

Estudio y simulación hidrogeológica para la implantación de un acueducto Reconquista. Santa Fe. Argentina

Díaz, E¹; Dalla Costa², O. y C. Nardin³

¹Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta Provincial 11 km 10.5. (3101) Oro Verde. Entre Ríos. Tel/FAX: 0343-4975075.

²Las Heras 2906. (3000) Santa Fe. Tel: 034120768. (3000) Santa Fe.

³Unidad Académica Avellaneda. Universidad Tecnológica Nacional.

Mail de contacto: ediaz@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

Con el fin de diseñar el campo de bombeo a lo largo de 5 kilómetros de longitud para el abatimiento de los niveles estáticos a los efectos de la construcción del Acueducto desde el Río San Javier a Reconquista se ejecutaron perforaciones de estudio y piezómetros, se realizaron ensayos de caudales y de bombeo. Se determinaron los parámetros hidráulicos formacionales a partir de su interpretación mediante el Esquema de Hantush (1965).

A partir de las mediciones de campo y las características del acuífero y su acuitardo se han realizado estimaciones de los descensos inducidos por los bombeos. Las estimaciones se han realizado en régimen permanente y transitorio. El diseño seleccionado abatir los niveles estáticos con un abatimiento de 4 metros del terreno natural, implican utilizar un caudal de 75 m³/hora en perforaciones separadas 10 metros. El diseño permitió alcanzar los objetivos planteados.

Palabras clave: depresión, acuífero, acueducto, argentina

ABSTRACT

In order to design the pumping field over 5 kilometers in length for the abatement of static levels for the purpose of the construction of the aqueduct from the San Javier River to Reconquista city perforations and piezometers study were executed, tests and pump flow were conducted. Formational hydraulic parameters were determined from its interpretation by Hantush Method (1965).

From the field measurements and the characteristics of the aquifer and aquitard, estimates have been made of the pumping-induced declines. The estimates were made in steady and transient state. The selected design to abate 4 meters the static levels from the soils levels, involve using a flow rate of 75 m³/hr at 10 meters apart perforations. The design allowed for achieving the objectives.

Keywords: depletion, aquifer, aqueduct, Argentina

Introducción.

El diseño de un acueducto para abastecer a una planta de tratamiento de aguas crudas obtenidas desde el Río San Javier (afluente del Río Paraná) destinado al consumo humano en las localidades de Reconquista y Avellaneda (Provincia de Santa Fe), el que discurre a lo largo de 5 kilómetros de longitud a profundidades variables con un diámetro de 90 cm, implica la ejecución de una zanja con profundidades de hasta 4 metros bajo el nivel del terreno. El Perfil geotécnico indica la presencia de formaciones acuíferas saturadas que disminuyen su capacidad portante y su ángulo de estabilidad, por lo que al realizarse tareas de excavación producen deslizamientos de los taludes que implican elevados movimientos de suelo y adicionalmente el de

trabajar en la implantación del conducto en condiciones de suelo saturado.

La localidad de Avellaneda en la actualidad se abastece de agua potable mediante perforaciones que explotan el acuífero Puelche, mientras que la localidad de Reconquista cuenta con una planta que se abastece de la misma fuente del acueducto a construir.

La sección en estudio corresponde al Acueducto de Agua que parte de la Planta de Tratamiento ubicada al sur de la Ruta A009 y que vincula al Puerto de Reconquista con dicha ciudad.

Las características hidrogeológicas de la traza del acueducto desde el Río San Javier, afluentes del Río Paraná, condicionan la implantación de un acueducto destinado a complementar el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Reconquista y

reemplazar el actual, a la ciudad de Avellaneda que se abastece de agua subterránea de mediana salinidad. Para ello, la cañería de impulsión de agua cruda de 90 cm de diámetro deberá ubicarse en una zanja de 3 a 5 metros de profundidad, Figura 1, de manera de evitar los desplazamientos de los suelos saturados por sobre el nivel de excavación.

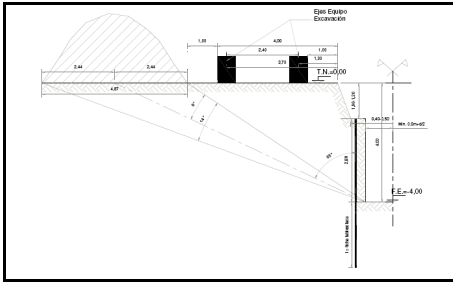


Figura 1. Esquema de apuntalamiento de la zanja (PROINSA, 2012).

