicos del mismo en toda el área, sólo se ha realizado un ensayo en un pozo ubicado en la ciudad de Artigas donde se determinó la transmisividad ($T=360\text{m}^2/\text{día}$) y la permeabilidad ($K= 1.27\text{m}/\text{día}$). Las estimaciones de la transmisividad realizadas por IPT (Relatorio N° 14364) y Tahal, dan valores que van desde $250\text{ m}^2/\text{día}$ para la zona Sureste hasta $1500\text{ m}^2/\text{día}$ para la Noroeste. Estos valores fueron inferidos en base a los espesores del sistema acuífero y corroborados por la tendencia del gradiente hidráulico a disminuir en dirección Noroeste.

PRINCIPALES PERFORACIONES EXISTENTES EN EL AREA

Pozo N°	Nombre	X	Y	Prof.
01	Chacra Cornelius	437	6635	1081
02	Colonia Viñar	325	6628	681
03	Pintadito	438	6625	1859
04	Colonia Palma	321	6609	2298
05	Arapey	337	6575	1493
06	Dayman	298	6519	2178
07	Guabiyú	302	6476	1103
08	Guichón	366	6419	924
09	Tacuarembó I	453	6492	350
10	Rivera S	524	6583	230
11	Belén	315	6484	2364
12	Itacumbó	342	6622	2099
13	Yacaré	388	6447	2387
14	Pelado	413	6614	1996
15	Rincón del Bonete	441	6558	372
16	Rivera, Bª S. Teresa	522	6579	30
17	Tranqueras	505	6552	39
18	Tacuarembó, Esc. 54	481	6489	62

CUADRO N° 1

Reservas del acuífero

Uno de los elementos fundamentales para el análisis cuantitativo de los acuíferos y poder planificar la optimización de su explotación es determinar las reservas hídricas.

Como paso previo al análisis fijamos los valores de reserva que son considerados en la mayoría de los estudios de explotación de acuíferos.

En primer término establecemos que las RESERVAS REGULADORAS definidas como el volumen de agua de la zona de fluctuación del nivel de saturación (estacional o anual), que representa el ACTIVO del sistema y corresponde al volumen de realimentación estacional o anual del mismo.

Para la evaluación de las mismas se debe analizar por separado el acuífero en la zona aflorante y confinada. Para la primera se establece que los aportes son directos, para la segunda serían indirectos aportados a través de las formaciones geológicas que están apoyadas sobre el sistema acuífero, imposible de determinar para el nivel actual del conocimiento. En función de los balances hidrometeorológicos primarios (según Gilboa, 1976), resulta que el 3% de la precipitación anual (1300 mm), sería la recarga natural del acuífero, o sea 39 mm/año, que para el área aflorante (3700 km²), alcanza valores entre $1.4 \times 10^8\text{ m}^3/\text{año}$.

Las RESERVAS PERMANENTES se corresponden con el volumen de agua que se encuentra por debajo de la zona de fluctuación anual o estacional. Estas

reservas dan el valor del volumen de agua almacenada en un acuífero y las reservas reguladoras indican como son las condiciones de recarga. Para la zona aflorante, si establecemos un espesor medio de acuífero de 100 metros y una porosidad eficaz de 0.15 para el área de 3700 km², la reserva permanente es de 5.6*10¹⁰ m³. En la zona confinada consideramos un espesor medio de 600 metros, un coeficiente de almacenamiento (S) de 10⁻⁴ y un área de 38000 km², lo que determina una reserva de 2.3*10⁹ m³. Por lo tanto la reserva permanente total es de 5.8*10¹⁰ m³.

RESERVAS REGULADORAS

Pp. media	Infiltración	Area aflorante	Recarga
1300 mm	3%	3700 km ²	1.4*10 ⁹ m ³ /h

RESERVAS PERMANENTES

Zona	Area	Esp. del acuífero	S	Volúmen
No confinado	3700 km ²	100 m	0.15	5.6*10 ¹⁰ m ³
Confinado	38000 km ²	600 m	10 ⁻⁴	2.3*10 ⁹ m ³

En último término debemos determinar los RESERVAS EXPLORABLES que se pueden evaluar a partir principalmente de las reservas reguladoras y de datos técnicos y económicos.

