

INFLUENCIA DE LA EXPLOTACIÓN LOCAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO SOBRE LA HIDRODINAMICA REGIONAL EN TANDIL, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Barranquero, Rosario¹; Miguel, Esteban²; Ruiz de Galarreta, Alejandro²; Varni, Marcelo³

1 CINEA (Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales) - Universidad Nacional del Centro (UNCPBA) - 7000 Tandil Campus Universitario, Te: 0054-2293-439751/52/58/70, rosariobarranquero@yahoo.com.ar

2 CIC (Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Buenos Aires) - CINEA – UNCPBA - 7000 Tandil Campus Universitario, Te: 0054-2293-439751/52, re_miguel@yahoo.com.ar; agala@fch.unicen.edu.ar

3 IHLLA - Instituto de Hidrología de Llanuras. Av. Italia 780, CC. 44, 7300 Azul, Te: 0054-2281-432666, varni@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta la influencia de la explotación del recurso sobre la hidrodinámica a nivel regional y local del acuífero freático en la ciudad de Tandil. El medio físico fue caracterizado en base a los estudios geológicos e hidrológicos regionales antecedentes. El análisis hidrodinámico a nivel regional correspondiente a la cuenca del arroyo Langueyú se efectuó en base a determinaciones hidrométricas realizadas en diciembre de 2006 y marzo de 2007 y el posterior seguimiento en junio y octubre de 2007 y febrero de 2008. Para el análisis hidrodinámico a nivel local se utilizaron datos de niveles en perforaciones otorgados por Obras Sanitarias Tandil, ente que tiene a cargo el suministro de agua en la ciudad. Las alteraciones hidrodinámicas a nivel regional y local se manifiestan principalmente en el área de mayor concentración de perforaciones con descensos de los niveles freáticos y consecuente distorsión del flujo junto a la formación y coalescencia de conos de depresión. Este trabajo contribuye al Proyecto de Investigación "Diagnóstico integral del Recurso Hídrico en el partido de Tandil. Pautas para su gestión sustentable".

Palabras claves: Cuenca del Langueyú, acuífero freático, hidrodinámica, conos de depresión.

ABSTRACT

This work presents the influence of the groundwater exploitation on the hydrodynamic at regional and local scopes of the phreatic aquifer in Tandil city. The study area was characterized on the basis of regional geologic and hydrological background. The hydrodynamic analysis at regional level corresponding to Langueyú creek basin took place on the basis of groundwater levels determined in December of 2006 and March of 2007 and later measurements in June and October of 2007 and February of 2008. The hydrodynamic analysis at local scope was made by groundwater level data in wells granted by Obras Sanitarias Tandil. The hydrodynamics alterations at regional and local scopes are mainly evident in the area of greatest wells concentration with reduction of groundwater levels and the consequent distortion of the flow net with the formation and coalescence of depression cones. This work contributes to the Research Project "Integral diagnosis of the Hydric Resource of Tandil County. Guidelines for its sustainable management".

Keywords: Langueyú basin, phreatic aquifer, hydrodynamic, depression cones.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tandil se emplaza al centro sureste de la Provincia de Buenos Aires. Pertenece actualmente al grupo de ciudades intermedias considerando que posee una población de 108.109 habitantes según el último Censo de Población y Vivienda (Censo del INDEC del 2001) y sus habitantes dependen para el abastecimiento de agua potable del recurso hídrico subterráneo. En los últimos años la ciudad ha tenido una demanda creciente del recurso, dada por la ampliación de la red de agua potable en las zonas no abastecidas y el aumento de la densidad poblacional en aquellas zonas cubiertas por el servicio. Para satisfacer esta demanda de agua el ente Municipal Obras Sanitarias Tandil (OST) contaba hasta el año 2004 con 35 perforaciones. Las mismas estaban sometidas a una intensiva explotación principalmente durante los meses de verano cuando la demanda se hacía creciente. Ante la situación descrita y la necesidad continua de ampliación del servicio OST gestionó ante el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENHOSA) la ejecución de 9 perforaciones y su cañería de impulsión que comenzaron a funcionar en el transcurso del año 2007.