Operativamente para la construcción de la misma, y dado las características de los suelos y de las formaciones involucradas, atendiendo además a que los niveles estáticos se encuentran a una profundidad del orden de los 2 a 2,5 metros desde el terreno natural fue necesario plantear el diseño de un campo de bombeo. Ello ha requerido la ejecución de estudios hidrogeológicos para el diseño de un sistema de abatimiento de niveles a lo largo de la traza del acueducto.

Se dispuso de datos de una campaña geotécnica consistente en siete (7) sondeos de 5 m de profundidad equidistanciados 1000 m, Figura 2.

La misma determina que los suelos poseen una plasticidad CL en su gran parte y

de consistencia media, que alterna arcillas de alta plasticidad CH, ambas ubicadas principalmente a nivel superficial. Estas capas son de color gris claro en su gran mayoría, sin embargo en la perforación P1 se verificaron castañas oscuras. Tienen una potencia promedio de 3 m que varía notablemente, incluso casi desapareciendo en la perforación P7 en donde se registró 1 m de potencia. Estas arcillas se caracterizan por presentar un Límite Líquido (LL) variable entre 30% y 41% que decrece en profundidad, el Índice de Plasticidad (IP) varía entre 12% y 18% y el pasante # 200 superior al 90%. los casos inferiores a 10 golpes. Por debajo del estrato arcilloso se extienden arenas limosas y limos magros, de color gris claro y castaño oscuros en algunos casos, los primeros se caracterizan por presentarse un pasante # 200 inferior al 10%. Los limos en cambio tienen escasa plasticidad, promedio de IP inferior a 5 pero un pasante # 200 superior al 80% salvo las capas de transición antes de llegar a la arena, Figura 2.

Objetivos

Los objetivos del estudio fueron:

- Estudiar y diseñar el campo de bombeo de las perforaciones de explotación para la depresión de la napa a lo largo de toda la traza del acueducto.
- Determinar el caudal específico de las perforaciones para seleccionar los caudales de explotación y las bombas a utilizar.
- Alimentar con parámetros hidrogeológicos formacionales un modelo matemático de simulación del funcionamiento del sistema acuífero frente a distintos diseños del campo de bombeo.

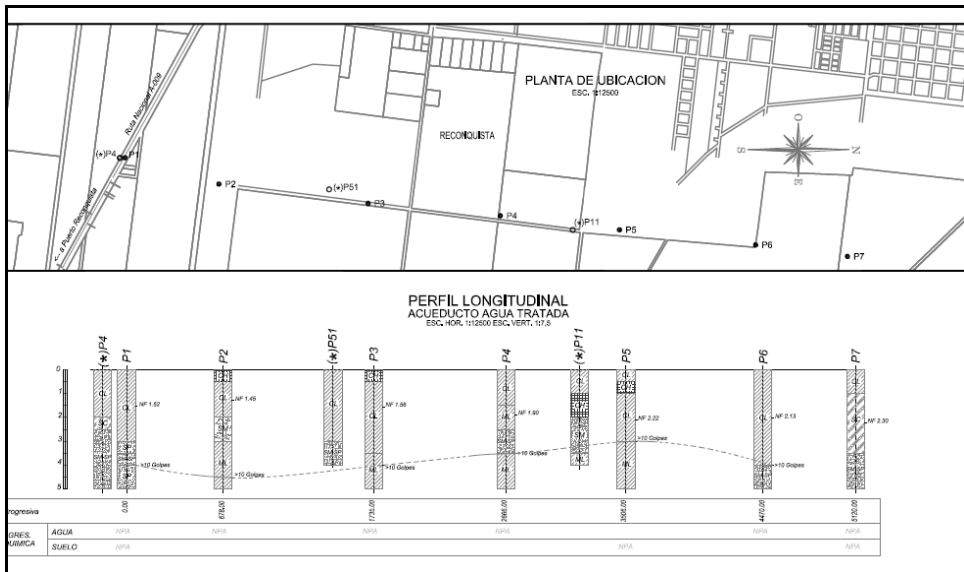


Figura 2. Perfil geotécnico longitudinal. (PROINSA, 2012).

