

Aspectos hidrogeológicos de la región periserrana de Tandilia (Buenos Aires, Argentina)

A. A. Silva Busso⁽¹⁾ y S. D. Amato⁽²⁾

(1) Instituto Nacional del Agua, (INA-DSH) Autopista Ezeiza-Cañuelas -Tramo Jorge Newbery, km 1,620, Ezeiza (1802) Buenos Aires, Argentina.
pntsas@ina.gov.ar

(2) CIC Provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional del Agua, Aut. Ezeiza-Cañuelas -Tramo Jorge Newbery km 1,620, Ezeiza (1802) Buenos Aires, Argentina.
pntsas@ina.gov.ar

RESUMEN

El área periserrana de las Sierras de Tandilia es una región alineada en el sentido NO-SE desde el Océano Atlántico hasta la Sierra de la China (Olavarría), en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, en Argentina. A pesar de ser una de las zonas de intenso uso del agua subterránea en el país, el conocimiento de los acuíferos de la región es relativamente escaso o muy localizado. En gran parte de la región casi se desconocen las unidades acuíferas que podrían ofrecer ventajas comparativas muy significativas en la producción de las captaciones de agua subterránea. Este estudio tiene como objetivo analizar los principales aspectos de los acuíferos, teniendo en cuenta las diferentes arquitecturas tipo (dispositivos sedimentarios deposicionales presentes en la región) que definen modelos hidroestratigráficos básicos. Se incluye también un breve análisis de las características hidráulicas que han podido ser determinadas en los mismos en relación con cada arquitectura tipo. Se han determinado acuíferos semilibres, semiconfinados y fisurados, obteniendo valores de transmisividades muy diversos, desde 30 m²/d, con caudales específicos de 1 m³/h·m, hasta valores de 500 m²/d y caudales específicos superiores a 20 m³/h·m. Se propone que estas variaciones de las características hidráulicas de los acuíferos está fuertemente condicionada por la hidroestratigrafía y, especialmente, por el tipo de arquitectura sedimentaria que determina los modelos hidrogeológicos presentes en la región.

Palabras clave: acuíferos, Argentina, hidroestratigrafía, periserrana, Tandilia

Hydrogeology aspects of the Tandilia piedmont region (Buenos Aires, Argentine)

ABSTRACT

The Sierras de Tandilia piedmont area is a region trending NW-SE from the Atlantic Ocean to the China Hills (Olavarría) in the southeast of the province of Buenos Aires. Despite the intense demand for groundwater in the area, more so than in almost any other part of Argentina, knowledge about the aquifers is very scarce or highly localized. In a large part of the region little or nothing is known about the aquifer units, which might afford very important comparative benefits in terms of potential water exploitation rates. The aim of this study has been to analyse the main features of these aquifers, bearing in mind their different sedimentary architectures (depositional characteristics of the region), to define the basic hydrogeologic models. We also include a brief analysis of the hydraulic characteristics determined in these aquifers with reference to their architectural types. We have identified various types of aquifer: leaky, unconfined, semi-unconfined, and fractured, and obtained very diverse transmissivity values, from 30 m²/d with specific flow capacities of 1 m³/h·m, to 500 m²/d with specific flow capacities of 20 m³/h·m or more. We propose that these variations in the hydraulic characteristics of the aquifers conditioned to a great extent by the hydrostratigraphy and, especially, the types of sedimentary architecture that go to framing the hydrogeologic models in this region.

Key words: aquifers, Argentina, hydrostratigraphy, piedmont, Tandilia

Introducción

Se define la región de Tandilia como la comprendida por las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires (Argentina), que se encuentran alineadas en sentido NO-SE con una longitud superior a los 300 km, un ancho máximo, en su sector central de 70 km (Fig. 1), y aquellas áreas ubicadas al pie y en las cercanías de las mismas, con una superficie total aproximada de 10.000 km².

La región sudeste de la provincia de Buenos Aires es climáticamente subhúmeda-húmeda, con deficiencias estacionales de agua. El régimen hídrico muestra una distribución irregular de las precipitaciones durante el año, siendo el invierno la estación menos lluviosa. La precipitación anual media varía entre 1.100 mm en la parte norte a 550 mm en el sudoeste. La precipitación mensual no responde a una distribución normal; el mes de mayor precipitación es marzo y el de menor es agosto. En términos generales una gran extensión

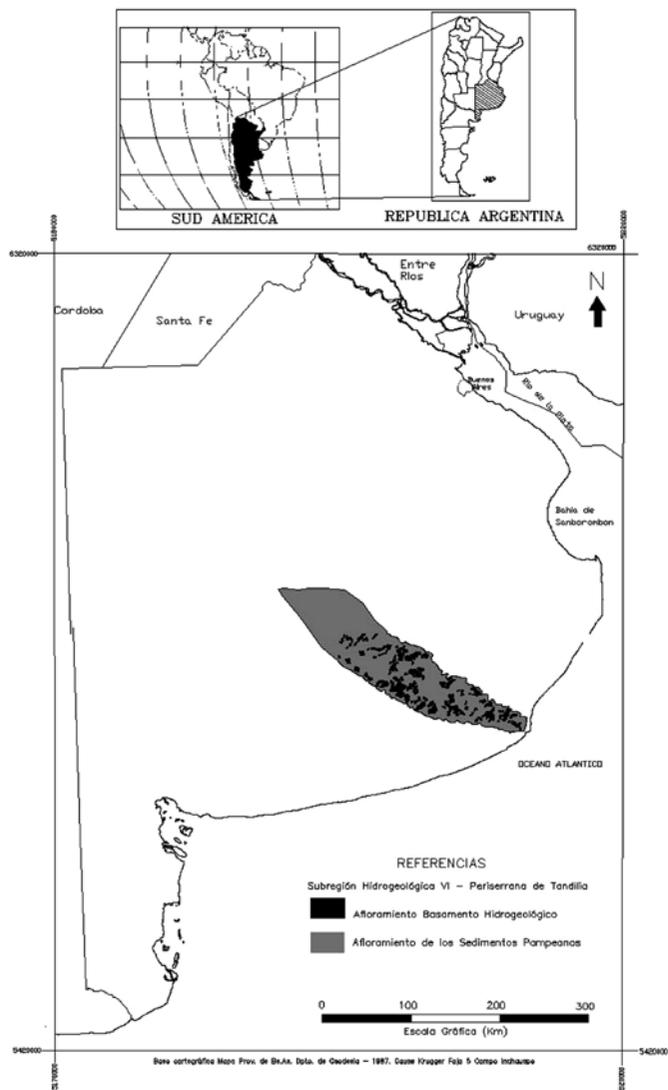


Figura 1. Ubicación del Área de estudio.
Figure 1. Location of study area.

de la pradera pampeana presenta balances hidrológicos anuales equilibrados o con ligeros excesos. En meses de alta demanda atmosférica (enero) ocurren deficiencias hídricas entre 20 y 50 mm en 5 de 10 años y entre 30 y 100 mm en 2 de 10 años (Damario y Pascuale, 1988). La fisiografía del cordón de serranías no es continuo, sino que sus elevaciones están separados por valles o por la llanura ondulada. Localmente, sus elevaciones escasamente superan los 500 m s.n.m. La morfología de la superficie de la región se caracteriza por lomadas suaves de escasa altura, elongadas a subredondeadas, que pasan en transición al ambiente de llanura, y con pendientes regionales que varían entre el 0,3% y el 2%. Las Sierras Septentrionales están interrumpidas por amplios valles, abras o trechos de llanura, cuya altura asciende de NO a SE. En el primer sector, las denominadas Sierras Bayas sobresa-

len con típicas formas de mesas, salvo algunos cerros que las bordean. Siguiendo hacia el SE, continúa el ambiente de planicies sobreelevadas de las Sierras de Olavarría hasta ser reemplazado por cerros y lomadas redondeadas de las Sierras del Azul y del Tandil, que alcanzan su máxima altura en las Sierras de la Tinta, a 524 m s.n.m. Hacia el S y SE reaparecen las formas de tipo meseta, que se continúan en las Sierras de Balcarce, hasta finalizar en las diminutas serranías de Mar del Plata.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es, en primera instancia, lograr un ordenamiento en el conocimiento de los distintos tipos de acuíferos presentes en los sedimentos detríticos o clásticos modernos y sin consolidar del área periserrana e interserrana de la región de Tandilia. Dichos acuíferos, si bien presentan en algunos casos características hidráulicas de alto rendimiento, son variables cuando se consideran en su conjunto como parte de la cubierta clástica moderna. Para mejorar el conocimiento que se tiene sobre ellos, se ha recurrido a aplicar conceptos provenientes de la sedimentología, adaptándolos al estudio de sedimentos acuíferos. Esto implicó caracterizar y clasificar texturas granulométricas presentes en los sedimentos y realizar un análisis de la disposición espacial de los depósitos, habiéndose reconocido así, dispositivos sedimentarios característicos o arquitecturas sedimentarias tipo, donde se configuran los distintos acuíferos identificados. Por otro lado, se creyó conveniente realizar un análisis de las características hidráulicas que los mismos pueden presentar, para constatar luego si ambos aspectos podían relacionarse entre sí. Se propone utilizar a las arquitecturas sedimentarias tipo como aquellas configuraciones sedimentarias que los acuíferos pueden presentar en una cuenca hidrogeológica y que pueden tener entre otros factores, influencia en el comportamiento hidráulico de los mismos.