Dado lo limitado del recurso hídrico superficial aprovechable, la creciente demanda de agua potable y la consecuente explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo se considera imprescindible una adecuada gestión del mismo de carácter integral con el objetivo de que su aprovechamiento resulte sustentable a largo plazo. Por todo lo dicho, se considera muy importante el aporte que puede brindar este trabajo al evaluar las consecuencias de la explotación en la dinámica del sistema acuífero.

2. METODOLOGÍA

La caracterización geohidrológica general se efectuó a partir de información geológica e hidrológica antecedente del área de estudio. La caracterización del sistema acuífero, en el sector involucrado en la explotación para el abastecimiento de agua potable municipal, se llevó a cabo en base a los registros de las perforaciones con las que cuenta OST para dicho fin.

El análisis hidrodinámico a nivel de cuenca se efectuó a partir de un censo preliminar en 51 perforaciones mediante el cual se obtuvieron las primeras determinaciones hidrométricas (diciembre de 2006 y marzo de 2007) y el posterior seguimiento (junio y octubre de 2007 y febrero de 2008) en una red monitorea de 30 perforaciones con el objetivo de analizar las variaciones temporales a escala regional.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en los censos mencionados y la elaboración de mapas equipotenciales se percibió una alteración sectorizada en la dinámica del flujo a nivel regional. Se planteó entonces la necesidad de evaluar esta situación a una escala de mayor detalle. Este análisis se llevó a cabo mediante datos antecedentes de las perforaciones para abastecimiento de agua para consumo humano brindadas por OST en el año 2004. Con esta información se elaboraron también mapas equipotenciales para visualizar más claramente las posibles modificaciones hidrodinámicas a nivel local generadas por el bombeo.

3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Las sierras de la ciudad de Tandil integran el sistema de Tandilia, presentan formas de relieve redondeadas, y están compuestas de rocas graníticas.

Con respecto a la geomorfología del partido de Tandil, se diferencian tres unidades morfológicas principales (Ruiz de Galarreta et al., 2005):

- Sector de serranías: caracterizado por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados estos con la existencia de bloques elevados por fallas directas. Este sector puede dividirse en dos subunidades: una de relieve escarpado, con rocas aflorantes o apenas cubiertas por un delgado manto de loess, y la de relieve ondulado, con loess de hasta dos metros de espesor. El sector de serranías se caracteriza además por encontrarse en él las pendientes más altas y por hallarse los valles de los cursos de agua bien definidos.

- Sector de piedemonte: el mismo se ubica a continuación del sector de serranías sin que existan discontinuidades que los separen, tiene ángulos de pendiente más suaves que este último y puede observarse allí la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. Presenta una red de drenaje bien definida y de diseño distributivo.

- Sector de llanura: se caracteriza por la presencia de pendientes muy suaves. Los materiales que lo forman fueron en principio eólicos y sufrieron posteriormente un transporte y redepósito (procesos característicos del sector). El drenaje poco definido y pobremente integrado muestra cauces estrechos y en sectores cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones.

La cuenca del arroyo Langueyú tiene sus nacientes en las sierras de Tandil y se desarrolla hacia el norte. En este trabajo se ha adoptado como borde norte el límite con el Partido de Ayacucho, ocupando un área aproximada de 600 Km² (Figura 1).