Es importante destacar la gran diferencia existente en la zona por la presencia de los acuíferos semiconfinados (Tacuarembó y Rivera), relativamente poco potente y los acuíferos confinados y muy potentes (Sistema Tacuarembó-Aguena Vista).

Los primeros presentan normalmente unas reservas reguladoras muy importantes en relación a las permanentes. Además los descensos de los niveles piezométricos generan una mayor tasa de recarga.

El sistema en los acuíferos confinados por las coladas basálticas, por el contrario no varía prácticamente, ya que el flujo es sumamente lento. O sea que no existen variaciones a corto plazo a consecuencia de las variaciones climáticas.

Como criterio para cuantificar en forma aproximada el valor de las reservas explorables, se estima que las mismas son 2/3 de las reservas reguladoras, o sea 9.3*10⁷ m³/año.

RESERVAS EXPLORABLES: 9.3*10⁷ m³/año.

Este valor es una primera aproximación dirigida a una explotación óptima del acuífero, que se debe de tomar como referencia en los planes de desarrollo del área.

Piezometría

No existe una serie de medidas históricas donde se pueda reconstruir la evolución de las variaciones piezométricas del Sistema Acuífero. Solamente se registraron medidas a impulsos de proyectos sujetos a los vaivenes de planificaciones políticas que nunca llegaron a concretarse.

No obstante esta información fue utilizada para la confección del mapa piezométrico (Fig. N° 4), donde en primera instancia se puede observar una dirección general de flujo de orientación Este-Oeste. El gradiente hidráulico medio en la zona aflorante tiene un valor de 7 * 10⁻⁴, mientras que en el área

confinada se tienen valores de $2 * 10^{-4}$ al Norte y $6 * 10^{-4}$ al Sur, lo cual coincide con el mayor espesor del Sistema Acuífero en la dirección Noroeste. Para calcular el caudal que fluye hacia la zona confinada se aplicó la ley de Darcy, para un frente que representa el borde de afloramiento del acuífero, obteniendo como resultado un valor:

$$Q = T i L = 100 \text{ m}^2/\text{día} * 7 * 10^{-4} * 160 * 10^3 \text{ m} = 4.2 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

El análisis de la información histórica sirvió para comprobar que en la zona confinada desde el comienzo de la explotación de los pozos surgentes, década del 50, los niveles han descendido entre 18m (Arapey) y 56m (Dayman) hasta el año 1980 aproximadamente. Medidas posteriores realizadas por IPT, DINAMIGE y TAHAL han comprobado la constancia de los niveles, indicativo de un equilibrio en el Sistema. Este equilibrio marcaría que los volúmenes, que se están extrayendo en toda el área equivale a lo que se está recargando efectivamente en la zona aflorante.

Para cuantificar esta situación se tomaron los datos de la zona oriental, extraídos de los inventarios de la DINAMIGE y empresas particulares y un porcentaje de pozos no registrados, alcanzando un total de 350 a 400 pozos. En general casi el 90% de los pozos son de penetración parcial, extraen un bajo caudal con un bombeo que en la mayoría de los casos se realiza con molino y es para abastecer las viviendas rurales y bebederos de ganado.

Para calcular el caudal total extraído, se comparan los datos obtenidos del inventario de empresas que nunca es totalmente confiable con el número de habitantes rurales y de cabezas de ganado a abastecer, alcanzando un valor de $5-6 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$. A este gasto se le debe sumar los pozos que abastecen a las ciudades de Rivera, Artigas, Tranqueras, Tambores, Curtina, Achar, que asciende a $2.5 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$, según Obras Sanitarias del Estado.

El gasto total en esta área oriental sería entonces del orden $8 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$.

La explotación del acuífero en la zona confinada (occidental) se encontraría limitada solamente a los pozos termales (surgentes), cuyo gasto total fue determinado por TAHAL en $4 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$ aproximadamente.

Este valor es concordante con el flujo que ingresa desde la zona aflorante, comprobándose el equilibrio existente en el sistema.

O sea que en la actualidad la explotación del acuífero en el área es de $12 * 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$, que equivale al 13% de las reservas explorables del acuífero ($9.3 * 10^7 \text{ m}^3/\text{año}$), el 87% restante es aportado a las corrientes superficiales (ríos y arroyos).