Metodología

El avance registrado por la sedimentología, especialmente en el estudio de los paleoambientes sedimentarios, ha permitido una interpretación cada vez más ajustada de las características que presentan los depósitos, incluyendo sus posibles cambios laterales. Entre los primeros investigadores que utilizaron la técnica de identificación de configuraciones o arquitecturas externas en depósitos sedimentarios se deben citar a Allen (1978) y Miall (1978, 1981 y 1985), mientras que para la definición de dispositivos sedi-

mentarios o arquitecturas internas es especialmente interesante el trabajo de Allen (1983). En los mencionados trabajos se detallan las características de los depósitos sedimentarios, lo que implica el análisis de la textura, las tendencias granulométricas, las estructuras sedimentarias presentes y la arquitectura externa del depósito, es decir el orden de jerarquía de límites y contactos entre capas, la existencia o no de una ciclicidad, así como la denominación particular de cada subdepósito. Tomando como base estos conceptos se planteó la adaptación de los mismos al análisis sedimentológico de las formaciones acuíferas y acuitardas (Amato, 1998). En el caso de esta región en particular, se pretendió relacionarlos con el comportamiento hidráulico, variable debido a numerosos factores y condiciones de desarrollo. Entre estas variaciones se ha creído conveniente considerar en esta etapa, aquellas relacionadas con estos aspectos constitutivos de los acuíferos, es decir identificar las distintas arquitecturas externas e internas de los depósitos sedimentarios que los contienen, a través de la textura, sus tendencias granulométricas, espesores, la jerarquización de los límites y contactos entre sedimentos diferenciables, y el tipo de ciclicidad que pueden presentar. La metodología empleada ha permitido definir, en el área periserrana de Tandilia, cuatro arquitecturas sedimentarias tipo o básicas en los acuíferos existentes. En una segunda etapa, el análisis hidráulico de un cierto número de perforaciones ensayadas, fue relacionado con la clasificación de arquitecturas sedimentarias realizada, obteniéndose algunas conclusiones. Para ello se recurrió en parte al análisis de un conjunto de estudios hidrogeológicos previos (Fernández y Frigerio, 1984; Elichiry, 2002; Santa Cruz *et al.*, 2004; DSH-INA, 2002) y en parte a información inédita. Esta parte del análisis permitió vincular los resultados hidráulicos de los acuíferos con la arquitectura tipo que presentaban y realizar estimaciones comparativas entre las mismas que podrían explicar sus semejanzas y sus diferencias.

Antecedentes y consideraciones geológicas

El cordón serrano de Tandilla, visto mediante imágenes, posee la apariencia de un arco, bajo y extendido que se eleva hacia el centro, esta forma según Terruggi y Kilmurray (1979), está producida por bloques de fallas escalonados, que además están ligeramente inclinados hacia el SO, lo que resulta en un frente o escarpa algo empinada hacia el N, en tanto que el margen austral del cordón no presenta ninguna escarpa evidente y las serranías de pendientes muy suaves se hundieron paulatinamente debajo de depósitos cuater-

narios de irregular desarrollo. La cubierta sedimentaria moderna no consolidada tiene características de ser poco potente en general, de rellenar depresiones y valles interserranos y periserranos y de cubrir laderas o cumbres planas, allí los depósitos no son continuos sino plenamente interrumpidos por la presencia de roca basamental dura que delimita el contorno irregular de cuencas rellenas de 20 a 40 m de espesor, los que aumentan su potencia, al alejarnos de las laderas rocosas. La influencia geográfica de estos depósitos con sedimentación algo más gruesa que la propia de los Sedimentos Pampeanos de tipo limoso puede alcanzar, en algunas direcciones, algunas decenas de kilómetros. Allí los espesores pueden superar los 100 m, siguiendo paleocauces aluvio-fluviales, que alcanzaron a formar depósitos con desarrollo lateral de pocos kilómetros provenientes del mismo cordón serrano, habiendo estado activo previo a la deposición del loess pampeano que los sepultó. Entre los rasgos geológicos-hidrogeológicos más significativos y característicos del área periserrana, podemos mencionar: a) El control hidrolitológico que ejerce el basamento cristalino y su profundidad que puede variar en cortas distancias, incluso en decenas de metros. b) La ausencia en subsuelo, de sedimentos marinos de edad miocena, asimilables a la Formación Paraná o anteriores como parte de la cubierta sedimentaria moderna, tan extendidos por todo el resto de la Región Pampeana argentina. c) La posibilidad de captar agua no solo de la cubierta clástica moderna sino también de la sección superior meteorizada o fisurada del basamento cristalino, muy profundo en las áreas de llanura. d) La existencia en el área alta y media de estas serranías de pequeños manantiales de aguas subterráneas (ver Fig. 2). La estratigrafía de las Sierras Septentrionales fue estudiada por Terruggi *et al.* (1973), que determinaron una secuencia de rocas correspondientes al Precámbrico, al Paleozoico inferior y al Cuaternario, como se detalla a continuación.

El basamento (Grupo Buenos Aires) incluye rocas del basamento cristalino y ortocuarcitas. Las primeras constituyen el complejo ígneo-metamórfico de edad precámbrica (Terruggi *et al.* 1958; Terruggi y Kilmurray, 1979), y que presentan generalmente un comportamiento acuífugo desde el punto de vista hidrogeológico; las segundas son antiguas sedimentitas paleozoicas inferiores, de color blanquecino (Holmberg, 1972; Rapela *et al.*, 1974; Dalla e Iñiguez, 1979). En ambos casos presentan marcados planos de estratificación, exfoliación, diaclasamiento y fallamiento, con porosidad secundaria aún no cuantificada y que da origen, en algunos sectores, a acuíferos fisurados. El basamento cristalino aflora en el sector central de las sierras, constituido por rocas granitoides que corresponden

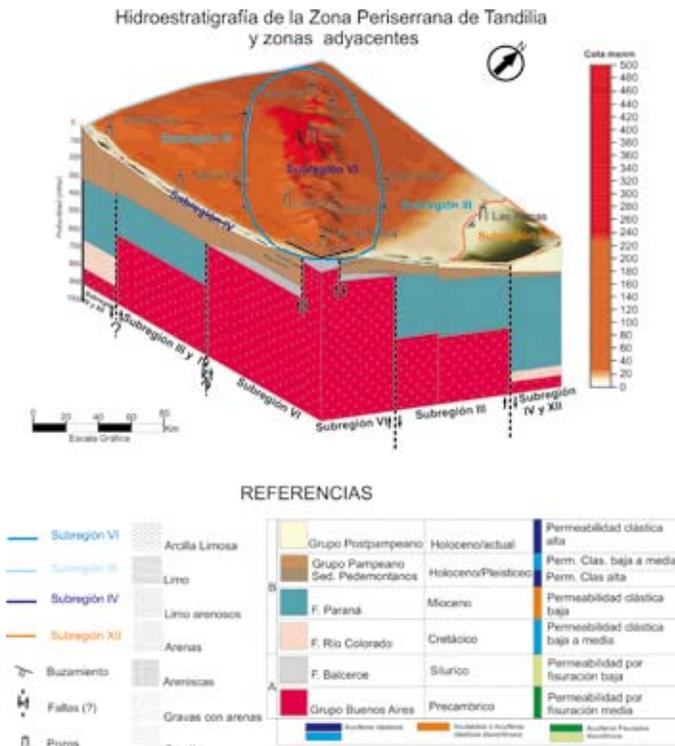


Figura 2. Modelo geológico 3D de la región periserrana de Tandilia.
Figure 2. Geologic 3D Model of the Piedmont Tandilia Region.

a granitos, granodioritas y tonalitas y metamorfitas como gneises, esquistos, anfibolitas y migmatitas del tipo: gneises de inyección y epibolitas, así como milonitas. Las edades de estas rocas varían ampliamente entre los 2.200 y los 600 millones de años. Por encima y de edad cámbrica y ordovícica se desarrolla una cubierta antigua de origen clástico y carbonático perteneciente a la Formación Balcarce (Amos *et al.*, 1972) o Formación La Tinta (Teruggi y Kilmurray, 1979) con ortocuarcitas y conglomerados finos, que intercalan dolomías y calizas de origen marino-costero.

Por encima del basamento aparecen los denominados sedimentos periserranos de Tandilia. Esta denominación se refiere a los sedimentos cuaternarios que conforman una cubierta rocosa sin consolidar, de espesor y textura variable y moderada extensión en el área serrana y periserrana de Tandilia. Estos depósitos clásticos han sido identificados en varios sectores de la región y desde un punto de vista paleoambiental constituyen derrubios de ladera, depósitos aluviales y fluviales entrelazados y facies asociadas. Dichos depósitos detríticos conforman el almacén sedimentario de un complejo acuífero. En área de afloramientos en Tandil, Rabassa (1973) realiza una clasificación de las unidades de la cubierta cuaternaria y reconoce por encima del basamento cristalino sedimentos arenosos que denominó Formación Barrer, de origen eólico, luego señala a la Formación Vela de origen fluvial y final-

mente la Formación Las Ánimas de origen eólico, restringiendo a valles fluviales a la Formación Tandileufú, todas ellas del Pleistoceno. Si bien estos antecedentes nos permitirían tratar de extender estas denominaciones al resto del área, la imposibilidad de comprobar la continuidad de las unidades estratigráficas señaladas, por su mayoritario desarrollo en subsuelo, y teniendo en cuenta además la finalidad hidrogeológica y no estratigráfica del trabajo, nos ha inducido a utilizar la denominación de Sedimentos Periserranos para la sedimentación clástica basal de la cubierta moderna y de Sedimentos Pampeanos y Post-Pampeanos para los depósitos superiores de la misma.