De acuerdo a los datos de temperaturas y precipitaciones mensuales de 101 años correspondientes a la Estación Tandil del Servicio Meteorológico Nacional, el clima de la ciudad ha sido tipificado como subhúmedo-húmedo mesotermal, con un déficit de agua poco significativo. Utilizando el balance hídrico de Thornthwaite (1957) para el período 1900-2000 se obtiene un valor medio anual de precipitación de 838 mm, la evapotranspiración real y potencial son de 694 y 712 mm, respectivamente, con un déficit poco significativo (18 mm) correspondiente a los meses de enero, febrero y marzo. Los excesos hídricos suman 144 mm y se distribuyen en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Concretamente, como puede visualizarse en la Figura 2, existe un predominio de excesos hídricos durante la mayor parte del año excepto en el período estival, en el cual la evapotranspiración representa un 83 % del total precipitado.

Hidrolitología

En cuanto al recurso hídrico subterráneo se distinguen dos unidades hidrogeológicas: el Basamento Cristalino y los Sedimentos Cenozoicos, que se comportan de manera diferente, por su constitución, textura y estructura, en cuanto a la admisión y circulación del agua subterránea.

El Basamento Cristalino está constituido por rocas precámbricas ígneas plutónicas que presentan diferentes grados de metamorfismo. Este material tiene carácter de acuífero pobre dado que las rocas que lo forman son primariamente acuífugas y presentan distintos grados de fracturación.

Los Sedimentos Cenozoicos (Pampeanos y Postpampeanos) se hallan sobrepuestos a la unidad geológica anterior. Originalmente esta cubierta sedimentaria cubría todo lo que actualmente constituye el ámbito serrano pero los procesos de erosión han generado la denudación del tramo central, de Olavarría-Azul a Tandil, donde en algunos sectores aflora el basamento cristalino desprovisto de cubierta sedimentaria (Teruggi, et al., 1975). La misma está constituida principalmente por sedimentos limo arenosos con niveles basales gravo arenosos que presentan una disminución de tamaño hacia la zona distal del frente montañoso.

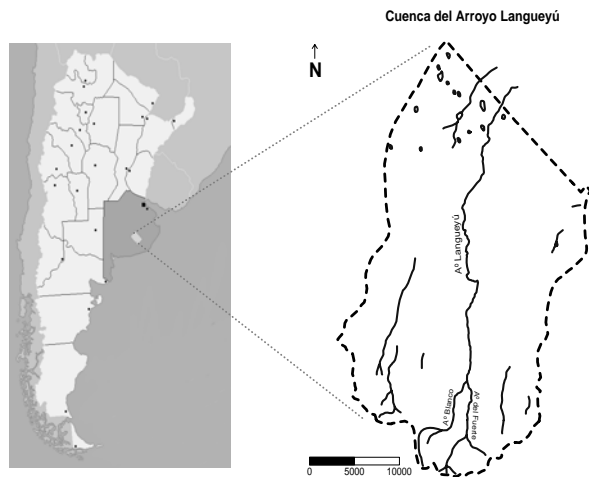


Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del arroyo Langueyú

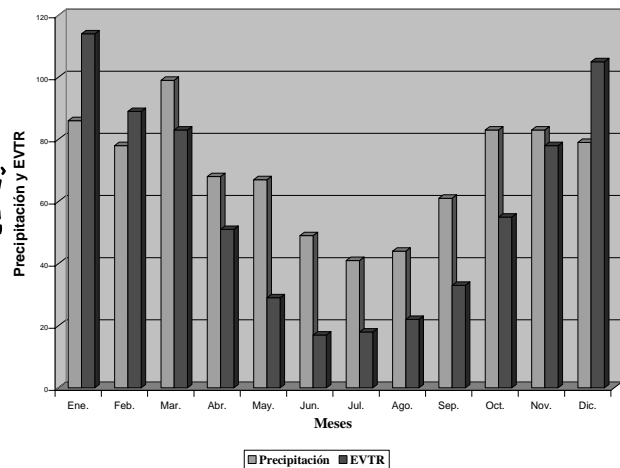


Figura 2: Precipitación y EVP media mensual de la Estación Tandil para el período 1900 - 2000

