

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS FISURADOS DE PUNTA ESPINILLO, MONTEVIDEO – URUGUAY

Jorge Montaña XAVIER¹
Rosario GUÉRÉQUIZ^{1, 2}
Ernani Francisco da ROSA FILHO³
Eduardo Chemas HINDI³
Sandra CAZAUX⁴
Mauricio MONTAÑO⁴
Karina PAMOUKAGHLIAN⁴
Sergio GAGLIARDI⁴
Analia PEREIRA⁴
Hernán IDAL⁴

ABSTRACT

Punta Espinillo area is located in the northwest of Montevideo district/Uruguay (Figures 1&2), beside the right margin of Santa Lucia River, in the mouth of this one into the Río De la Plata river. The territory structure is built in small plots from 3 to 5 hectares. This zone is characterised by an intense agronomic activity, which produces the mayor amount of the vegetables consumed in Montevideo City. It has a high demand of water for irrigation systems, which one has not been rational planed. Nowadays, in every plot there is a well, which determines a mean density of wells, near to 4 per km². The water is extracted from a fractured aquifer system that has exceptional characteristics because of its water amount, but the great exploitation generates high drawdowns in wells, even coming to the extreme of their complete depletion. Considering the above observations has been developed a control system since 1998 until now in connection with pumping tests. These controls and tests indicate the evolution-back of the fractured system with a lack of water and in addition to that, a marine waters intrusion.

Keywords: fractured system, over exploitation, marine waters intrusion, Montevideo, Uruguay

RESUMEN

El área de Punta Espinillo, se encuentra ubicada en el límite oeste Departamento de Montevideo – Uruguay (Figuras 1 y 2); sobre la margen derecha de la desembocadura del Río Santa Lucía en el Río de la Plata. La estructura del territorio está constituida por minifundios de 3 a 5 hectáreas. Esta zona se caracteriza por una intensa actividad agronómica que produce la mayoría de los vegetales consumidos en la ciudad de Montevideo. Tiene alta demanda de agua para riego con la agravante que esta no se ha planificado racionalmente. Hoy en día, cada fraccionamiento tiene su pozo, lo que determina una gran densidad de pozos (4 por km²). La extracción se realiza de un acuífero fisurado de características excepcionales por su gran almacenamiento, pero debido a su gran explotación se generan descensos importantes y en algunos casos extremos el agotamiento de pozos. Considerando lo dicho anteriormente, se viene realizando un monitoreo desde el año 1998 a la fecha junto con ensayos de bombeo. Estos controles indican la involución del sistema fisurado con una merma en el almacenamiento, sumado a problemas de intrusión salina por inducción.

Palabras clave: Sistemas fracturados, sobre-explotación, intrusión salina, Montevideo, Uruguay

¹ Facultad de Ciencias - Departamento de Geología - Universidad de la República Oriental del Uruguay.

² Pós – Graduando do Curso de Geologia Ambiental da Universidade Federal do Paraná – Brasil.

³ Departamento de Geologia – Lab. de Pesquisas Hidrogeológicas - LPH -Universidade Federal do Paraná BR.

⁴ Estudiantes del Curso de Hidrogeología - Departamento de Geología – UdelAR – Uruguay.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

A partir de los datos de monitoreo y de ensayos de bombeo de 19 pozos se planteó determinar la relación entre el caudal extraído y los descensos de los niveles estáticos del acuífero para establecer el grado de sobre-explotación que sufre el acuífero actualmente. Por otra parte se pretende establecer una planificación ordenada en el uso del acuífero para evitar el agotamiento del recurso y evitar en la zona costera del Río de la Plata, la intrusión salina generada por inducción.

1.2 Geología

El área se encuentra en el borde suroeste del Lineamiento Santa Lucía - Aiguá - Merín (SaLAM) definido por Rosello *et al* (1999). En la zona de estudio las litologías más antiguas corresponden a la Formación Montevideo de edad Arqueano - Proterozoica y están constituidas por rocas metamórficas de grado bajo a medio que ocupan cerca del 90% del área. Se desarrollan en una faja de aproximadamente 30 km de ancho con un rumbo general E-NE. Es un cinturón metamórfico situado al sur del Cratón del Río de la Plata, actualmente denominado Terreno Piedra Alta. El resto corresponde a depósitos Terciarios (Fm Fray Bentos), Cuaternarios (Fm. Libertad) y depósitos actuales (Dunas y arenas costeras) localizados en la zona costera del Río de la Plata.