Los sedimentos pampeanos fueron definidos por Fidalgo *et al.* (1975). Son sedimentos pleistocenos no consolidados de compleja continuidad regional con subunidades en afloramientos y subsuelo. Observables en escasos cortes de arroyos y ríos meandriformes de la llanura, con limos, arcillas y arenas muy finas, y carbonato de calcio en forma de mantos continuos, discontinuos o concrecionales.

Por último, los sedimentos post-Pampeanos constituyen la tercera unidad hidro-litológica diferenciada. Están constituidos por sedimentos de origen eólico asimilables a la Formación Junín o Médano Invasor, de Tapia (1937), de probable edad holocena. Estos depósitos han cubierto la superficie de los sedimentos pampeanos y se corresponden con el relieve de lomadas (Sala *et al.*, 1987). Son sedimentos de gran selección granulométrica, arenosos finos y limosos, con escasa proporción de carbonatos y espesores variables.

Antecedentes y consideraciones hidrogeológicas

Hernández *et al.* (1975) incluyen esta región en el "Ambiente Hidrogeológico Central" de la provincia de Buenos Aires y lo caracterizan por la ausencia de las secciones acuíferas hipoparaniana y paraniana, desarrollándose en sus ausencias el basamento hidrogeológico de las Sierras Septentrionales. Sala *et al.* (1981) distinguen para el área de la cuenca de Tandil características hidrolitológicas diferentes entre una unidad acuífuga inferior, con escasa porosidad secundaria por fisuras, correspondiente al basamento cristalino y sedimentos cuaternarios suprayacentes con porosidad primaria variable. En el área de la cuenca del arroyo Azul, Sala *et al.* (1987) describen un "complejo de rocas acuíferas" compuestas principalmente por las unidades Pampeano y Postpampeano y señalan para el área de la ciudad de Azul la intercalación de "un nivel de mayor granulometría (hasta gravas)". En varios sectores el basamento cristalino presenta una fuerte

meteorización, transformándose en rocas ígneas y metamórficas intensamente alteradas y fisuradas con buena permeabilidad y espesores superiores a los 3 m, como por ejemplo en las canteras de Olavarría (Kruse, 1983). En el área de laguna la Brava (Balcarce), Kruse (1987) establece en el subsuelo un "basamento impermeable" y un "complejo clástico permeable," para el cual establece un conglomerado basal de poco espesor, una sucesión arenosa, limosa y arcillosa con elementos calcáreos que finalizan en una secuencia con depósitos eólicos. Kruse *et al.* (1993) en la cuenca del arroyo Tapalqué también reconocen dos grandes unidades: rocas en la base del perfil geológico pertenecientes al complejo ígneo-metamórfico de Tandilia y una cubierta sedimentaria cenozoica. Auge (1994) reconoce para el área de Olavarría "rocas y sedimentos" a las cuales divide en: "roca aflorante" del basamento cristalino, "roca poco profunda" aquella que está cubierta por un delgado espesor de sedimentos (>10 m), "Sedimentos Pampeanos" que cubrirían al basamento cristalino, en los cuales se desarrollaría según el mismo autor "un acuífero multiunitario regional" a excepción de las zonas de roca aflorante y roca poco profunda, y por último, los "Sedimentos Postpampeanos" que sobreyacen al Pampeano y tendrían origen eólico, fluvial, lacustre y de derrubio de ladera. Para el sector de la alta cuenca del arroyo Azul, Usunoff y Varni (1995) establecen mediante estudios geoelectrónicos que el contacto entre los Sedimentos Pampeanos y el basamento precámbrico podría contener rocas alteradas por meteorización, sobre las cuales se asientan los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos. Esta

intercalación de material pefítico define una sección acuífera de gran potencialidad, con transmisividades entre 200 y 800 m²/d, caudales específicos superiores a 20 m³/h·m y caudales de explotación entre 20 y 60 m³/h para el complejo acuífero, lo que indica una buena permeabilidad para estos depósitos gruesos (Usunoff y Varni, 1995). Bocanegra (1979) establece en el acuífero mencionado en Azul una transmisividad promedio de 700-800m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 1x10⁻⁴. En las restantes perforaciones de la ciudad de Azul se obtuvieron valores de transmisividades que varían entre 270 y 768 m²/día para toda la columna detrítica involucrada. En los Sedimentos Pampeanos se estiman trasmisividades de unos 300 m²/d (Sala *et al.*, 1981). En Olavaria, en acuíferos incluidos en los Sedimentos Pampeanos, Auge (1994) indica valores de 500 m²/día. García y García (1970) cita pozos que captan agua de rocas calcáreas en Sierras Bayas con caudales entre 4 a 18 m³/h y caudales específicos entre 0,7 a 2,2 m³/h·m.

Recientemente Amato y Silva Busso (2010) proponen y definen diferentes arquitecturas estratigráficas que caracterizarían a diferentes tipos de acuíferos en la región, considerando que sobre el basamento cristalino los espesores de sedimentos en el subsuelo son variables en el ambiente pedemontano y su potencial acuífero puede variar arealmente. Los detritos de la región son también sedimentos de granulometría variable: gravas y arenas gruesas a finas, intercalando algunos depósitos limo-arcillosos o arcillosos de escasa extensión lateral, pero que pueden alcanzar varios metros de espesor. En algunos sitios se encuentran

Características	Arq.de tipo I	Arq. de tipo II	Arq. de tipo III	Arq. de tipo IV
Litología	Gravas finas, clasto-sostén	Gravas matriz-sostén	Arenas muy finas y limos-arcillas	Limosos/arenosos muy finos
Contacto tipo	Variado	Neto y/o erosivo	Neto	Neto/ transicional?
Espesores	3 m-6 m	3-10 m	1-10 m	5-120 m
Extensión	Centenares de metros a km	Decimos a cientos de metros	Varios cientos de metros	Varios cientos de kilómetros
Geometría	Mantiforme	Lenticular interestratificado	Lenticular, mantiforme	Gran extensión regional
Estratigrafía	Apoya sobre basamento	Apoya sobre basamento o Sed. Pampeanos	En paleorelieves del basamento o Sed. Pampeanos	Apoya sobre basamento, sobre Arq tipo I y/o Arq II
Génesis	Sed. aluviales entrelazados gravo-arenoso	Sed. aluviales entrelazados gravo-arenoso discontinuo	Sed. eólico y eventualmente retrabajo fluvial	Sed. eólico mantiformes y retrabajo fluvial

Tabla 1. Sinopsis de la geología de las arquitecturas tipo (Amato y Silva Busso, 2010).

Table 1. *Geologic Characteristics Synopsis of the Architecture type (Amato y Silva Busso, 2010).*

en contacto basal con rocas meteorizadas o fisuradas del basamento hidrogeológico. La particular geología que involucran a estos depósitos ha permitido definir arquitecturas sedimentarias que fueron clasificadas en cuatro tipos que caracterizan a los acuíferos presentes. Las definidas son las siguientes y pueden identificarse en los esquemas conceptuales presentes, ver tabla 1 y Figs. 3, 4 y 5.

La conformación de las arquitecturas halladas y el comportamiento hidráulico del acuífero involucrado en cada una de ellas se relacionan. Si bien los datos hidráulicos obtenidos a partir de las captaciones seleccionadas podrían considerarse escasos, y de hecho lo son, comprendemos que son de valía por tratarse de las únicas captaciones que poseen las características constructivas adecuadas para obtener resultados hidráulicos confiables. Si bien sus resultados podrían depender de un conjunto de factores y no solo de la

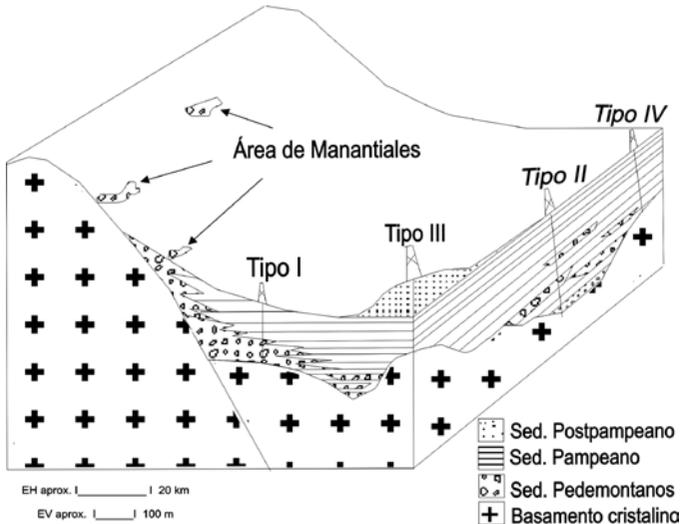


Figura 3. Ubicación de las diferentes arquitecturas tipo reconocidas por Amato y Silva Busso (2010).
Figure 3. Location of the different well-know Architectures Type by Amato and Silva Busso (2010).

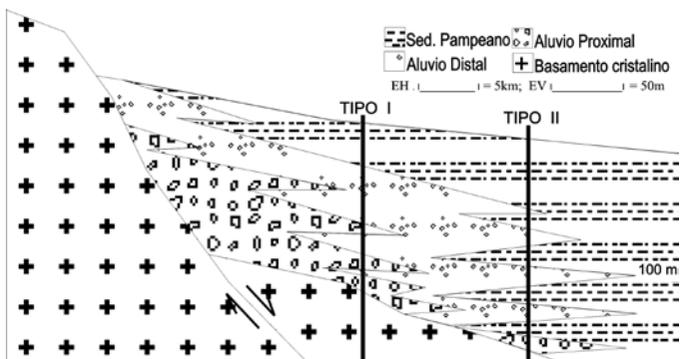


Figura 4. Perfil conceptual de Arquitecturas Tipo I y II en zona pedemontana proximal (Amato y Silva Busso, 2010).
Figure 4. Conceptual Profile of the Architectures type I and II in the nearby piedmont zone (Amato and Silva Busso, 2010).