Las dos unidades hidrogeológicas anteriores se corresponden con los ambientes hidrolitológicos fisurado y poroso clástico, respectivamente. El ambiente fisurado en el basamento cristalino, presenta porosidad y permeabilidad secundarias dada por una importante fisuración por fallas y diaclasas. Los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos se corresponden con un medio poroso clástico. Estos Sedimentos se caracterizan, en el área de estudio, por la escasa presencia de materiales arcillosos, excepto en los horizontes superiores del suelo. Predominan, en cambio, los materiales gruesos, arenosos y limo arenosos. Se observan además, de manera discontinua, estratos limosos con altos contenidos de carbonatos de calcio. Su permeabilidad es primaria y el flujo es de forma laminar. Este medio poroso clástico aloja la batería de pozos de explotación utilizados por OST, así como las perforaciones particulares existentes tanto en el área urbana como rural. Los rendimientos de estas perforaciones son variables y pueden ser mayores a los 100 m³/hora de acuerdo a la transmisividad del acuífero (Ruiz de Galarreta et al., 2007).

Hidrodinámica

El análisis hidrodinámico que se presenta a continuación se ha realizado, como se ha consignado en la metodología, a partir de las primeras determinaciones hidrométricas (diciembre 2006 - marzo 2007) en 51 perforaciones y el posterior seguimiento (junio y octubre de 2007 y febrero de 2008) en una red monitorea de 30 perforaciones.

El análisis hidrológico general permite señalar que la cuenca del arroyo Langueyú presenta un comportamiento comparable con otras cuencas del faldeo norte de las sierras de Tandil, en el sentido de mostrar comportamientos diferenciados de acuerdo a los ámbitos morfológicos de los que se trate. Se evidencia por tanto que estos ámbitos determinan tanto el modo de circulación superficial como subterránea. Con respecto a las aguas subterráneas se ha determinado un flujo subterráneo regional en concordancia con las características morfológicas superficiales aunque con un menor gradiente. Como puede visualizarse en la Figura 3, el sentido de escurrimiento es hacia el noreste.

Las principales características que presenta el ámbito serrano (sector sur de la cuenca), donde el Basamento Cristalino aflora o se halla a escasa profundidad, son la concentración del escurrimiento y el carácter influente de las aguas subterráneas en relación a los cursos superficiales afluentes del arroyo Langueyú (arroyos Blanco y del Fuerte).

Con respecto al área extraserrana se visualiza una dispersión del flujo freático que se corresponde con la morfología en abanico presente en este sector que tiende a ser plana

hacia el NE. El curso del arroyo Langueyú no recibe aportes laterales y presenta una relación de escasa magnitud con las aguas subterráneas. Se debe tener en cuenta que esta relación puede variar de acuerdo a los desequilibrios naturales y/o artificiales que se presenten en el recorrido del arroyo. Las razones de estas variaciones se deben a cambios a lo largo del recorrido de las condiciones hidráulicas, geológico-estructurales, y/o sectores de intensa explotación del acuífero.

Tanto las primeras determinaciones hidrométricas como su seguimiento han permitido determinar que la recarga del sistema acuífero es regionalmente autóctona por precipitaciones. Siendo las zonas preferenciales de recarga las de mayor cota (sector de serranías) lo cual se visualiza claramente en la divergencia de los filetes de flujo. Como puede observarse en el mapa equipotencial (Figura 3) el área de convergencia de los filetes de flujo, es decir el área de descarga, se delimita hacia el NE donde los receptores son los cursos y afluentes principales del arroyo Langueyú de carácter perenne.

Como muestra la Figura 3 entre las curvas equipotenciales de 155 y 160 msnm, sobre la margen derecha del arroyo Langueyú, se tiene un importante descenso del nivel representado por una curva cerrada, que podría resultar de la explotación del recurso. Esto ha orientado el presente trabajo considerando la necesidad de un seguimiento de la situación para conocer con mayor certeza sus causas y magnitud.