Figura 1: Mapa de ubicación de Uruguay en la región.

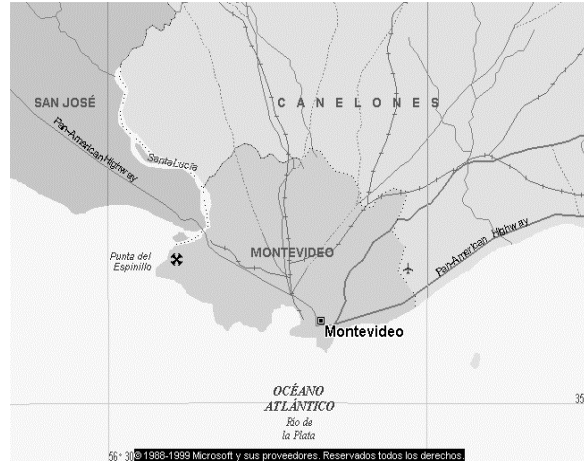


Figura 2: mapa de ubicación de la zona de estudio.

En el registro tectónico se aprecian varias etapas de deformación, dichos eventos afectaron preponderantemente a las rocas del basamento cristalino y controlaron los procesos de depositación sedimentaria.

EL evento orogénico Transamazónico, afecta a la Formación Montevideo, generando deformaciones en régimen dúctil-rúptil. La dirección principal de éste fenómeno es NS y su complementaria EW. No ha sido posible distinguir apropiadamente la deformación en régimen rúptil de este evento, puesto que actualmente se superponen otras posteriores; sin embargo Cardelino y Ferrando (1969), estiman que serían las de dirección N30/40NW, por estar rellenas de filones pegmatíticos. Esto implica una fase distensiva hacia el final del evento, en régimen dúctil-rúptil, puesto que algunos de éstos filones generan pliegues y formas irregulares (Montaño *et al* 2000).

La fracturación N70E con buzamientos varios, constituye la principal dirección del Lineamiento SaLAM en el que se incluye la Cuenca *Pull Apart* de Santa Lucía (Cretácica) que se encuentra como límite a la zona de estudio. Es el evento regional más importante, siendo las restantes lineaciones las conjugadas y subsidiarias de ella. Paralelamente a esta cuenca, se han formado otras de menor tamaño generadas por hundimiento o levantamiento de bloques, producidos por los sistemas de fallamientos lístricos asociados a la génesis y evolución transpresional - transtensional del Lineamiento SaLAM y a reactivaciones durante el Terciario inferior.

La actividad tectónica genera tres tipos de fracturas en la zona; las Diaclasas de Tensión ($\alpha=1$) que derivan de la deformación plástica que provoca fracturación con una escasa o nula interconexión entre diaclasas limitando la capacidad de almacenamiento. Este tipo de tectónica desarrolla acuíferos pobres. El segundo

tipo son las Fracturas de Tensión ($a=2$) que tienen generalmente gran capacidad de almacenamiento debido a su origen tensil. Estas forman redes de fracturas interconectadas que constituyen grandes espacios para la circulación y almacenamiento de agua, desarrollando buenos acuíferos. Son las más frecuentes dentro de la región y los pozos de mayor rendimiento están ubicados en su ámbito, destacándose los rumbos NS de las mismas. El tercer tipo lo forman las Fracturas de Corrimiento. Es muy complejo el efecto que tiene ésta fracturación en el almacenamiento de agua. En algunos casos las fracturas están bastante cerradas por el efecto de presiones residuales, que limitan el espacio entre bloques. En otros, puede existir una fuerte fracturación ligada a una posterior e intensa alteración con formación de arcillas que limitan la permeabilidad. También puede suceder que las fracturas estén rellenas por materiales arenosos, mejorando las cualidades hidrogeológicas y transformándola en un acuífero (Montaño *et al* 2000).

Puede suceder que dos o más fallas de corrimiento se corten formando un eje de intersección creando grandes espacios o cavernas lo que permite caudales excepcionales.

1.3 Hidrogeología

En la mayoría del área el agua subterránea se almacena y circula principalmente en fracturas. Los niveles alterados son de poco espesor, no mayor a los cinco metros, sin importancia hidrogeológica. En estas regiones las estructuras de drenaje se emplazan generalmente a lo largo de sistemas de fracturas. La acumulación y circulación de aguas subterráneas en la zona de Punta Espinillo se desarrolla en un sistema geológico discontinuo formado por rocas metamórficas de bajo a mediano grado (micaesquistos, cuarcitas, anfibolitas y gneis). Las fracturas portadoras son de tipo tensional, con direcciones preferenciales N-S y E-W. Las rocas gnéisicas presentan mayor densidad de fracturas, y porosidad efectiva y son las que tienen mejor capacidad de almacenamiento.