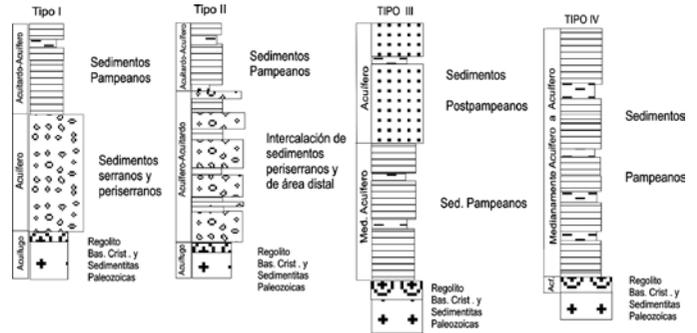


Figura 5. Arquitecturas tipo y horizontes acuíferos en la subregión periserrana de Tandilia.

Figure 5. Architecture type and aquifers levels in the Piedmont Subregion of Tandilia.

textura y la disposición espacial de los depósitos, los datos obtenidos hasta aquí como se verá, los vinculan y pueden ser orientativos para cada arquitectura sedimentaria definida.

Resultados

El haber registrado una alta variabilidad textural en muestras sedimentológicas, obtenidas en distintos pozos exploratorios acuíferos, cercanos al área serrana de Tandilia, con una consiguiente disparidad en sus comportamientos hidráulicos, nos condujo al análisis conjunto de ambos aspectos, pudiendo finalmente caracterizar los siguientes tipos de acuíferos presentes en el área, que se describen a continuación.

Los acuíferos de arquitectura de tipo I o arquitectura gravosa unitaria son depósitos formados por un solo ciclo sedimentario o por varios superpuestos, producto de la recurrencia continua de los procesos generadores. Se caracterizan por la existencia de una litología gruesa y granodecreciente pudiendo contener intercalaciones arcillosas de escaso espesor separando cada uno de los ciclos sedimentarios. Una característica importante en esta arquitectura es que estos niveles gravosos suelen apoyarse sobre el basamento granítico de la región (Fig. 6) o bien pueden suprayacer a los niveles paleozoicos de calizas margosas paleozoicos de la antigua cuenca (Fig. 7).

El Pozo 2 UNCSA (S: 37° 19' 21,46"; W: 59° 4' 53,03" y cota: 203 m s.n.m.) es el que permitió un mejor análisis de la información hidráulica. Esta captación fue estudiada por Fernández (1984), que describe 35 metros de limos suprayacentes que hacia la sección basal pasan a sedimentos arenosos micáceos con una presencia de gravas de 5 metros de espesor, hasta alcanzar el basamento cristalino de la región a 42 metros de profundidad. El nivel estático mencionado es de 8,75 metros bajo boca de pozo. De acuerdo a

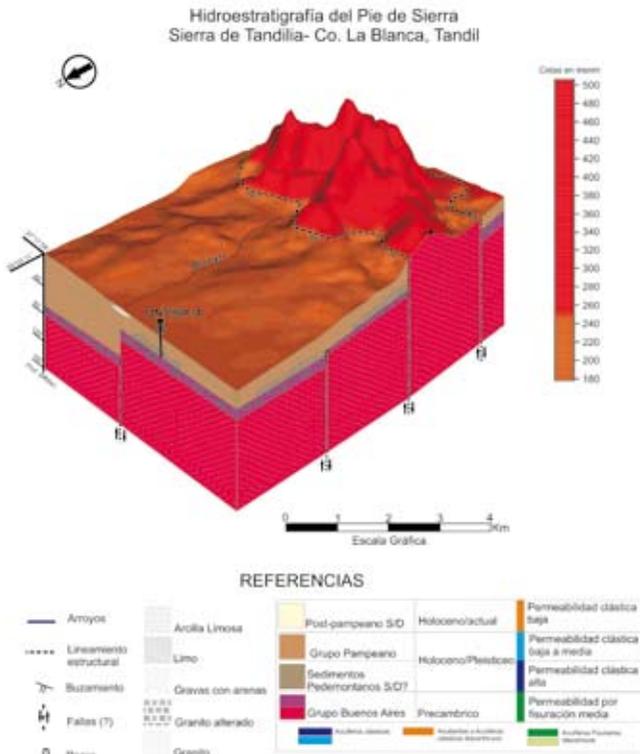


Figura 6. Modelo deposicional 3D en el área de Cerro. La Blanca, Tandil.

Figure 6. Depositional 3D Model in the La Blanca Hills area, Tandil.

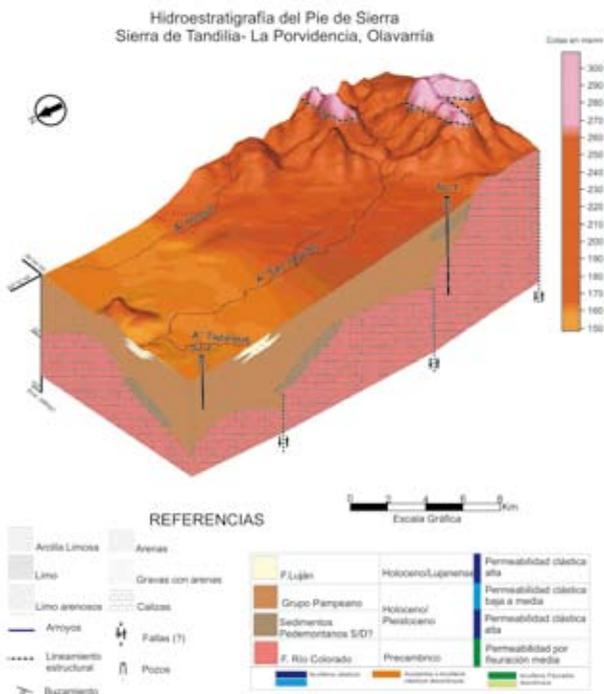


Figura 7. Modelo deposicional 3D en el área de La Providencia, Olavarría.

Figure 7. Depositional 3D Model in the La Providencia area, Olavarría.

esta descripción, se ha interpretado la información de los ensayos de recuperación realizados por Fernández y Frigerio (1984) con el objeto de caracterizar estos horizontes de aporte hídrico. En este estudio se han recalculado valores de caudal específico y transmisividad por el método de recuperación de Theis (Theis *et al.*, 1963) obteniéndose valores entre 1,12-1,85 m³/h y 30,81-32,58 m²/día, respectivamente, con bajos caudales de ensayo que no superan los 5 m³/h. El conjunto acuífero constituye un complejo sistema fisurado en el basamento cristalino con escaso aporte desde niveles de grava o arena fina en la sección superior de los mismos, probablemente semiconfinado por la cobertura de limos menos permeables de los Sedimentos Pampeanos. La Fig. 8 muestra la curva de recuperación característica.

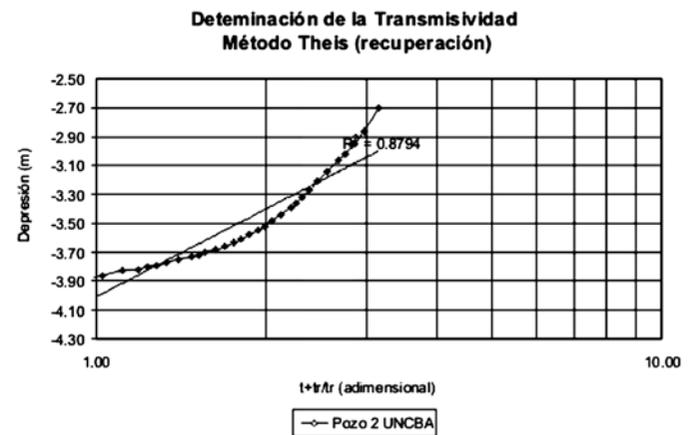


Figura 8. Estimación de la transmisividad en el Pozo 2 UNCBA, Cerro Blanco, Tandil.

Figure 8. Estimation of the transmissivity in Well 2 UNCBA, Blanco Hills, Tandil.

Resultados comparativamente similares arroja el estudio hidráulico del Pozo 5 del conjunto de captaciones de bombeo de La Providencia, Olavarría (S: 36° 59' 14,4" W: 60° 13' 36,7" y cota 156 m s.n.m). En esta captación se describe la presencia de unos 20 metros de limos en la sección superior y hacia la base comienzan gravas y arenas que superan los cinco metros de espesor. Esta captación es representativa de la arquitectura de tipo I, hasta finalmente hasta alcanzar las margas y lutitas del basamento de edad paleozoica con casi 15 metros de espesor fisurado. El nivel estático medido al comienzo del ensayo fue de 5,26 metros bajo boca de pozo. De acuerdo a esta descripción, esta captación constituye la única descrita que posee las características constructivas adecuadas para obtener resultados hidráulicos correlacionables. La Fig. 9 muestra la curva de depresión característica.