Esta área limita en su sector este, con las islas del Paraná, hacia el oeste se interna en la Cuña Boscosa, llegando por el sur hasta la zona de Los Saladillos. La precipitación media anual varía entre los 1000 a 1500 mm, Iriondo (1987), Iriondo (2011) y Sosa (2013).

Las formaciones superficiales son de tipo limo-arenosas en las partes elevadas y con buena permeabilidad; en las cañadas y en los bajos son arcillosas y de muy baja permeabilidad, dando origen a esteros y cañadas por falta de infiltración y suaves pendientes.

En algunos sectores se constituyen capas libres de poco espesor y bajo caudal. Generalmente se encuentran confinados que insensiblemente pasan, en profundidad a confinados, suministrando buenos caudales específicos (entre 4000 a 7000 l/h/m). Los residuos secos varían entre 300 y 400 mg/l; en la margen oriental, sobre la costa del sistema del Paraná que actuaría como filtro, las arenas poseen elevadas concentraciones de hierro y manganeso, que perturban la explotación de esos acuíferos. La dureza aumenta en el sentido norte sur, llegando a los 50 °F en la localidad de Malabrigo. En términos generales se observa una disminución de la calidad y de los caudales desde el sur y hacia el oeste.

Las características hidrodinámicas son las siguientes: el coeficiente de almacenamiento varía entre 2.5×10^{-3} y $1,6 \times 10^{-3}$, la

transmisibilidad oscila entre 2500 m³/día/m al norte y 700 m³/día/m al sur.

Fili y Tujchneider (1977) describen las características geo hidrológicas regionales del subsuelo de la Provincia de Santa Fe, mediante una esquematización de la columna geológica tipo en cuatro grandes unidades hidrogeológicas, denominadas secciones.

En orden cronológico se presentan las secciones "basamento", "hipoparaniana", "paraniana" y "epiparaniana", identificables a través de sus condiciones hidro litológicas, hidrodinámicas e hidro químicas más notables.

Con la sección epiparaniana culmina la columna hidrogeológica. Esta sección presenta dos secuencias netamente diferenciables, portadoras de las fuentes de aprovisionamiento subterráneo en todo el territorio provincial. Par un mejor tratamiento se la ha dividido en subsecciones.

La subsección inferior está compuesta por arenas amarillentas, cuarzosas, de grano fino a mediano, con aumento de tamaño hacia la base donde suele presentarse niveles finos de grava. En algunas perforaciones se observa un pase neto a las arcillas verdes de la sección infrayacente, pero predomina un pase transicional de arenas grises a grises verdosas arcillosas.

Estratigráficamente se corresponde con la Formación Puelches de origen fluvial cuyas características sedimentológicas han sido

ampliamente estudiadas para el ámbito de la Provincia de Buenos Aires.

Desde el punto de vista hidrogeológico es el cuerpo más importante del subsuelo, La formación tiene un espesor medio de 20 m con transmisibilidades más frecuentes entre 500 m²/día y 1500 m²/día.

Según la potencia y la naturaleza de los sedimentos suprayacentes, puede presentar características de semiconfinamiento hasta confinamiento, siendo más frecuente la primera condición.

A través de la cobertura acuitarda se vincula con el ciclo hidrológico exterior; las áreas de recarga, transferencia y descarga se corresponden con la morfología topográfica, pero el nivel de descarga regional está dado por el valle aluvial del Río Paraná.

La calidad química de las aguas varía en relación a la región en que se localiza el reservorio. Las condiciones más adversas para diversos usos se presentan en la región de los bajos submeridionales, en el norte de la provincia, donde las aguas son predominantemente cloro-sulfatadas sódicas-cálcicas con sales totales que superan frecuentemente las normas de potabilidad, Las condiciones más propicias se dan en la denominada "área del puelche" (Bojanich y Risiga, 1975).

La Subsección superior se caracteriza por su conformación limo arcillosa, a veces loésica, calcárea, con algunas intercalaciones de samitas muy finas. Su potencia varía entre pocos metros en las adyacencias del valle del Paraná, hasta más de 100 m hacia el oeste de la provincia. Hidrogeológicamente su comportamiento varía entre francamente acuícludo, en algunas áreas del norte de la provincia, hasta medianamente acuitardo hacia el sur. Esta circunstancia hace que en el primero de los casos, la porción samítica infrayacente quede desvinculada del ciclo exógeno, sin posibilidades de infiltración directa.