Debido a que la mayoría del Basamento Cristalino está cubierto por sedimentos de baja

permeabilidad (Formación Libertad), la recarga se da principalmente por la infiltración de los arroyos y cañadas encauzadas en fracturas.

2 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS.

En función de la alta densidad de pozos (4 pozos por km^2) y la constatación de descensos de los niveles estáticos que en algunos casos llegaron al extremo de descenso total en el pozo (seco) se procedió a realizar un monitoreo y evaluación de la situación con el fin de establecer las medidas de recuperación del sistema hidrogeológico.

Se analizaron los datos de monitoreo realizado por DINAMIGE y la Facultad de Ciencias durante los años 2000 y 2001. Además se seleccionaron pozos para ensayos de bombeo, que aportaron excelente información para la caracterización hidráulica del acuífero y establecer los radios de influencia.

3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

3.1 Análisis de los NE

Se ha constatado que los 19 pozos considerados han tenido una recuperación parcial de los NE, estando la misma vinculada principalmente a los meses de invierno debido a los registros excepcionales de lluvia de esta estación, pero la tendencia general es al descenso de los NE y no a la recuperación de los mismos. En función de los diferentes comportamientos se pueden analizar los datos en base a la importancia del descenso y/o ascenso, para ello se generaron cuatro categorías:

CATEGORÍA	DESCENSO
Leve	0 a 4 metros
Poco importante	4 a 6 metros
Importante	6 a 8 metros
Muy importante	8 a 10 metros (o más de 10 m)

Tabla 1: Categorías de los descensos y/o ascenso.

A continuación se presentan las tablas 2 y 3 que muestran los datos de los NE relevados y la evolución de los mismos respectivamente.

Nº Pozo	NE ant.	Mar-00	Jun-00	Ago-00	Nov-00	Mar-01	May-01
20	10,00	10,85	8,34	7,50	7,65	*	8,07
27	9,00	6,33	0,70	*	0,59	*	1,97
30	10,50	17,46	11,99	9,23	8,72	*	9,34
36	12,50	20,84	15,40	14,26	14,33	*	21,42
42	16,50	21,81	13,10	11,04	8,08	*	8,49
46	15,00	25,62	17,93	15,63	15,83	19,00	17,60
47	19,00	*	*	15,04	15,22	18,44	16,00
49	13,20	*	*	10,06	10,54	13,04	12,59
53	18,80	34,95	25,70	19,76	16,92	*	24,67
54	33,50	44,77	36,48	29,72	28,84	38,16	33,97
57	14,00	*	*	12,38	11,74	16,38	13,78
58	12,60	*	*	9,7	9,77	31,2	10,54
59	7,00	*	17,78	12,30	11,69	24,33	14,61
61	21,60	28,73	25,00	22,45	20,85	*	24,42
62	21,00	*	*	26,12	23,23	27,87	27,04
65	7,00	*	7,03	6,53	6,62	*	6,90
69	6,00	7,38	2,52	2,23	3,00	*	4,65
72	19,50	19,42	16,60	15,60	15,89	*	17,07
74	24,00	28,42	20,05	18,28	20,33	*	22,72

Tabla2 : Niveles Estáticos medidos (m)

Nº de Pozo	Ant -mar-00	mar-jun-00	jun-ago-00	ago-nov-00	nov00 may01	ant-may01
20	-0,85	2,51	0,84	-0,15	-0,42	1,93
27	2,67	5,63	--	--	-1,38	7,03
30	-6,96	5,47	2,76	0,51	-0,62	1,16
36	-8,34	5,44	1,14	-0,07	-7,09	-8,92
42	-5,31	8,71	2,06	2,96	-0,41	8,01
46	-10,62	7,69	2,30	-0,20	-1,77	-2,60
47	--	--	--	-0,18	-0,78	3,00
49	--	--	--	-0,48	-2,05	0,61
53	-16,15	9,25	5,94	2,84	-7,75	-5,87
54	-11,27	8,29	6,76	0,88	-5,13	-0,47
57	--	--	--	0,64	-2,04	0,22
58	--	--	--	-0,07	-0,77	2,06
59	--	--	5,48	0,61	-2,92	-7,61
61	-7,13	3,73	2,55	1,60	-3,57	-2,82
62	--	--	--	2,89	-3,81	-6,04
65	--	--	0,50	-0,09	-0,28	0,10
69	-1,38	4,86	0,29	-0,77	-1,65	1,35
72	0,08	2,82	1,00	-0,29	-1,18	2,43
74	-4,42	8,37	1,77	-2,05	-2,39	1,28