EXPLOTACION ACTUAL DEL ACUIFERO

Zona	Caudal
No confinada	$8 * 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$
Confinada	$4 * 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$

Zona de surgencia

A partir del análisis de los datos del mapa piezométrico, resulta claramente una zona de surgencia. Del mismo se desprende un incremento de los niveles de surgencia de Sur a Norte y de Este a Oeste, alcanzando valores entre +35 y +40 metros entre Arapey y la zona de Bella Unión. Este dato es de fundamental importancia para las futuras explotaciones que se tienen planificadas en el desarrollo turístico (Termas) y riego.

Capacidad de explotación en la zona confinada

Además de conocer los parámetros del acuífero es importante establecer el

descenso de los niveles en las proximidades de un pozo de explotación, para lo cual se realizó una simulación de bombeo en la zona confinada para un caudal de 600 m³/h, donde se utilizaron los siguientes parámetros:

$$S = 10^{-4}$$

$$T = 875 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$Q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t = 15 \text{ años}$$

En el mismo se destaca que para una distancia de 15 km. existe un descenso de 8 metros, lo cual significa un índice de interferencia que se toma como referencia para la ubicación de los pozos.

En el supuesto de planificar una explotación del recurso en esta zona, debemos tener en cuenta la reserva explorable que fue cuantificada en $9.3 \cdot 10^7$ m³/año. Para el caso de captar caudales del orden 600 m³/h, es posible realizar un total de 18 pozos, sin tener en cuenta la explotación actual. Si tenemos que en este momento el gasto estimado es de $4 \cdot 10^6$ m³/año, el número máximo de pozos sería de 15. Este valor que puede ser considerado primario, sirve como referencia a ser tenida en cuenta en las futuras planificaciones del uso de este recurso en el territorio nacional.

HIDROGEOQUIMICA

Para la caracterización hidrogeoquímica de la zona, se tomaron pozos representativos del área aflorante y confinada del acuífero. Los análisis fueron realizados en los Laboratorios de la Dirección Nacional de Minería y Geología.

ANÁLISIS QUÍMICOS DE POZOS DEL ÁREA

Pozo Nº	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cl	HCO3	SO4	NO3	Dur	R.S.	pH
5	24,4	9,1	74	6	0,24	18	20,5	10,7	12,5	99	256	7,5
6	1,6	4,5	268	0,92	0	80,3	300	61	3,8	23	696	7,6
7	7,2	21	145	2,46	0	34,3	185	ND	3,6	39	372	7,6
8	247	4,9	2100	15	ND	2800	31,7	1500	0,75	640	6848	7,9
15	17,7	2,4	500	12	0,08	306	333	298	1,8	54,2	1024	7,5
1	28,4	7	47	1,56	0,02	14	166	0,8	9,5	100	224	7,2
16	3,2	3,6	1,9	1,41	0	5,8	16,5	ND	0,06	23	64	6,4
17	10,2	4,3	3	12	0,16	14,9	151	0,82	45,5	43	92	6,2
18	31,6	12,9	70	2,48	0	25,5	200	44,4	18	133	332	7,2

Nota: unidades mg/l.

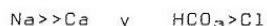
ND: dato no disponible

CUADRO Nº 2

En general se puede establecer que la calidad de las aguas de la zona aflorante, Unidad Hidrogeológica Rivera o Unidad Hidrogeológica Tacuarembó no presenta limitaciones de potabilidad. En la zona confinada Sistema Tacuarembó Yaguarí tampoco presenta limitaciones de potabilidad salvo que se mezclen sus aguas con las de la Formación San Gregorio Tres Islas como por ejemplo el pozo de Guichón con un residuo seco mayor a 6000 ppm.