En los departamentos centrales y del sur la composición se hace más limosa, permite la formación de niveles acuíferos continuos, aunque de baja permeabilidad (1 a 10 m/día) y espesores aprovechables de 2 a más de 15 metros.

Frecuentemente las variaciones verticales en la permeabilidad dan lugar a horizontes más productivos que asemejan distintos acuíferos, pero constituyen una sola unidad.

La recarga es autóctona y directa. Se produce en las zonas más altas de la llanura santafesina, especialmente por acumulación de las aguas pluviales en las depresiones planas, circulares y elongadas.

La sección epiparaniana, vinculada directamente al ciclo exógeno, responde en su dinámica a los rasgos morfológicos superficiales.

La parte inferior, cuando la relación entre las áreas de recarga y descarga permiten una corta permanencia de contacto entre el agua y los sedimentos, presentan acuíferos ricos tanto en calidad como en cantidad y constituye la principal fuente de abastecimiento para una importante área de la provincia, denominada por Bojanich y Risiga (1975) "área del puelche".

La porción superior es sumamente importante ya que las variaciones de su carácter general acuitardo, pueden permitir el alojamiento de niveles acuíferos con capacidad y calidad suficiente como para cubrir las necesidades hídricas de la mayor parte del territorio provincial, en forma directa o empleándose como reservorio para recargas artificiales o, por el contrario, para constituir una cobertura impermeable que impide la infiltración de las aguas meteóricas hacia los acuíferos subyacentes, tal como ocurre en gran parte de los "bajos submeridionales" Sosa (2013), en los departamentos del norte de la provincia. En esta zona se aprovecha la estanqueidad de la formación limo-arcillosa para construir reservorios superficiales.

Metodología

A los efectos de determinar los parámetros hidrogeológicos formacionales y el caudal característico de las perforaciones a construir se ejecutaron dos perforaciones de estudio, ensayos de caudales y de bombeo con una electrobomba sumergible alimentada a partir de un generador trifásico.

Para ello se utilizó una bomba electro sumergible de 7,5 Hp, un generador de corriente trifásico, cronómetro y tanque para aforo de caudales, y sonda bipolar para medición de niveles estáticos y dinámicos. Los datos de los ensayos fueron procesados mediante el software AQUITEST (1993) de Waterloo Hydrologic, de Ontario Canadá.

Se ejecutaron dos perforaciones de estudio de 17 metros de profundidad, con sus correspondientes piezómetros y freátímetros ubicados a 2.90 y 7.25 metros de distancia del centro de la perforación P1, y a 2.00 y 5.00 metros de distancia de la perforación P2,

Las perforaciones tienen 13.1 metros de cañería portafiltros de PVC de diámetro 115 mm, 3.5 metros de filtro de PVC ranurado de 115 mm y un tramo de 0.40 metro final ciego.

Previo a los ensayos de caudales y de bombeo se midieron los niveles estáticos de

ambas perforaciones, así como la de los freáticos y piezómetros, Custodio y Llamas (1982).

Para la perforación de Estudio 1 el nivel estático era de 2.33 m bajo boca de pozo, y en los dos piezómetros realizados sus niveles estáticos fueron de 2.24 m, y 2,16 m, respectivamente. Los freáticos marcan un nivel estático de: 2,15 y 2,16 m, respectivamente.

En la Perforación de Estudio 2 el nivel estático fue de 2,40 m, mientras que los Piezómetro 1 y 2, tienen ambos niveles de 2 metros, y en los freáticos 1 y 2 no se detectó saturación en el acuífero pampeano.

Resultados

La Tabla 1 y la Figura 3 muestran los datos y la representación del análisis de los cuatro escalones ensayados para la perforación 1. Surge que la ecuación que relaciona los descensos y los caudales expresado en caudal Especifico; con un coeficiente de correlación cercano a 1; es:

$$q_{esp} = 2,12 \text{ m}^3/\text{hora/metro}$$

Tabla 1. Resumen del ensayo de caudales escalonado Perforación 1 (P1)

Q (m ³ /h)	H inicial	H final	Descenso	Q esp
2,30	2,33	3,55	1,22	1,89
9,82	3,55	7,00	4,67	2,10
13,83	7,00	8,50	6,17	2,24
23,04	8,50	13,40	11,07	2,08

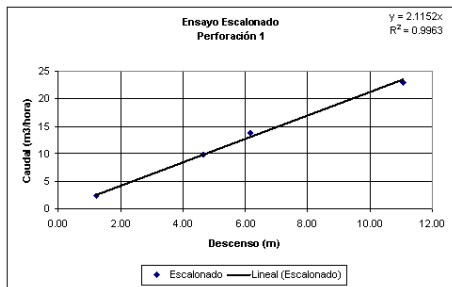


Figura 3. Ensayo Escalonado. P 1.