Tabla 3: Evolución de los NE (m)

3.1.1 Periodo marzo de 2000 (verano)

Los pares de datos utilizados en este período son los NE llamados Anteriores que corresponden al NE en el momento de entrega de la perforación; y los NE medidos en Marzo de 2000. Se detecta que casi todos los pozos experimentan descensos en los NE, solo dos de ellos (27 & 72) presentan, un leve ascenso en el NE. Los descensos en algunos casos son muy importantes, llegando a 16m por debajo el NE inicial.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los pozos se sitúan principalmente en fracturas con rumbo NS a N10E.

En el pozo 72 el descenso del NE puede estar amortiguado por la recarga inducida por el río. Esta situación viene acompañada por el inconveniente de una posible contaminación de los pozos por aportes salinos.

El resto experimentan descensos de diferentes magnitudes.

Magnitud del descenso	Pozos.
0-4m	20; 69
4-6m	42; 74
6-8m	30; 61
8-10m o +10m	36; 46; 53; 54

Tabla 4: magnitud de los descensos de NE en Marzo 2000.

El pozo 20 extrae muy poca agua, unos 2000 l/h, con bajo o nulo funcionamiento, en una zona donde no existen pozos cercanos, con lo cual no tiene interferencia, lo que explica que el descenso en el mismo sea leve. El pozo 69 se localiza cercano a una fractura donde se encauza una cañada que se comunica con el río, situación que estaría causando una recarga inducida con lo cual el descenso del NE es amortiguado.

Los pozos con descensos de 8 a 10m o más se encuentran en la zona de mayor densidad de pozos por hectárea, con una alta tasa de extracción de agua y el mayor registro de horas de bombeo promedio en verano de 18h/día..

El pozo 36, de Sergio Cabrera, con un caudal de 21.500 l/h, experimenta un descenso de 8.34 m en su nivel estático, respecto a su nivel original. Por otra parte, riega intensamente unas 10 hectáreas y es probable que exista interferencia con los pozos 46 y 47 al encontrarse en la misma fractura.

Los pozos 53 y 58, se ubican dentro del perímetro de mayor densidad y extracción de la zona considerada. Ambos se sitúan en fracturas de rumbo NS. El pozo 58, con un caudal de 3000 l/h, se sitúa en la misma fractura NS que el pozo 53; éste último extrae un caudal de 6000 l/h, y realiza un riego intensivo, con lo cual se plantea una posible situación de interferencia entre ambos pozos, lo que podría estar reflejado en el descenso muy importante del NE en el pozo 53.

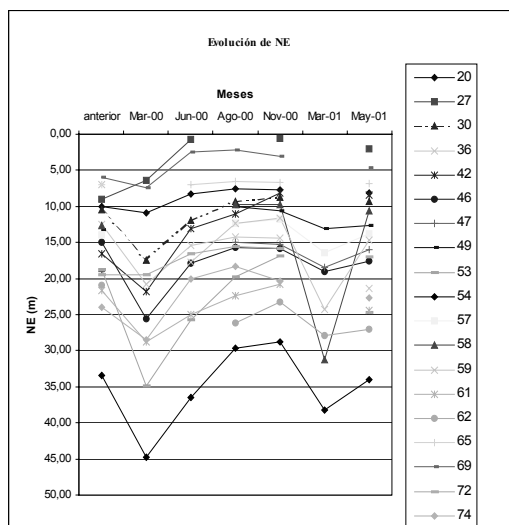


Figura 3 Gráfica de evolución de los NE.

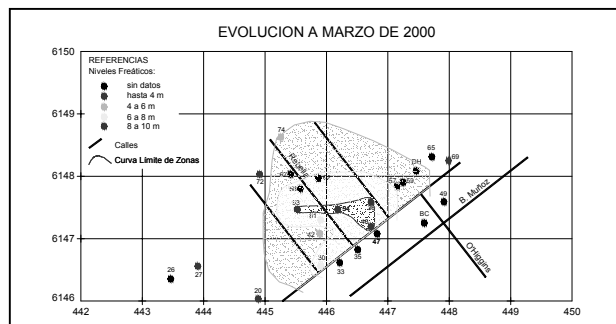


Figura 4: evolución NE a marzo de 2000.