En cuanto a las características hidráulicas del acuífero se ha determinado una velocidad media del flujo subterráneo de 0,5 m/d estimada a partir de ensayos puntuales (permeabilidad 5 m/d, porosidad 0,1) y de un gradiente medio de 0,01 (Ruiz de Galarreta et al., 2007). Este valor de velocidad resulta coherente con las características hidroquímicas de la cuenca dado que se trata de aguas de baja salinidad y con contenidos iónicos que corresponden a un flujo veloz.

4. CARACTERÍSTICAS DE EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La ciudad de Tandil, como muchas otras ciudades de nuestro país, ha sufrido un crecimiento demográfico rápido que no ha sido acompañado por una adecuada planificación y ordenamiento del uso del territorio. También carece de una política integral en relación a la gestión ambiental en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Esta carencia conlleva efectos no deseados sobre el recurso, tales como la sobreexplotación y contaminación de acuíferos que, conjuntamente con un desarrollo deficiente en los sistemas de saneamiento, generan finalmente una afectación a las fuentes de abastecimiento de agua potable. Lo que se describe a continuación corresponde al sistema de abastecimiento presente en la ciudad hasta el año 2006, ya que durante el año siguiente se han puesto en funcionamiento nuevas perforaciones. Se ha efectuado este trabajo sin considerar las nuevas perforaciones para poder realizar más adelante un análisis comparativo con datos de todas las perforaciones en funcionamiento, para lo cual se está gestionando la autorización de OST.

El sistema de abastecimiento de OST contaba con 35 pozos de bombeo en funcionamiento hasta el año 2006. Según datos aportados por este ente el sistema satisface una cobertura del 95.61 % de la población. De la mayoría de las perforaciones se extrae agua a través de bombas sumergibles de 30 a 40 HP, cuyo caudal es del orden de 60 a 90 m³/h. En este sentido, se destacan por su mayor aporte los pozos 4 y 5 (ubicados dentro del predio de OST) que poseen una bomba de 60 HP y de los cuales se obtienen caudales de 123 y 124 m³/h, respectivamente. El bombeo máximo horario para el total de perforaciones es de 2552 m³, mientras que el bombeo máximo diario corresponde a 59520 m³.

En el área donde se ubican los pozos de explotación, considerando las descripciones de perfiles litológicos de las perforaciones antecedentes, se ha detectado que el paquete sedimentario posee espesores entre los 55 y 78 metros.

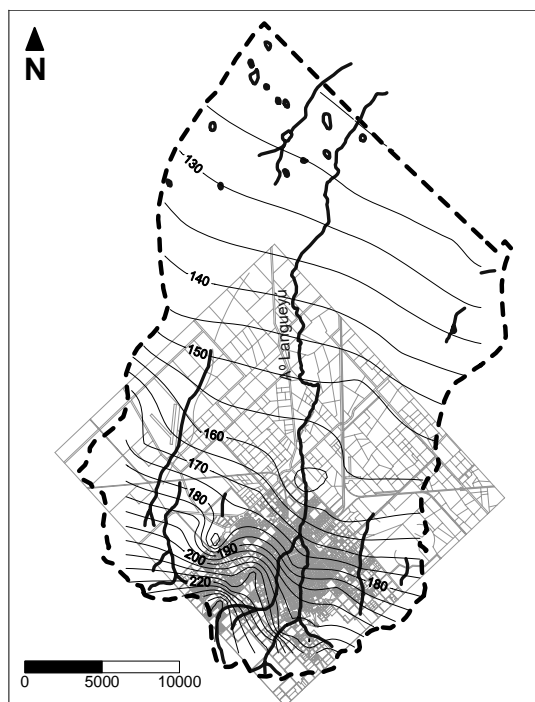


Figura 3: Mapa equipotencial de la cuenca del arroyo Langueyú (marzo de 2007)