Mediante el método de depresiones de Jacob (Jacob, 1940) se han calculado valores de caudal espe-

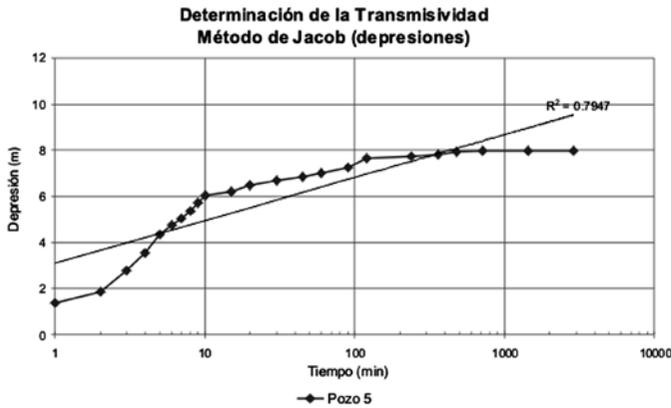


Figura 9. Estimación de la transmisividad en el Pozo 5, La Providencia, Olavarría.

Figure 9. Estimation of the transmissivity in Well 5, La Providencia, Olavarría.

cífico y de transmisividad, obteniéndose valores de $1,05 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ y $21,09 \text{ m}^2/\text{día}$, respectivamente con bajos caudales de ensayo entre $5\text{-}15 \text{ m}^3/\text{h}$. Este caso también constituye un complejo sistema de acuífero fisurado, desarrollado sobre margas y lutitas paleozoicas. Probablemente se trate de acuíferos semilibres por el escaso espesor suprayacente de los limos de los Sedimentos Pampeanos.

El segundo tipo definido, constituido por acuíferos de arquitectura de tipo II o arquitectura gravosa intercalada, son aquellos en los que el depósito detrítico moderno presenta secuencias gruesas que se manifiestan como pulsos discontinuos interdigitados con material fino de granulometría pelítica o arenosa muy fina, pudiendo ser luego cubiertos por los Sedimentos Pampeanos. Esta arquitectura se observa claramente en las seis perforaciones realizadas por la DSH-INA, (2002) realizadas cercanas al Arroyo Azul, donde se han registrado los mayores espesores de estas unidades (Fig. 10).

Para determinar los parámetros hidráulicos representativos de estas unidades se ha escogido la captación Pozo 14 (S: $36^\circ 47' 12,08''$; W: $59^\circ 52' 3,90''$ cota: 142 m s.n.m.) de la batería mencionada en el Arroyo Azul. Esta captación fue descrita por el DSH-INA (2002) mencionando 81 metros de columna sedimentaria, donde los primeros 65 metros son limos de los Sedimentos Pampeanos y partir de los mismos se describe la presencia intercalada de gravas y arenas micáceas hasta alcanzar el basamento cristalino de la región a los 77 metros de profundidad. De acuerdo a esta descripción, esta captación es representativa de la arquitectura tipo II por lo tanto, se ha interpretado la información de los ensayos de recuperación de acuífero realizados por DSH-INA, (2002) con el objeto de caracterizar estos horizontes de aporte. Estos valores podrían considerarse representativos de todos

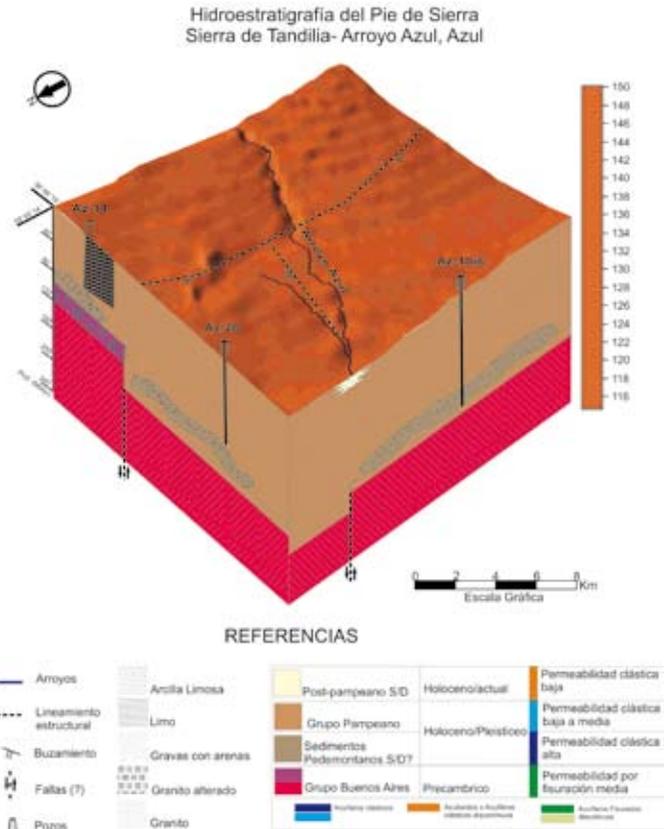


Figura 10. Modelo deposicional 3D en el área del Arroyo Azul, Azul.
Figure 10. Depositional 3D Model in the Azul Creek area, Azul.

los pozos de la batería, dado que un análisis del trabajo del DSH-INA (2002) permite observar descripciones similares en las mismas. La captación escogida es la única que posee las características constructivas adecuadas para obtener resultados hidráulicos exclusivamente con este nivel de aporte correlacionables con las arquitecturas propuestas. Se han calculado valores de caudal específico y transmisividad por el método de recuperación de Theis (Theis *et al.*, 1963), obteniéndose valores de $11,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ y $511,5 \text{ m}^2/\text{d}$, respectivamente, para caudales de ensayo del orden de $140 \text{ m}^3/\text{h}$. La Fig. 11 muestra la curva de recuperación característica. El conjunto acuífero constituye un complejo sistema de acuífero clástico de gravas finas a medias con un aporte significativo de los niveles de limos correspondientes a la sección superior de los Sedimentos Pampeanos, probablemente de tipo semilibre. Esto último se ha verificado en el pozo 20 de la misma batería, donde el aporte de los limos alcanzó valores de $260 \text{ m}^2/\text{día}$ y $1,9 \text{ m}^3/\text{h}$ (DSH-INA, 2002), como ocurre en otras zonas de la región de estudio, por lo que la presencia en el registro hidroestratigráfico de las gravas casi duplica las transmisividades y cuadruplica el caudal específico.



Figura 11. Cálculo de transmisividades en el Pozo 14, Arroyo Azul, Azul.

Figure 11. Estimation of the transmissivity in Well 14, Azul Creek, Azul.

Los acuíferos de arquitectura de tipo III o arquitectura arenosa unitaria son aquellos acuíferos desarrollados en sedimentos de origen eólico con desarrollo de dunas o depósitos mantiformes, que pueden presentar en algunos casos un cierto retrabajo fluvial en los sectores de interduna, pertenecientes a la unidad de Sedimentos Post-Pampeanos. Aunque esta arquitectura puede ser definida sobre la base de la información geológica existente y los estudios de diversos autores (Teruggi *et al.*, 1958, García y García, 1970) no se posee una localidad hidrogeológica tipo, por lo que hasta el momento se desconocen sus características hidráulicas, aunque se las considera buenas y *a priori* diferenciadas de las anteriores. Las características litológicas de esta unidad, permiten una buena infiltración del agua, además de ubicarse en áreas de recarga de los acuíferos.

Por último, los acuíferos de arquitectura de tipo IV o arquitectura limosa intercalada son acuíferos contenidos en los Sedimentos Pampeanos. Se componen de sedimentos eólicos de tipo loess, sedimentos lessoides con retransporte subacuático (limos lessoides) y sedimentos limosos-arenosos muy finos con retrabajo fluvial o de corrientes subacuáticas lagunares, con presencia de estructuras masivas, rasgos pedogénicos y abundante presencia de calcretas carbonatadas (Figs. 12 y 14).

Dentro de esta arquitectura encontramos dos tipos de modelos, uno cuyas intercalaciones son predominantemente arenas sabulíticas y gravas finas y otro cuyas intercalaciones están compuestas por niveles arcillosos en las secuencias de limos retrabajados de los Sedimentos Pampeanos. El modelo deposicional en la zona del cerro El Volcán en Balcarce, Buenos Aires, que incluye las intercalaciones psefiticas fue

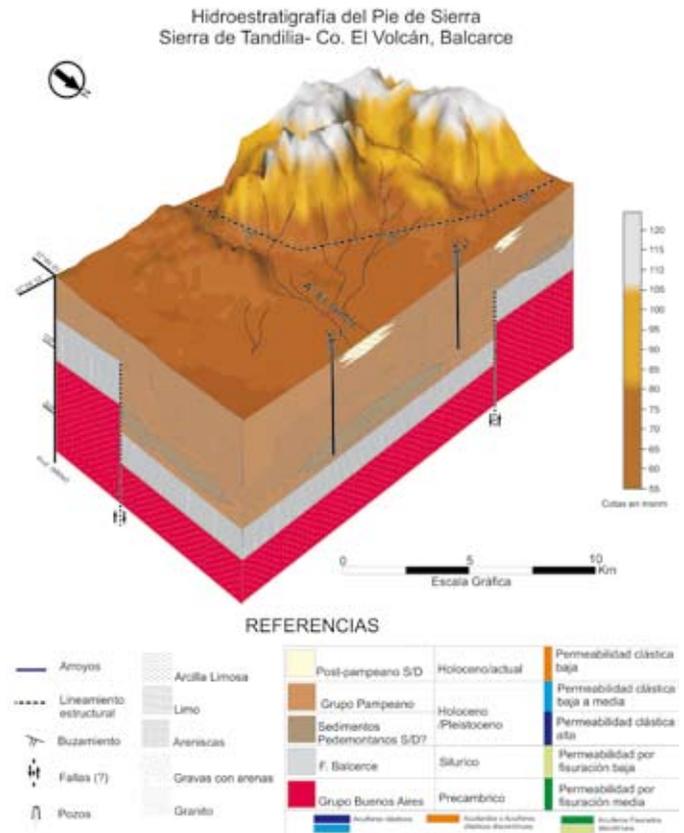


Figura 12. Modelo deposicional 3D en el área Cerro El Volcán, Balcarce.