3.1.2 Período Junio de 2000. (otoño)

Los pares de datos utilizados fueron Marzo y junio de 2000. Se detecta que todos los pozos experimentan recuperaciones en los NE. Las recuperaciones oscilan entre los 2.50m hasta 9.25m respecto a los NE de marzo. Los que experimentan mayores recuperaciones son los pozos 42, 53, 54 y 74. Hidrogeológicamente los pozos se sitúan en fracturas NS, el patrón de distribución de los pozos con mayor recuperación debido principalmente a tener mayor capacidad de recargarse al haber experimentado el mayor registro de descenso en sus niveles estáticos..

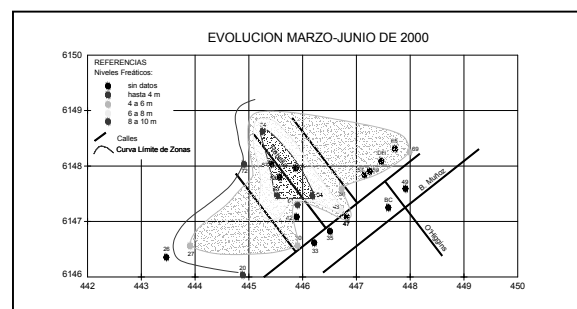


Figura 5: evolución NE de marzo a junio de 2000.

3.1.3 Período Agosto de 2000 (invierno)

Los pares de datos utilizados fueron junio y agosto de 2000. Se aprecian síntomas de recuperación en todos los pozos, pero en menor magnitud que en junio, destacándose como máximo el pozo 54 con que se recuperó 6.76m sobre el nivel del mes de junio.

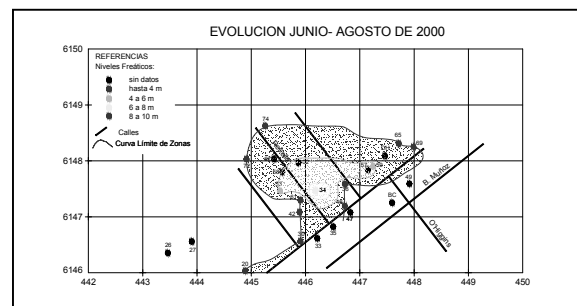


Figura 6: evolución NE de junio a agosto de 2000.

3.1.4 Periodo Noviembre de 2000 (primavera)

Los pares de datos utilizados fueron agosto y noviembre de 2000. En este periodo se aprecia que 10 de 18 pozos experimentan descensos leves que fluctúan entre 0.10 m y 2 m, el resto experimentan ascensos leves que oscilan entre 0.10m y 3m. En este periodo, se registraron altas precipitaciones que no justifican las leves fluctuaciones de los NE.

MESES	Precipitaciones (mm)
Agosto	128
Setiembre	133
Octubre	102
Noviembre	77
diciembre	107

Tabla 5: Precipitaciones, año 2000. (Tomados de Stapff *et al* 2001).

La zona de descensos exhibe un patrón de distribución con trens EW y NS

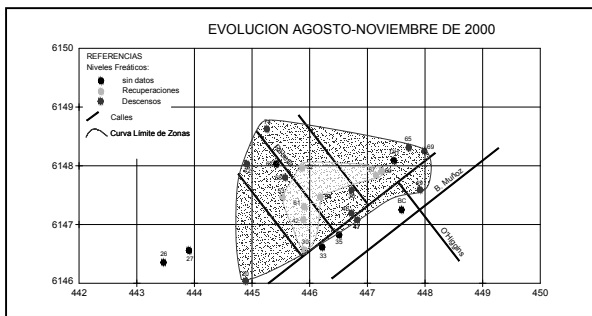


Figura 7: evolución NE de agosto a noviembre de 2000

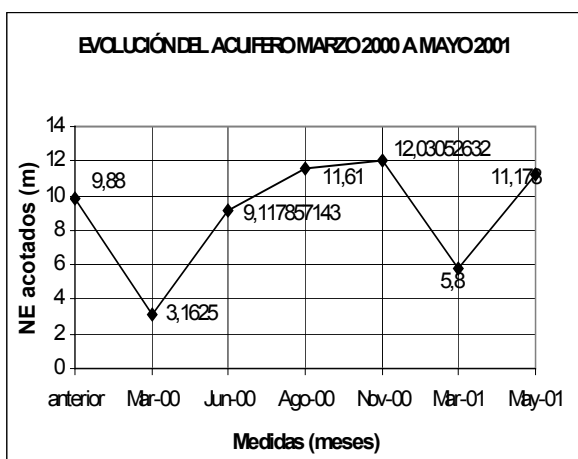


Figura 8: Histograma de Pluviometría en la zona durante los meses de verano de 2001. (Tomado de Stapff *et al* 2001).