Similarmente para la perforación 2, la Tabla 2 y la Figura 4 presentan la representación del análisis de los cuatro escalones ensayados para la perforación 2 del ensayo escalonado que permitió determinar el caudal específico, con un elevado coeficiente de correlación es:

$$q_{esp} = 5,52 \text{ m}^3/\text{hora/metro}$$

Tabla 2. Resumen del ensayo de caudales escalonado Perforación 2 (P2).

Q (m ³ /h)	H inicial	H final	Descenso	Q esp
8,13	2,54	4,00	1,46	5,57
13,82	4,00	5,00	2,46	5,62
19,70	5,00	6,15	3,61	5,46
25,00	6,15	7,06	4,52	5,53

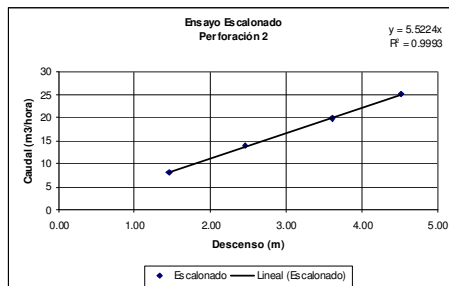


Figura 4. Ensayo Escalonado. P 2.

Se desarrolló un Ensayo de Bombeo en régimen permanente para cada perforación, para determinar los parámetros hidráulicos. En este tipo de acuífero es importante determinar la resistencia hidráulica del acuitardo que yace sobre el acuífero a bombear, la misma está expresada por la relación:

$$c \text{ (días)} = \text{Espesor del acuitardo} / kv$$

Cuanto mayor sea el valor de “c”, implicará que la transferencia vertical del agua hacia el acuífero bombeado será menor, por lo que el tiempo de bombeo para alcanzar la estabilidad o el nivel a deprimir será mayor. Por lo que conociendo el valor de “c” a partir de los ensayos de bombeo y el espesor de acuitardo “c” se puede estimar el valor de la permeabilidad vertical “k_v”.

En la perforación P1 el ensayo se ejecutó a lo largo de 360’, hasta alcanzar la estabilización de los niveles en los piezómetros de observación de cada una de ellas. La estabilización fue con un descenso de 11,07 metros. El desnivel observado para un régimen de 23,04 m³/hora, fue de 1,39 metros en el piezómetro 1 (P1) y de 0,605 metros en el piezómetro 2 (P2), alcanzándose la estabilización a los 255 minutos.

El ensayo fue interpretado mediante el programa AQUITEST® de Waterloo Hydrologic Inc (1993), La Tabla 3 presenta un resumen de la interpretación del mismo utilizando dicho

software para ambos piezómetros aplicando la teoría de HANTUSH (1965) de acuífero semiconfinado sin almacenamiento en el acuitardo. De la misma manera, en la perforación P2 el ensayo se ejecutó a lo largo de 360', hasta alcanzar la estabilización de los niveles en los piezómetros de observación de cada una de ellas, los resultados de la interpretación del ensayo de bombeo se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3. Interpretación del Ensayo de Bombeo de la Perforación 1.

	T m ² d ⁻¹	S []	k m/d	c días
P ₁	304	9,51 x10 ⁻⁵	5,53	276
P ₂	688	3,87 x10 ⁻⁴	12,5	762

Tabla 4. Interpretación del Ensayo de Bombeo de la Perforación 2

	T m ² d ⁻¹	S []	k m/d	c días
P ₁	302	9,65 x10 ⁻⁴	5,49	33,0
P ₂	428	1,91 x10 ⁻³	7,78	5,83

La estabilización se alcanza con un descenso de 5,23 metros. A partir de estos datos se puede estimar la kv, asumiendo un valor medio del espesor del acuitardo de e = 2,20 metros.

A partir de los resultados de ambos ensayos de bombeo se obtuvo un radio de acción mínimo (más desfavorable) en la perforación P2 de 502 metros.