Figure 12. Depositional 3D Model in the El Volcán Hills area, Balcarce.

realizado sobre la base de 27 captaciones, (en la figura solo se señalan aquellas que poseen ensayos hidráulicos). Se han reinterpretado aquí los ensayos hidráulicos realizados escogiendo la captación Pozo 1 (S: 37° 46' 2,98"; W: 58° 3' 32,46" cota: 83 m s.n.m.) de la batería de captación agropecuaria sobre el Arroyo El Junco, al pie del mencionado cerro. Elichiry (2002) cita 119 metros de profundidad para esta captación, desde la superficie, donde se mencionan los limos de los Sedimentos Pampeanos a excepción de 5 metros entre los 104-109 m bajo boca de pozo de columna geológica donde se describen la presencia intercalada de arenas micáceas finas y sabulíticas, continuando hasta fondo de pozo con limos arcillosos. El basamento cristalino se estima, sobre la base de respuestas geoelectricas en unos 230 metros de profundidad (Elichiry, 2002). De acuerdo a esta descripción, esta captación es representativa de la arquitectura de tipo IV y la información e interpretación de los ensayos de hidráulicos a caudal constante realizados pueden considerarse como típicos de esta arquitectura. En este caso, dado que se contaba con un pozo de bombeo y piezómetro de observación, se ha podido utili-

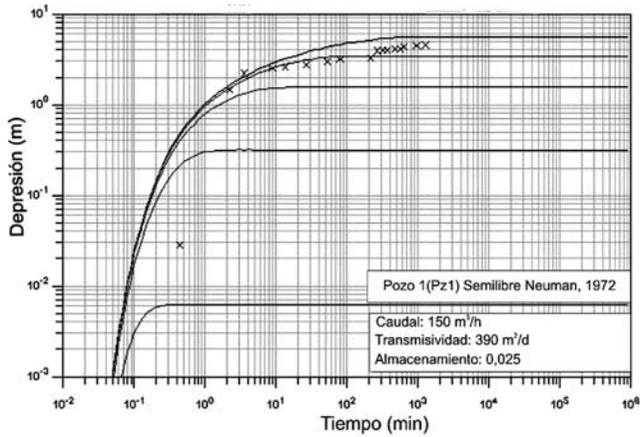


Figura 13. Cálculo de transmisividades en el Pozo 1 Cerro El Volcán, Balcarce.
Figure 13. Calculation of the transmissivity in Well 1 El Volcán Hills, Balcarce.

zar el método de Neuman (1974) para acuíferos libres de rendimiento diferido con penetración parcial con el objeto de caracterizar estos horizontes de aporte. En este estudio se han recalculado valores de caudal específico de $13,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$, de transmisividad de $390 \text{ m}^2/\text{d}$ y un almacenamiento de $2,5 \times 10^{-2}$ para caudales

de ensayo del orden de $150 \text{ m}^3/\text{h}$. La Fig. 13 muestra la curva característica.

El conjunto acuífero constituye un complejo sistema de acuífero clástico de gravas finas a medias con un aporte significativo de los niveles de limos de la sección superior de los Sedimentos Pampeanos, probablemente de tipo semilibre. En este caso los valores obtenidos son característicos de esta arquitectura que posee variaciones laterales significativas hasta acuñar los niveles de arenas y gravas intercalados pudiendo considerarse representativos de todos los pozos de la batería donde se observan descripciones similares (Elichiry, 2002).

En la región se observan también las intercalaciones limo-arcillosas o arcillosas que permiten elaborar el modelo deposicional propuesto. El mismo corresponde a la zona del Cerro El Bonete en Lobería, Buenos Aires y fue realizado sobre la base de 17 captaciones (en la Fig. 14 solo se señalan aquellas con ensayos hidráulicos). Se han reinterpretado aquí los ensayos hidráulicos a caudal constante realizados en el Pozo 22A que constituye un ejemplo característico del comportamiento hidráulico de este complejo acuífero. La captación Pozo 22A (S: $37^\circ 54' 44,93''$; W: $58^\circ 40' 24,98''$ cota: 164 m s.n.m.) es una de las captaciones de la batería de explotación agropecuaria al pie del mismo cerro.

La perforación posee 130 metros de profundidad y desde la superficie hasta los 72 metros de profundidad se encuentran los limos de los Sedimentos Pampeanos. Hacia la base, entre los 72-111 metros bajo boca de pozo se intercala paquetes arcillosos que se superponen a niveles inferiores de limos entre 111-130 metros bajo boca de pozo, similares a los descritos previamente. De acuerdo a esta descripción, esta captación es representativa también de la arquitectura de tipo IV aunque con intercalaciones de niveles arcillosos. En este caso se contaba con pozo de bombeo y dos piezómetros de observación a 10 metros de distancia. El primero de ellos, de 30 metros de profundidad, llega al primer paquete limoso y el segundo de 120 metros de profundidad fue aislado hasta los 111 metros bajo boca de pozo, alcanzando solamente el segundo paquete limoso infrayacente a las arcillas. Esto permitió que al realizar el ensayo de bombeo en el Pozo 22A se pudiera interpretar independientemente el funcionamiento hidráulico de estos acuíferos. La Fig. 15 muestra los resultados de la interpretación por el método de Neuman (1974) para acuíferos libres de rendimiento diferido o semilibres con el objeto de caracterizar los horizontes de aporte acuífero entre 0-72 metros bajo boca de pozo. Se han recalculado valores de caudal específico de $8,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$, de transmisividad de $290 \text{ m}^2/\text{d}$ y un almacenamiento de $3,1 \times 10^{-2}$

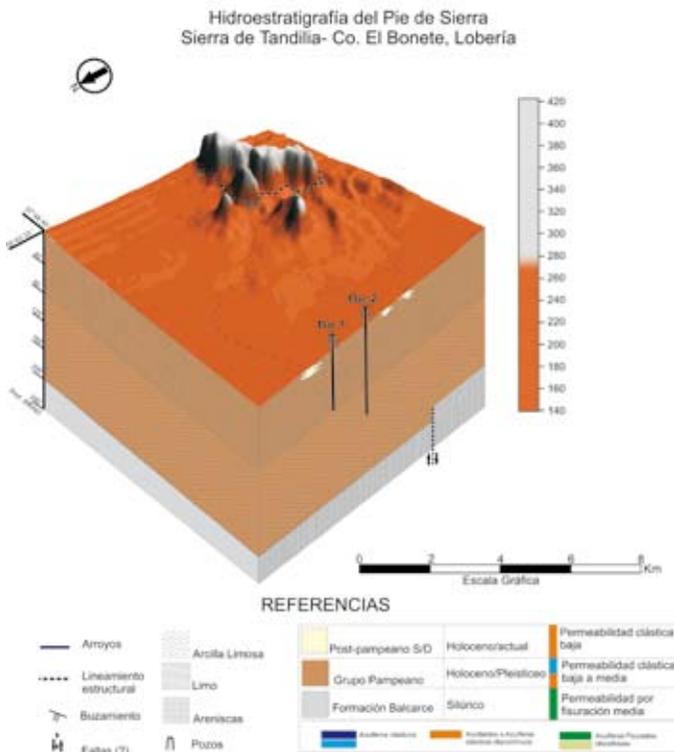


Figura 14. Modelo deposicional 3D en el área Cerro El Bonete, Lobería.
Figure 14. Depositional 3D Model in the El Bonete Hills area, Lobería.

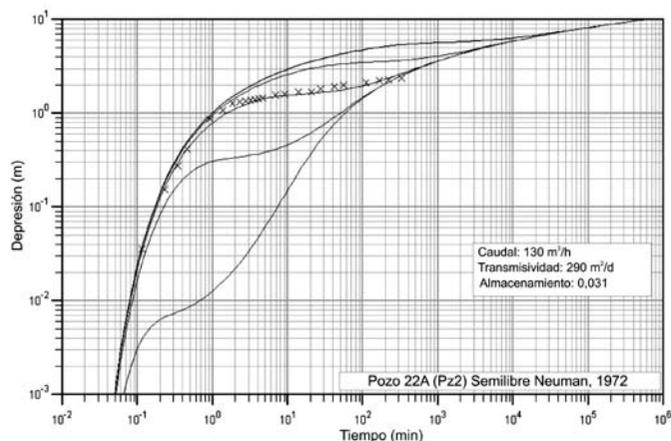


Figura 15. Cálculo de transmisividades en el Pozo 22-A Cerro El Bonete, Lobería.

Figure 15. Calculation of the transmissivity in Well 22-A El Bonete Hills, Lobería.

para caudales de ensayo del orden de $130\text{m}^3/\text{h}$. La Fig. 16 muestra los resultados de la interpretación por el método de Hantush (1956) para acuíferos semiconfinados con el objeto de caracterizar los horizontes de aporte acuífero entre 111-130 metros bajo boca de pozo.