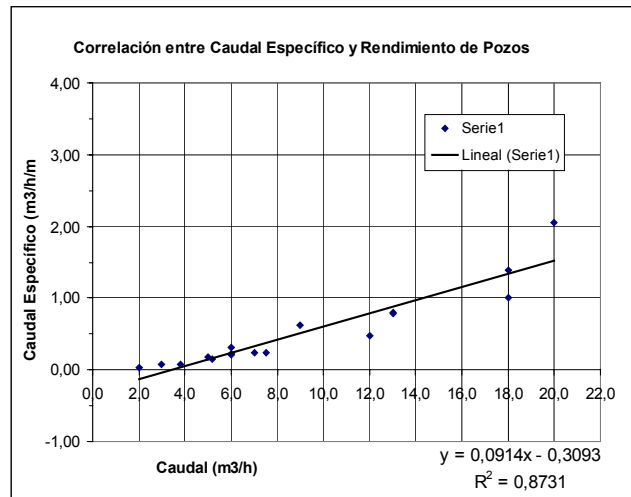


Figura 9: Evolución promedio de lo NE en el acuífero en el periodo considerado.

La tendencia general de los NE en el acuífero como se desprende de los análisis anteriores es al descenso, pues las medidas efectuadas en marzo de 2001 muestran descensos importantes, si bien en este periodo de verano se bombearon poco los pozos debido a la abundancia de precipitaciones registradas en el mismo (Stapff *et al* 2001). Lo que refleja que a pesar de las buenas condiciones de recarga igualmente la extracción de agua es excesiva debido al mantenimiento del descenso del acuífero.

3.2 Pozos en los que se infieren problemas de salinización en función de la evolución de los NE y de la ubicación de los pozos (53%)

Se entiende, desde el punto de vista hidráulico, por "Peligro de Salinización" a la situación en la cual, el NE de los pozos desciende por debajo del Nivel de Referencia, teniendo en cuenta la proximidad de la fuente de aguas salobres. Cuando esto ocurre, se favorece la entrada de la cuña salina hacia el acuífero, lo que puede generar la salinización del agua del mismo, haciéndola inapropiada tanto para riego como para consumo humano.

En los 19 pozos considerados, se constatan 7 pozos que en algún momento han tenido NE con cotas negativas, algunos con más de 10 metros.

Nº de Pozo	NE i (m)	Mar-00 NE(m)	Jun-00 NE(m)	Ago-00 NE (m)	Nov-00 NE (m)	Mar-01 NE (m)
53	5,58	-10,57	-1,32	4,62	7,46	-----
54	-0,74	-12,01	-3,72	3,04	3,92	-5,40
58	10,93	-----	-----	13,83	13,76	-7,67
59	15,76	-----	4,98	10,46	11,07	-1,57
61	4,48	-2,65	1,08	3,63	5,23	-----
62	2,84	-----	-----	-2,28	0,61	-4,03
74	-3,30	-7,72	0,65	2,42	0,37	-----

Tabla 6: Muestra los pozos que poseen NE por debajo del Nivel de Referencia (signo negativo) en función del tiempo.

Salvo los pozos 61 y 53 que no presentan síntomas, el resto (65, 69, 72 y 74) muestran tendencias al descenso de los NE y se corresponden con pozos salinizados, lo que indicaría que las fracturas portadoras se comunican con el Río el cual presenta una salinidad temporal que puede alcanzar hasta los 22000 ppm de NaCl (SHOMA, *com pers*).

3.3 Caracterización de la Capacidad del Acuífero

En función de los datos obtenidos se realizó la correlación entre caudal y caudal específico con el fin de establecer la capacidad potencial del acuífero.