Simulaciones del campo de bombeo

De las mediciones de campo y las características del acuífero y su acuitardo se han realizado unas primeras aproximaciones a las dimensiones del campo de bombeo. Para ello se asumieron dos modelos distintos, correspondientes a cada una de las perforaciones ensayadas, donde existe un contraste de permeabilidades y por ende de la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

Se utilizó el modelo matemático hidrogeológico GWF, Bear y Verruijt (1987) y Verruijt (1982). para simular el flujo en medios porosos, para estimar el funcionamiento del sistema bajo diferentes condiciones de diseño del campo de bombeo (caudales de las perforaciones) y ubicación (distancias) de las mismas.

Las condiciones de borde adoptadas fueron de nivel constante -2 metros por debajo del nivel

del terreno a 500 metros en los extremos y ambos bordes del acueducto.

Los pasos de tiempo utilizados en las simulaciones de régimen transitorio fueron estimados a partir de la geometría del cuerpo simulado a tiempos de 1, 2, 3, 5 y 10 días a partir del inicio del bombeo.

Asimismo se simularon dos espaciados de las perforaciones de 10 y 15 metros, y los parámetros formacionales de la perforación 1 y 2 determinados a partir de los ensayos de bombeos ejecutados, y finalmente para caudales de 25, 50 y 75 m³/hora.

Se realizó una calibración en régimen permanente para definir la ubicación de las perforaciones y los caudales de bombeo. y una simulación en régimen transitorio para estimar en función de las ubicaciones de las perforaciones, los caudales de bombeo y el tiempo necesario para estabilizar los niveles en el punto más desfavorable (punto medio entre dos perforaciones consecutivas).

Las tablas 4 y 6 presentan las estimaciones de los descensos inducidos por las perforaciones en ambas situaciones para caudales de 50 y 75 m³/hora, y distancias variables desde el centro de las mismas.

Las estimaciones se han hecho para régimen permanente (indica el máximo descenso a producirse a una distancia determinada si se bombea indefinidamente), y el régimen transitorio para una situación estabilizada a los 3 días de bombeo continuo.

El centro de la perforación coincide con un diseño de perforaciones cada 10 metros y que dicho descenso se corresponda con el borde opuesto de la excavación a la ubicación de las perforaciones.

La columna de la distancia expresada en metros indica la longitud desde la perforación de bombeo al centro opuesto de la zanja entre dos perforaciones consecutivas, correspondientes a la condición más exigente de excavación.

Se puede observar que para alcanzar descensos por debajo de los 4 metros del terreno natural, deberá bombearse con un caudal de 50 m³/hora en la perforación 1, que inducirá un descenso de 1,02 metros a una distancia de 8 metros del centro de la perforación de bombeo.

Al interferirse con la siguiente perforación generará un descenso acumulado de 2,44 metros que adicionado al nivel estático actual de Ne = 1.76 metros producirá un nivel dinámico Nd = 4.20 metros.

En esta situación de espaciados cada 10 metros y dado los valores de transmisividad, para alcanzar los descensos por debajo de los 4

metros del terreno natural, deberá bombearse con un caudal de 75 m³/hora en la perforación 2, que inducirá un descenso de 0,93 metros a una distancia de 8 metros del centro de la perforación de bombeo.

Al interferirse con la siguiente perforación generará un descenso acumulado de 1,86 metros que adicionado al nivel estático actual de Ne = 2,32 metros producirá un nivel dinámico Nd = 4,18 metros.

A partir de las mediciones de campo y las características del acuífero y su acuitardo se han realizado unas primeras aproximaciones a las dimensiones del campo de bombeo. Para ello se asumieron dos modelos distintos, correspondientes a cada una de las perforaciones ensayadas, donde existe un contraste de permeabilidades y por ende de la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento, Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Estimación de niveles dinámicos Q = 50 m³/hora, tiempo = 3 días.

Distancia	Descenso	
	Permanente	Transitorio
0,40	3,180	1,62
0,50	3,080	1,58
0,80	2,871	1,48
1,00	2,771	1,44
2,00	2,463	1,30
3,00	2,282	1,22
4,00	2,154	1,16
5,00	2,054	1,11
6,00	1,973	1,08
7,00	1,904	1,04
8,00	1,845	1,02
9,00	1,792	0,99
10,00	1,745	0,97

Tabla 6. Estimación de niveles Q = 75 m³/hora y tiempo = 3 días.