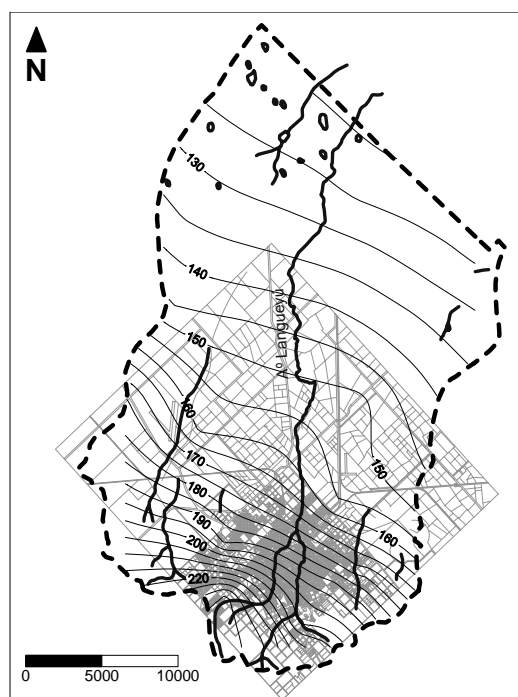


Figura 4: Mapa equipotencial de la cuenca del arroyo Langueyú (febrero de 2008)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó anteriormente, el análisis de los resultados del censo preliminar ha permitido visualizar un descenso de los niveles en el área aledaña a la zona de mayor concentración de perforaciones de OST. Asimismo, mediante los resultados de los censos de junio y octubre de 2007 y febrero de 2008 se han evaluado las variaciones de los niveles en esta zona.

Si bien el registro del descenso en el sector estudiado se mantiene en todo el período de monitoreo, se observa en el mes de octubre una cierta recuperación de los niveles respecto al mes de junio. Este aumento ocurre en general en todo el área de la cuenca y en coincidencia con los excesos en el balance hídrico que generalmente corresponden a los meses de mayo a noviembre. De la medición de niveles en el mes de febrero ha resultado un mapa de isopiezas en el cual se observa una acentuación del descenso en las curvas de 150 y 155 msnm (Figura 4) respecto al mes de octubre. En este sentido debe considerarse la mayor presión que se ejerce sobre el recurso durante los meses de verano con el fin de satisfacer el aumento de la demanda en este período.

El análisis a nivel local se realizó a partir de información de OST referida a nivel estático y dinámico en cada perforación, cota de la misma y caudal extraído (Tabla 1). Allí se observa un importante descenso de los niveles dinámicos respecto de los estáticos especialmente en la zona norte de la ciudad. En la misma se localiza el predio de OST en el cual se ubican las perforaciones más antiguas (1, 2, 3, 4, 5 y 7) que no poseen un distanciamiento adecuado entre ellas (ver Figura 5). Tanto de estas perforaciones como de las ubicadas en los alrededores del predio se extraen importantes caudales, lo cual genera un descenso continuo del nivel dinámico. Esta combinación de elementos ha producido una importante distorsión del flujo original SO-NE y una dinámica de captación del flujo hacia el sector donde se ubican estas perforaciones. Las mismas han sufrido además, como consecuencia de esta dinámica, la contaminación de sus aguas con nitratos registrándose en ellas las concentraciones más elevadas de la ciudad (Barranquero et al., 2006).

Tabla 1: Datos brindados en el año 2004 por OST.