Se han recalculado valores de caudal específico de $5,4\text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$, de transmisividad de $163\text{ m}^2/\text{día}$ y un almacenamiento de $5,3 \times 10^{-3}$ para caudales de ensayo del orden de $130\text{ m}^3/\text{h}$. Se observa claramente un comportamiento hidráulico diferente semilibre en el acuífero superior y semiconfinado en el acuífero inferior, conforme a la arquitectura sedimentaria local observada. Además se manifiesta conexión hidráulica entre estos niveles ya que fueron medidos y bombeados al mismo tiempo, comportándose como un sistema multiacuífero. Esta situación es frecuente en

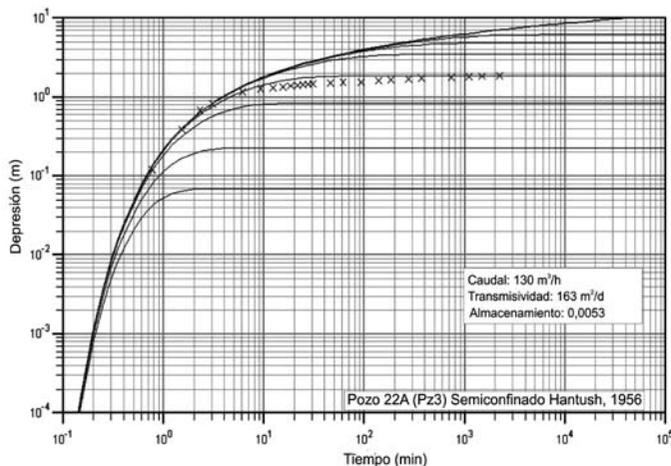


Figura 16. Cálculo de transmisividades en el Pozo 22-A Cerro El Bonete, Lobería.

Figure 16. Calculation of the transmissivity in Well 22-A El Bonete Hills, Lobería.

los sistemas acuíferos de la región periserrana de Tandilia.

Discusión

Delimitación del ambiente hidroestratigráfico del complejo acuífero de Tandilia

Se remarca que la delimitación de esta región se realizó teniendo en cuenta ciertas condiciones estratigráficas que tienen incidencia en la calidad del agua subterránea de la región, entre otras, la ausencia total de sedimentos marinos de la Formación Paraná de edad miocena y de aquellos depósitos continentales de origen fluvial pertenecientes a la Formación Puelches (Santa Cruz, 1972), del Plioceno-Pleistoceno, suprayacentes a los depósitos pelíticos de la primera, ambas unidades de amplia extensión en el noreste de Argentina, no tienen representación en la columna geológica de esta región. Evidentemente, el área se mantuvo como una zona de relieve positivo con anterioridad a esos eventos sedimentarios, y únicamente se encuentran depósitos relacionados con procesos aluviales, fluviales y eólicos posteriores, sobre el complejo ígneo-metamórfico de Tandilia. Si bien en áreas cercanas se ha señalado la posible existencia de facies distales de la Formación Puelches (Hernández *et al.*, 1975), la sola presencia de estos sedimentos ubicarían a la misma fuera de esta particular área de estudio, ya que, por definición, la delimitación geográfica excluye la presencia de sedimentos pertenecientes a las Formaciones Paraná y Puelches dentro de este ambiente hidrogeológico. A nivel regional y de acuerdo con otros autores ya citados, de las secciones hidrogeológicas definidas por Hernández *et al.* (1975) y contextualizadas por Santa Cruz y Silva Busso (1999) denominadas: Epiparaniana, Paraniiana e Hipoparaniana, la cubierta detrítica no consolidada del macizo de Tandilia contendría solamente la primera de ellas o sección Epiparaniana. Por su parte, las secciones Paraniiana e Hipoparaniana comenzarían a desarrollarse fuera de esta región, donde el basamento se profundiza sensiblemente, como es el caso hacia el noroeste en dirección a la cuenca del Río Salado.

Teniendo en cuenta el marco geológico citado, se deduce que la región posee un particular comportamiento hidrogeológico que la diferencia de las áreas colindantes. Así los depósitos detríticos que subyacen a los Sedimentos Pampeanos, con desarrollo de acuíferos de arquitecturas de tipo I y tipo II, conforman una particular sub-unidad hidrogeológica que hemos denominado Complejo Acuífero de Tandilia.

Región de las Sierras de Tandil (SE de Buenos Aires)	Región noreste de Buenos Aires
Sistema Acuífero de Tandilia	Acuífero epiparanaense
<ul style="list-style-type: none"> • Acuífero postpampeano (Arq. tipo III) • Acuífero pampeano (Arq. tipo IV) • Complejo acuífero de Tandilia (Arq. tipos I y II) • Acuífero fisurado de Tandilia 	<ul style="list-style-type: none"> • Acuífero postpampeano • Acuífero pampeano • Acuífero Puelches
Basamento hidrogeológico (no alterado)	Acuífero Paraná

Tabla 2. Propuesta hidroestratigráfica para la subregión Periserrana de Tandilia.
Table 2. Hydrostratigraphic propose for the Piedmont Subregion of Tandilia.

En su conjunto, la pila sedimentaria detrítica moderna desde su contacto basal con el basamento cristalino y rocas de edad paleozoica y hasta la superficie conforman en el área de Tandilia, un ambiente hidrogeológico con características propias que podemos resumir en:

- existencia de un control hidrogeológico por parte del basamento cristalino y de sedimentitas paleozoicas para todas las cuencas hidrogeológicas de la región;
- ausencia de sedimentos marinos en la columna de los depósitos sedimentarios modernos;
- desarrollo de acuíferos con esqueletos sedimentarios constituidos por material político grueso, psamítico fino a grueso o psefítico con distinto tipo de configuraciones depositacionales;
- desarrollo areal circunscrito y espesores de muy alta variabilidad lateral, con notable anisotropía del medio físico y poroso para los acuíferos de arquitectura de los tipo I y II;
- existencia de acuíferos en medios rocosos alterados o fisurados con permeabilidad secundaria variable;
- valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento diferentes a los comprobados en otros acuíferos de la región pampeana.

Por lo señalado, sumado a la ausencia de capas continuas de gran espesor, que pudieran tener un claro efecto confinante, y a evidencias de una gran conexión vertical acuífera de toda la columna sedimentaria, hemos creído conveniente recurrir a la denominación de sistema acuífero para toda la sección involucrada. Es así que hemos incorporado el nombre de sistema acuífero de Tandilia para el conjunto acuífero regional, que queda conformado por: a) el acuífero fisurado de Tandilia; b) el complejo acuífero de Tandilla, de arquitecturas de tipo I y tipo II; c) el acuífero Pampeano de arquitectura de tipo IV y d) el acuífero Postpampeano de arquitectura de tipo III. Por su parte, el complejo acuífero constituye un particular esqueleto acuífero que diferencia al sistema acuífero de Tandilia a escala regional. La tabla 2 propone la hidroestratigrafía actualizada sobre la base de lo expuesto en este estudio.

Determinación de las características hidráulicas de las unidades del complejo acuífero

En términos generales, observamos que no se identifican en el área serrana y periserrana de Tandilia acuíferos de extensión regional con alto grado de confi-

Arquitectura tipo	Qe (m ³ /h·m)	T (m ² /d)	S	Q (m ³ /h)
I. Acuífero de arquitectura gravosa unitaria (complejo acuífero)	1,05-1,85	21,09-32,58	S/D	5-15
II. Acuífero de arquitectura gravosa intercalada (complejo acuífero)	11,6	511,5	S/D	140
III. Acuífero de arquitectura arenosa unitaria (acuíferos postpampeanos)	S/D	S/D	S/D	S/D
IV. Acuífero de arquitectura limosa intercalada (acuíferos pampeanos)	5,4 ^(a) 8,6-13,2 ^(b)	163 ^(a) 290-390 ^(b)	5,3 × 10 ⁻³ 2,5 × 10 ⁻²	130-150

Tabla 3. Características hidráulicas de los acuíferos de la región periserrana de Tandilia.
(a) acuíferos semilibres y (b) acuíferos semiconfinados.

Table 3. Hydraulics aquifers characteristics of the Piedmont Subregion of Tandilia.
(a) Semi-unconfined Aquifers and (b) Semiconfined Aquifers.

namiento. Se asume para toda la pila sedimentaria moderna hasta el basamento no alterado, la existencia de un sistema acuífero más o menos aislado de acuerdo a la cantidad de niveles acuitados que pueda poseer. Las limitaciones hidráulicas que presentan los acuíferos no se vinculan al comportamiento de un solo horizonte definido o diferenciado, sino que están relacionadas directamente con la permeabilidad y el espesor que pueda desarrollar cada secuencia diferenciada de la cubierta sedimentaria. Una cubierta escasa de apenas decenas de metros reduce sensiblemente la transmisividad y las posibilidades hidráulicas y es factible encontrar ejemplos de ello en áreas cercanas a las sierras en acuíferos que poseen caudales de explotación bajos que incluso pueden decaer en cortos lapsos de tiempo debido a sus pobres características hidráulicas. Aún así, es posible determinar ciertas condiciones hidráulicas, definidas para cada uno de los tipos de arquitectura definidas en este trabajo (ver tabla 2).