Distancia m	Descenso	
	Permanente	Transitorio
0,40	3,18	1,62
0,50	3,08	1,58
0,80	2,87	1,48
1,00	2,77	1,44
2,00	2,46	1,30
3,00	2,28	1,22
4,00	2,15	1,16
5,00	2,05	1,11
6,00	1,97	1,08
6,70	1,92	1,05
7,70	1,86	1,03
8,70	1,81	1,00
10,00	1,75	0,97
11,00	1,70	0,95
12,00	1,66	0,94
13,00	1,63	0,92
14,00	1,60	0,90
15,00	1,56	0,89

En el caso de la perforación 2 para alcanzar los descensos por debajo de los 4 metros del terreno natural, deberá bombearse con un caudal de 75 m³/hora, que inducirá un descenso de 1,03 metros a una distancia de 8 metros del centro de la perforación de bombeo.

Al interferirse con la siguiente perforación generará un descenso acumulado de 2,06 metros que adicionado al nivel estático actual de 2,32 metros producirá un nivel dinámico de 4,38 metros.

Conclusiones

Ambas perforaciones presentan valores de Transmisividad del mismo orden, con un rango comprendido entre 300 y 600 m³/día/m, las diferencias podrían ser explicadas por las variaciones del espesor, entre ambas, de la formación acuífera Puelche y la permeabilidad mayor de la perforación 2, expresada además en la granulometría de la misma.

Adicionalmente el caudal específico de la perforación 2 es casi el doble del de la primera.

Por lo que es conveniente utilizar como entrada al modelo matemático de simulación para el diseño del campo de bombeo para deprimir el acuífero una transmisividad máxima que garantizará las condiciones más exigentes para la adecuada depresión de los niveles.

Las variaciones del parámetro Resistencia Hidráulica "c" expresado en unidades de "días", de ambas perforaciones se explica por las diferencias entre las condiciones del acuitardo entre las mismas, la primera se encontraba en condiciones de saturación con aportes al acuífero Puelche ensayado, mientras que en la segunda las condiciones del mismo eran de perfil húmedo sin condiciones de saturación que se expresan por la ausencia de niveles estáticos en ambos freáticos de la perforación 2.

Finalmente se recomendó la utilización de la condición más desfavorable (P2), de caudales de explotación del orden de 75 m³/hora en las perforaciones, separadas entre sí una distancia de 10 metros y un comienzo del bombeo 3 días previos del inicio de la excavación, para garantizar el descenso por debajo del terreno natural de 4 metros.

Referencias

- Bear, J. y Verruijt, A., (1987). Modeling Groundwater Flow and Pollution. Reidel. Dordrecht.
- Bojanich Marcovich, E. y Risiga, A.H. (1975). "Aguas subterráneas de la Provincia de Santa Fe". Revista "Estudios de Geografía de la

- Provincia de Santa Fe". Soc. Arg. de Est. geográficos GAEA Tomo 9: 71-101.
- Custodio, E. y Llamas M. R. (1982). "Hidrología subterránea". Ed. Omega. Barcelona.
- Fili, M. & Tujchneider O. (1977). "Características geo hidrológicas regionales del subsuelo de la provincia de Santa Fe (Argentina)", Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral V8.105-113.
- Hantush, M.S., (1965). "Wells near streams with semipervious beds", Journal of Geophysical Research, vol. 70, no. 12, pp. 2829-2838.
- Iriondo, M. (1987). "Geomorfología y Cuaternario de la provincia de Santa Fe". D'Orbignyana, 4:1-54. Corrientes.
- Iriondo, M., 2011. "Aguas Subterráneas de la Provincia de Santa Fe". ISBN:978-987-24637-2-4- Primera Edición. Museo Florentino Ameghino, Santa Fe. 264 páginas.
- PROINSA (2012). "Estudio geotécnico tramo acueducto de agua tratada" Sección: km 0,00- km 5,500". 53 Páginas. Inédito.
- Sosa, D.C. (2013). "El agua, excesos y déficits, en la producción agrícola de secano y pecuaria dentro de la cuenca inferior del río salado". Tesis Doctoral. Universidad de La Coruña. España. Inédito. 234 páginas.
- Verruijt, A. (1982). "Theory of Groundwater Flow". 2nd. Edition. Mac. Millan.
- Waterloo Hydrologic Inc, (1993) "Aquitest for Windows" Version 2.51.