Pozo	Cota	NE.	ND.	Dif.	Caudal (m3/h)	Pozo	Cota	NE.	ND.	Dif.	Caudal (m3/h)
1	177	14,4	30,4	16	78	22	172,3	13,4	24,1	10,7	65
2	177	14,3	20,7	6,4	80	23	178,1	19,1	24,1	5	80
3	177,1	14,3	26,4	12,1	90	24	172,9	15,6	27,1	11,5	80
4	177,1	15,2	18,7	3,5	123	25	171,9	13,9	32,8	18,9	56
5	177,5	14,7	19,6	4,9	122	26	171,8	12,8	19,6	6,8	78
7	176,3	15,2	24,9	9,7	80	27	171,7	14,8	19,8	5	81
8	177,5	13,3	18,3	5	36	28	171,1	13,1	20,1	7	80
9	177,1	12,8	23,3	10,5	71	29	169,9	12,2	20,3	8,1	76
10	178,2	14,9	26,4	11,5	99	30	168,5	9,5	15,4	5,9	76
11	178,9	5,7	28,1	22,4	62	31	167,8	7,4	16,6	9,2	78
13	178,8	7,5	24,3	16,8	30	32	170,5	11,4	22,6	11,2	76
14	198,3	17	29	12	41	33	171,9	15,1	21,3	6,2	76
15	179,3	17	24,9	7,9	39	R4	185	23,1	37,5	14,4	75
16	181,3	14,7	25,5	10,8	58	R5	184	22,8	34,2	11,4	68
17	181,3	18,5	24,6	6,1	76	R6	183	18	31,5	13,5	70
18	174,3	12,7	20,8	8,1	68	S1	192,5	2,1	13,9	11,8	90
19	174,4	14,1	23,8	9,7	68	S2	195	3	12,5	9,5	90
21	172,6	12,8	22,7	9,9	65						

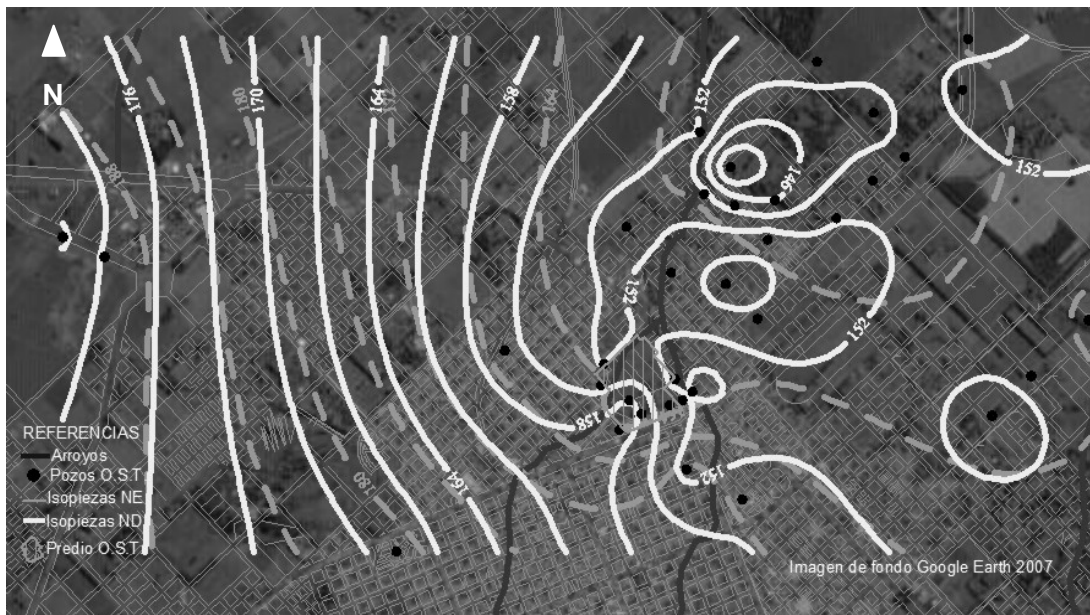


Figura 5: Representación de niveles estáticos y dinámicos en el área de explotación del recurso.