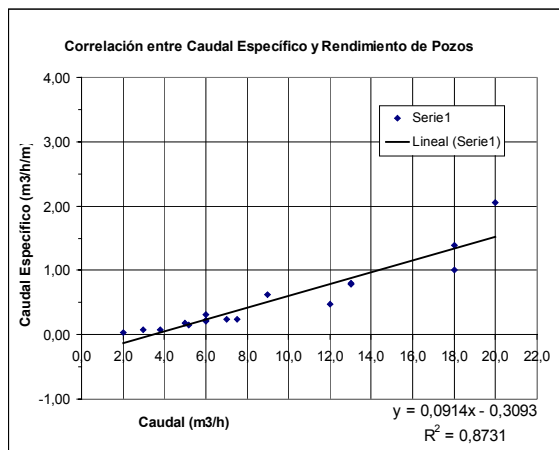


Figura 10: Gráfico de correlación entre Caudal (m^3/h) y Caudal Específico ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$).

Del análisis del gráfico se puede concluir que para pozos que tienen $10\text{m}^3/\text{h}$ su caudal específico es de $0.60\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ y para valores superiores a $20\text{m}^3/\text{h}$ los caudales específicos son mayores a $1.5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Del análisis de la ecuación de tendencia surgen los valores experimentales de los caudales y su relación con los caudales específicos, los que nos dan un índice de la capacidad del acuífero fisurado.

Caudal específico $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$	Caudal (m^3/h)
1	14.3249
2	25.2658
3	36.2067
4	47.1477

Tabla 7: Datos de caudal por metro de descenso para el acuífero.

Estos datos deben ser tomados como referencia puntual del sistema fisurado y reflejan una zona con gran densidad de fracturas, alta porosidad lo que determina gran capacidad de almacenamiento y circulación de agua subterránea.

3.4 Cálculo de la distancia de Influencia

Definimos distancia de influencia a la medida entre un pozo bombeado y el punto donde no existe depresión del acuífero. Esta distancia se calcula mediante un pozo de bombeo y un pozo de observación situados en una misma fractura. Los resultados se grafican y se calcula esta distancia. El concepto es similar al de radio de influencia pero asumimos la denominación de distancia de influencia al presentarse sobre un sistema fracturado.

Para este caso, no se cumple estrictamente la definición de Radio de Influencia ni la metodología habitual para su cálculo, debido a la heterogeneidad del medio. Pero, por otra parte, la gran densidad de fracturas y la comprobación mediante los ensayos de bombeo de los fenómenos de interferencia entre pozos, permiten, para pozos situados en la misma fractura, inferir una medida análoga al radio de influencia.

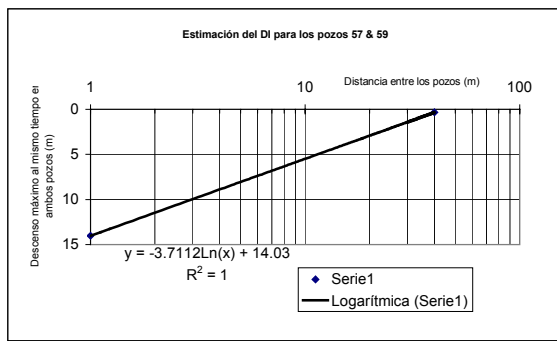


Figura 11: Gráfico para el cálculo de la Distancia de Influencia entre los pozos 57&59.

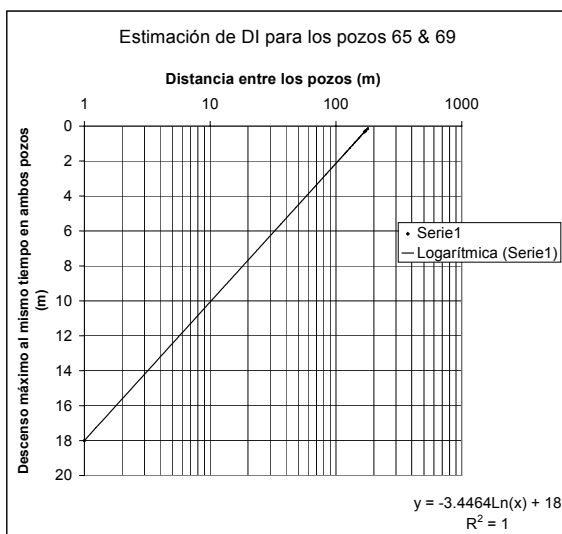


Figura 12: Gráfico para el cálculo de la Distancia de Influencia entre los pozos 65&69.

Con estos datos y suponiendo que la fractura que comunica a cada par de pozos se prolonga en su longitud y se mantuviera la misma porosidad de fractura, podría determinarse el valor de D.I.(distancia de influencia). Dichos valores se muestran en la tabla 8.