Conclusiones

De acuerdo a la información analizada se define un sistema acuífero para la región estudiada que hemos denominado sistema acuífero de Tandilia. Si bien puede dividirse en cuatro subunidades hidroestratigráficas, una de ellas, el denominado complejo acuífero de Tandilia se ubica en la base de la secuencia y está compuesto por sedimentos psefíticos, aluviales, fluviales y de ladera, a veces asociado a rocas meteorizadas del basamento hidrogeológico o a rocas fisuradas, que lo convierten en una subunidad particular dentro de la Sección Epiparanaea de la provincia de Buenos Aires. Esta subunidad acuífera presenta un desarrollo areal limitado a la zona periserrana y posee espesores lateralmente variables, presentando una notable anisotropía del medio físico y poroso, pero con valores altos de transmisividad y probable almacenamiento semilibre o semiconfinado. Para la subunidad acuíferos fisurados de Tandilia, aunque era conocida previamente, se definen aquí algunos de sus modos de ocurrencia y sus características hidráulicas. Posee pobres caudales, bajos valores de transmisividad y un almacenamiento aún no bien definido, supuesto libre en afloramiento en la sierra y semilibre hasta confinado cuando se encuentra cubierto por los Sedimentos Pampeanos en la zona periserrana. A pesar de ello, las zonas acuíferas poseen una extensión lateral significativa y altas posibilidades de ocurrencia; consideramos como prueba el elevado número de manantiales existentes en las áreas de sierra que se relacionan con este tipo acuífero, aún no estudiados en detalle. Los

acuíferos de los Sedimentos Pampeanos se manifiestan en la región con buenos valores de transmisividad y almacenamientos correspondientes a acuíferos semilibres y semiconfinados dependiendo de su profundidad y del tipo litológico de las intercalaciones entre los mismos. Por su extensión, potencia, continuidad y ocurrencia constituyen los acuíferos con mejores posibilidades de la región. Se pone también de manifiesto el grado de desconocimiento geológico e hidrogeológico de los acuíferos Postpampeanos. Estos últimos y los acuíferos fisurados mencionados son líneas de investigación pendientes en futuros estudios.

Referencias

- Allen, J.R.L. 1978. Studies in fluvial sedimentation: an exploratory quantitative model for the architecture of avulsion controlled alluvial suites. *Sediment. Geol.*, 21, 129-147.
- Allen, J.R.L. 1983, Studies in fluvial sedimentation: Bars, bar-complexes and sandstone sheets (Low-sinuosity braided streams) in the brownstones (L. Devonian), *Weish borders sediment Geol*, 33, 237-293.
- Amos, A.J., Quartino, B.J. y Zardini, R.A. 1972. El Grupo de La Tinta, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Paleozoico o Precámbrico. *Anales XXV Congreso Brasileiro de Geología*, Río de Janeiro, Brasil. Págs. 211-221.
- Amato, S.D. 1998. Clasificación de acuíferos mediante el uso de arquitecturas sedimentarias tipo en la provincia de Buenos Aires. República Argentina. *4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Montevideo. Uruguay, 2, 1174-1184.
- Amato, S. y Silva Busso, A. 2010. Análisis Hidroestratigráfico y Arquitectura de Acuíferos de la Subregión Hidrogeológica Periserrana de Tandilia. *I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*. Azul, Buenos Aires, Argentina. Actas Tomo I, 87-94.
- Auge, M.P. 1994. Red de Flujo Subterráneo, un claro indicador hidráulico de los ámbitos más favorables para la explotación. *II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Santiago. Chile, 7, 75-84.
- Bocanegra, E. 1979. Estudio hidrogeológico del acuífero en explotación en la ciudad de Azul *Informe Interno Inédito OSN. Gerencia Regional Pampeana*. La Plata, Buenos Aires, Argentina, p. 253.
- Dalla Salda, L. e Iñiguez, M. 1979. Formación La Tinta. Precámbrico y Paleozoico de la Provincia de Buenos Aires. *VII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén, Argentina. Actas III, 539-550.
- Damario, E.A. y Pascale, A.J. 1988. Características agroclimáticas de la región pampeana argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 9(1-2), 41-64.
- DSH-INA 2002. Optimización de la provisión de Agua a la Ciudad de Azul Provincia de Buenos Aires. *Informe Técnico Inédito. Dirección de Servicios Hidrológicos, Instituto Nacional del Agua*, Buenos Aires, Argentina, p. 25.
- Elichiry, P. 2002. Evaluación de la sustentabilidad del Riego Complementario con la Aplicación de Modelos Numéri-

- cos de Flujo y Transporte en la Región Periserrana de Tandilia, *Informe Final de Beca Inédito, Instituto Nacional del Agua*, Buenos Aires, Argentina, p. 87.
- Fernández, A. y Frigerio, G. 1984. Ensayos de Acuíferos en la Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires. *Informe AHS, 65, INCyTH*, Buenos Aires, Argentina, p. 33.
- Fidalgo, F., de Francesco, F. y Colado, U. 1975. Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. *VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio de Geología de la Prov. de Buenos Aires.*, La Plata, Buenos Aires, Argentina, pp.103-138.
- García, J. y De García, O.M.E. 1970. Descripción Hidrogeológica de la Zona Olavarría - 16 de julio, Prov. de Bs. As. D.N.G. *Boletín N° 121. Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires*, Ministerio de Asuntos Agrarios (MAA) de la Provincia de Buenos Aires, p. 56.
- Hantush, M.S. 1956. Analysis of data for pumping test in leaky acuífers. *Trans. Am. Geophysical Union. US.*, 37(6), 702-714.
- Hernández, M.A., Filí, M.F., Auge, M.P. y Ceci, J.H. 1975. Geohidrología de los Acuíferos Profundos de la Provincia de Buenos Aires. *VI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Argentina. Actas 479-500.
- Holmberg, E. 1972. Tandilia. En: Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*. Córdoba, Argentina, pp. 365-395.
- Jacob, C.E. 1940. On the flow of water in an elastic artesian aquifer. *Trans. Am. Geophysical Union. US.*, 37(6), 702-714.
- Kruse, E. 1983. Reconocimiento hidrogeológico de la Cuenca Superior del A° Azul *Informe Interno Inédito CONICET*. La Plata. Bs. As, p. 64.
- Kruse, E. 1987. El agua subterránea en el régimen hidrológico de la laguna La Brava. *Informe 40. Programa Prioritario de Asesoramiento a Municipalidades. Comisión de Investigaciones Científicas. CIC Provincia de Buenos Aires*, p. 72.
- Kruse, E., Rojo, A. y Varela, L. 1993. Características Hidroquímicas Subterráneas de la Cuenca del Arroyo Tapalqué (Buenos Aires). *Actas del XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Argentina. Tomo VI, pp. 208-215.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies Types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. En: A.D. Miall, *Fluvial Sedimentology. Can Soc. Petrol. Geol. Memory*, 5, 597-604.
- Miall, A.D. 1981. Alluvial sedimentary basins. Tectonic setting and basin architecture. En: *Sedimentation and Tectonics in Alluvial Basins: Geological Association Canada, Special Paper*, 1-33.
- Miall, A.D. 1985. Architectural Elements Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to fluvial deposits. *En Recognition of Fluvial Depositional Systems and their resource potential. Chapter 3. Society of economic paleontologists and mineralogists SEPM Short Course*, 19, p. 425.
- Neuman, S.P. 1974. Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 10(2), 303-312.
- Rabassa, J. 1973. Geología superficial en la Hoja "Sierras de Tandil". Provincia de Buenos Aires. *LEMIT*, La Plata, serie 2 (240), 117-160.
- Rapela, C.W., Dalla Salda, L. y Cingolani, C.A. 1974. Un intrusivo básico ordovícico de la Formación LaTinta. Sierra de Barrientos, Provincia de de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación. Geológica Argentina*, 29 (3), 319-331.
- Sala, J.M., Rojo, A., Martín, E. y Ulibarrena, J. 1981. Investigaciones Geohidrológicas de la Cuenca de Tandil y su zona de Influencia. *Cátedra de Hidrogeología. Fac. Cs. Naturales. U.N.L.P. Informe*. La Plata, Buenos Aires, Argentina, I, pp. 1-16.
- Sala, J.M., Kruse, E. y Aguglino, R. 1987. Investigación Hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Prov. de Bs. As. *C.I.C. Prov. de Bs. As*, Informe 37, p. 37.
- Santa Cruz, J.N. 1972 Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XXVII (1), 5-62.
- Santa Cruz, J.N. y Silva Busso, A. 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. *II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea*, Tucumán, Argentina. Actas, I, pp. 461-473.
- Santa Cruz, J.N., Silva Busso, A. y Suero E. 2004. Hoja Hidrogeológica N° 14 Río Quequén. Sustentabilidad del Riego Complementario en el Sudeste de la Prov. de Buenos Aires. *Proyecto BID 1201 OC/AR PICT 08-4675. Informe final. SECyT - INTA e INA*, Buenos Aires en CD, p. 55.
- Tapia, A. 1937. Las cavernas de Ojo de Agua y Las Hachas. Historia geológica de la región de La Brava. *Dirección de Minería y Geología*, Buenos Aires, Boletín 43.
- Teruggi M.E., Mauriño, V.E., Limousin, T. y Schauer, O.C. 1958. Geología de la Sierra de Tandil. *Revista Geológica Argentina*, XIII (3), 1-14.
- Teruggi, M.E., Kilmurray, J.O. y Dalla Salda, L. 1973. Los dominios tectónicos de la región del Tandil. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 195 (1-2), 81-94.
- Teruggi, M.E. y Kilmurray, J.O. 1979. Tandilia. *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Argentina, II, pp. 55-77.
- Theis, C.V., Brown, R.H., Mayer, R.R. 1963. Estimating transmissibility of acuífers from the specific capacity of wells. *Methods of Determining Permeability Transmissibility and Drawdown*. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper, 3.
- Usunoff, E.J. y Varni, M.R. 1995. Hidrología de los Sectores Alto y Medio de la Cuenca del Arroyo Azul. *Informe Inédito. Inst. de Hidrología de Llanuras (IHLLA)- C.I.C. Prov. de Bs. As.- UNCPBA.*, La Plata, Argentina, p. 19.

Recibido: noviembre 2010

Revisado: junio 2011

Aceptado: octubre 2011

Publicado: enero 2012