La representación de los niveles estáticos y dinámicos (Figura 5) ha permitido visualizar claramente la generación de conos de depresión como consecuencia de la puesta en funcionamiento de la batería de perforaciones además de la distorsión general del flujo. Se observan dos curvas cerradas, en torno a las perforaciones 1 (16 m de descenso del nivel) y 17 (6.1 m de descenso), sin embargo puede decirse que toda el área comprendida entre las curvas de 152 y 158 msnm se halla claramente distorsionada con respecto a la dinámica del flujo en ausencia de bombeo. Esta distorsión no radica en ninguna perforación en particular sino en las características de explotación explicadas anteriormente en todas las perforaciones ubicadas en esta zona. Del análisis se obtiene también que se está generando un importante cono de depresión hacia el NE del predio de OST reflejado en el cierre de las curvas de 149, 146 y 143 msnm. Las perforaciones más directamente involucradas en esta situación muestran descensos del nivel dinámico mayores a 10 m. Hacia el SE de esta zona se visualiza otra curva cerrada que corresponde a la perforación denominada por OST como R4 que tiene también un descenso de más de 10 m. Cabe destacar que el distanciamiento entre esta perforación y las que se encuentran en línea

recta respecto a ella es mayor a 500 m no obstante lo cual, por coalescencia debido a la intensa explotación se presenta un descenso en la zona de influencia.

Como se detallara en la sección referida a la hidrodinámica, a nivel regional las aguas subterráneas poseen carácter influente con respecto a las aguas superficiales. Sin embargo, existen sectores donde esta relación puede cambiar siendo influente/efluente, o incluso en algunos casos indiferente. Esta situación ha podido observarse en el área de explotación analizada, donde puede inferirse por la deformación de las isopiezas que las aguas subterráneas pierden su carácter influente para volverse indiferentes e incluso efluentes con respecto al arroyo Langueyú. Para describir esta situación con mayor certeza sería necesario un seguimiento específico de niveles a ambas márgenes del arroyo.

6. CONCLUSIONES

La explotación del recurso hídrico subterráneo para abastecimiento de agua de red a la ciudad de Tandil genera un impacto en la hidrodinámica del acuífero freático que se visualiza a nivel regional. La afectación a la dinámica del flujo presenta variaciones temporales de acuerdo a la presión sobre el recurso (caudales extraídos) y la presencia de excesos o déficit en el balance hidrológico. La alteración se manifiesta principalmente en el área de mayor concentración de perforaciones con descensos de los niveles freáticos mayores a 10 metros y la distorsión del flujo original SO-NE.

El análisis efectuado ha permitido además visualizar la generación de conos de depresión en los sectores de mayor descenso de nivel dinámico y su coalescencia en las perforaciones que presentan un distanciamiento menor a 500 metros entre ellas. Se considera que el acceso a los datos actualizados de las perforaciones, incluyendo las que se han puesto en funcionamiento durante el año próximo pasado, es muy importante para la continuidad de este estudio y la obtención de nuevos resultados que aporten a la toma de decisiones para el manejo sustentable del recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

La Lic. Rosario Barranquero interviene en este proyecto mediante un subsidio de la Fundación YPF.

REFERENCIAS

- Barranquero, R., Ruiz de Galarreta, A. y Banda Noriega, R.** 2006. Análisis integral de la gestión del recurso hídrico en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. Cuadernos del CURIHAM - FCEIA (UNR). Volumen 12 - Año 2006, p. 65. ISSN 1514 – 2906.
- Ruiz de Galarreta, A., y Banda Noriega, R.** 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Octubre 2005. UNCR. Río Cuarto, Córdoba.
- Ruiz de Galarreta, A., Varni, M., Banda Noriega, R. y Barranquero, R.** 2007. Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del Arroyo Langueyú, Partido de Tandil, Buenos Aires. V Congreso Argentino de Hidrogeología (Díaz, E.L., Tomás, J.R., Santi, M., D'Elía, M. y DallaCosta, O., Compiladores), Asociación Internacional de Hidrogeólogos, p. 476. ISBN 978-987-23936-3-2.
- Teruggi, M. y Kilmurray, J.** 1975. Tandilia. Velatorio Geología Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, Bs. As.