Par de Pozos	Distancia entre pozos (m)	Distancia de Influencia (m)
59 & 57	40	44
65 & 69	170	186

Tabla 8 Cálculo de la Distancia de Influencia .

Los datos determinan que la distancia de influencia varía entre 44m 186m reflejando la gran heterogeneidad del acuífero debido principalmente a la geometría, conexión y porosidad del sistema de fracturas considerados.

4 CONCLUSIONES

De los datos se desprenden las siguientes consideraciones:

- Desde el punto de vista geológico, mediante fotointerpretación se ha determinado que la mayoría de los pozos se sitúan en fracturas de rumbo NS con buzamientos verticales al igual que sus complementarias. Además de los ensayos de bombeo se desprende que existe interferencia en pozos que no se situarían en la misma fracturas, con los cual se infiere la existencia de fracturas horizontales que conectan los pozos y que no fueron detectadas por fotointerpretación.
- De los 19 pozos considerados, aunque muestran tendencias "parciales" a la recuperación, asociada principalmente a la excepcionales periodos de lluvia en verano la resultante marca un descenso generalizado de los niveles estáticos ,indicativo de una sobreexplotación del acuífero.
- El 53% de los pozos considerados presentan características que permiten inferir un potencial riesgo de salinización. Algunos de ellos, los pozos 65, 69, 72 y 74 presentan riesgo por su proximidad a las aguas salinas del Río de la Plata, que posee una concentración salina que varía entre 0-22000 ppm de NaCl. Con evidencias de que los niveles estáticos se sitúan por debajo del nivel del Río de la Plata.
- Mediante ensayos de bombeo se realizó la correlación entre caudal y caudal específico con el fin de establecer la capacidad potencial del acuífero. De los resultados surge que para pozos que tienen un caudal de 10m³/h el caudal específico es de 0.60m³/h.m y los mayores a 20m³/h sería el caudal específico superior a 1.5m³/h.m. Estos datos deben ser tomados como referencia puntual del sistema fisurado en cuestión y describen un área con gran densidad de fracturas, alta porosidad lo que determina gran capacidad de almacenamiento y circulación de agua subterránea.
- Debido a la gran densidad de fracturas y la comprobación mediante los ensayos de bombeo de los fenómenos de interferencia entre pozos, se calcularon las medidas análogas a los radios de influencia entre los pozos y sus respectivos piezómetros. Se comprobó que la distancia de influencia varía entre 44m y 186m aproximadamente. Reflejando la gran heterogeneidad del sistema.

5 BIBLIOGRAFÍA

- CARDELINO, F & FERRANDO, F. 1969. *Carta Geológica del Departamento de Montevideo. A escala 1:100000*. Universidad de La República - Uruguay.
- CUSTODIO, E & LLAMAS, MR. 1996. *Hidrología Subterránea* 2º Edición. Vol. I y II. Editorial Omega – Barcelona – España.
- GUSTAFSON, G & KRASNY, J 1994. Crystalline rock aquifers: their occurrence, use and importance.. *Applied Hydrogeology* 2(2):64-75.
- MONTAÑO J.& CHULEPIN H.1992. *Carta Geológica de Montevideo*. C. S. I. SOGREA.
- MONTAÑO, J.; GUÉRÉQUIZ, R; COLLAZO, P.; MARTÍNEZ PAULO, DA ROSA FILHO, E. F. & HINDI, E. (2001) Planificación Para La Recuperación En Sistemas Hidrogeológicos Discontinuos - Punta Espinillo – Uruguay *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*. Nº 1 pp 15-26 (ALHSUD).
- ROSELLO, E; DE SANTA ANA, H & VEROSLAVKY, G 1999. *Lineamiento Santa Lucia - Aiguá - Merin (Uruguay): Un rifting Transtensivo Mesozoico Abortado Durante la Apertura Atlántica*. Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simposio sobre el Cretácico de América del Sur Serra Negra -SP Brasil 29 /08 al 02/09 de 1999.
- STAFF, M , PENA, S; CARRION, R; MASSA, E; BERGALLI, L; IARDINO, G; & HEINSEN, W. 2001 El acuífero de Punta Espinillo. *Revista Geológica Uruguay*- Vol 1 Nº1 pp 8-17.
- VAZ CHAVEZ, N. 1991. *Análisis estructural del área de Punta Espinillo*.(inédito)
- WALTHER, K. 1947. *Estudio petrográfico de la Formación Montevideo*. Instituto Geológico del Uruguay.