El estudio de las relaciones iónicas presentan para la zona confinante en los

pozos profundos, aguas de características bicarbonatadas sódica con una relación:



Mientras en la zona aflorante se destaca la mayor concentración de Ca frente a la de Na y en algunos casos concentraciones de Mg semejantes o superiores a las de Na. Además existe un dominio del bicarbonato sobre el cloro en el campo aniónico, expresándose:



Como ya se estableció, existe una zona de aguas catalogadas como mineralizadas que se relacionan con la presencia de la Formación San Gregorio Tres Islas que queda expresado en el Diagrama Shoeller-Berkaloff. En nuestro país este tipo de aguas se corresponden en general con zonas de altas temperaturas de fundamental importancia para el desarrollo de Centros Turísticos Termales. Por el contrario la calidad de estas aguas la inhabilitan para su uso industrial, agrícola o abastecimiento público.

CONCLUSIONES

El sistema acuífero se corresponde con las formaciones geológicas de edad Jurásico-Triásico, Tacuarembó y Buena Vista.

Las características del mismo varían de acuerdo a su presencia en la zona aflorante ó confinada. En el primer caso la transmisividad varía de 150 m²/día debido a la presencia dominante de los niveles edólicos de la Formación Tacuarembó (área Rivera) y 25 m²/día (área Tacuarembó) debido a la baja permeabilidad de los niveles de base de la misma. Para el área confinada la transmisividad varía de 250 m²/día a 1500 m²/día, incrementándose en dirección Noroeste, concordante con el aumento del espesor del paquete sedimentario Tacuarembó-Buena Vista.

Se estimaron las reservas reguladoras en 1.4 millones de metros cúbicos. Las reservas permanentes en 5.6*10¹⁰ m³ para la zona no confinada y en 2.3*10⁹ m³ para la confinada. Las reservas explorables son del orden de los 9.3*10⁷ m³/año, el 13% de las misma es el gasto actual por extracción del mismo.

De acuerdo a medidas de niveles realizadas en diferentes períodos se logra determinar que a partir de 1980 aproximadamente no existirían variaciones de los mismos en los pozos de la zona confinada, lo que marcaría el comienzo de un estado de equilibrio.

Para lograr una optimización del sistema de acuerdo a la reserva explorable, se evidencia que las explotaciones futuras se deben ubicar en la zona con mayor potencialidad del acuífero (área confinada). En esta zona se podrían realizar un total de 15 pozos con un caudal medio de 600 m³/h, el cual puede satisfacer el abastecimiento público o riego, no existiendo limitante en cuanto a su calidad.

Para su uso como agua Termal, se ubica una zona litoral al NW de la región donde existe la mayor probabilidad de encontrar altas temperaturas y surgencias del orden de +35 m. En el caso de querer obtener aguas con alto contenido de sales, sería probable captarlas en esta zona si se alcanzaran los niveles de la formación San Gregorio y Tres Islas, con más de 600 ppm de residuo seco.

BIBLIOGRAFIA

- Custodio, E. y Llamas, M. (1976). Hidrología Subterránea.
De Santa Ana, H. (1989). Evolución Tectónica de la Cuenca Norte Uruguaya.
Gilboa, Y. y Mariano, I. (1976). The Botucatu Aquifer of South America Model of Untapped Continental Aquifer. Journal of Hydrology.
Heinzen, W. y col. (1986). Mapa Hidrogeológico del Uruguay y Memoria

Explicativa, Escala 1:2.000.000. Dirección Nacional de Minería y Geología. I.P.T. Relatorio Nº 14364. (1980). Reconocimiento Hidrogeológico del Acuífero Tacuarembó, entre Paysandú y Bella Unión - República Oriental del Uruguay. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (1989). Inventario de Estaciones Hidrológicas de Aguas Superficiales.

Montaño, J. y Pessi, M. (1988). Características Hidráulicas e Hidrogeoquímicas del Acuífero Tacuarembó - Área Rivera. Revista de ABAS Nº12, pag. 67-74.

Preciozzi, F. y col. (1985). Carta Geológica del Uruguay y Memoria Explicativa, Escala 1:500.000. Dirección Nacional de Minería y Geología.

Reboucas, A. (1976). Recursos Hídricos Subterráneos da Bacia do Paraná. Tesis de Livre Docencia. I.G./U.S.P. San Pablo.

TAHAL Consulting Engineers Ltd. (1986). Estudio Agrícola de Riego Basado en la Perforación de Pozos Profundos. Tomo 3, Anexo B, El Acuífero Tacuarembó.

