

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell (provincia de Buenos Aires) – de aplicación hidrogeológica

Germán R. BÉRTOLA^{1,2}, Federico I. ISLA^{1,2}, Luis C. CORTIZO^{1,3} y Horacio A. TURNO ORELLANO^{1,3}

1. Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata (7600) Mar del Plata. E-mail: gbertola@mdp.edu.ar - 2. CONICET - 3. CIC

Resumen. Las localidades de Cariló y Villa Gesell se han edificado sobre una barrera medanosa de no más de 1400 años de antigüedad. Con el fin de analizar la estratigrafía y sedimentología del subsuelo de la zona, se recurrió a 15 perforaciones, realizadas en el predio del proyecto de Ciudad Marina de Port Dorá, donde pudieron identificarse tres estratos arenosos asignables a acuíferos, sobre la base de la descripción granulométrica de las muestras recolectadas, y conocidas como Fm Punta Médanos, Fm Pozo N°8, y Fm Canal 5. Para confirmar la información, se realizaron ocho ensayos de bombeo. La infiltración está distribuida uniformemente sobre toda el área y el flujo del agua subterránea es hacia el mar, con zonas intermedanas donde aflora el nivel freático. Durante los meses transcurridos entre los controles de la calidad de las aguas subterráneas, los parámetros medidos (temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez) resultaron normales para los ambientes en que se practicaron las mediciones. Dada la baja densidad ocupacional de Cariló, los volúmenes aportados por precipitaciones en el área son suficientes para abastecer la demanda durante los días de verano. La transmisividad promedio obtenida es de 206,2 m²/día para los acuíferos libres y de 130,97 m²/día para los semiconfinados. La permeabilidad promedio estimada es de 18,23 m/día y 4,19 m/día, respectivamente.

Palabras Clave: Modelo sedimentario, Estratigrafía, Hidrogeología, Cariló, Villa Gesell.

Keywords: Sedimentary model, Stratigraphy, Hydrogeology, Cariló, Villa Gesell.

EXTENDED ABSTRACT

Sedimentary model of the sandy barrier to the north of Villa Gesell (Buenos Aires province) for hydrogeological assessment.

Cariló and Villa Gesell localities were constructed on a barrier younger than 1,400 years BP. Dealing with the stratigraphic and textural characteristics of this area, 15 holes were drilled to a depth of 40 m at the property projected as "Ciudad Marina de Port Dora".

Three sandy strata were assigned to aquifers and test by pumping essays. These aquifers considered of hydrogeologic interest comprise the stratigraphical units called Punta Médanos, Pozo N°8 and Canal 5. The dune field is composed of transverse bodies oriented toward the north-northeast. Infiltration is uniformly distributed although at interdune ponds the water table is above the land surface. Water quality

(temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity) at the testing wells located close to the beach retrieves freshwater. In the sandy barrier from Villa Gesell and Cariló the sandy silts of hydrogeologic interest continue to depths below 40 m.

The sedimentary record of the Eastern Barrier of Buenos Aires Province consists on a complex barrier (overlapping of barrier deposits of Quaternary age), modified during the Holocene transgressive-regressive cycle and where these transgressive and regressive processes are still being recorded at some locations (progradation of Punta Médanos, scarps of foredunes in Mar Chiquita).

Considering the low density population of the area, precipitation is estimated as able to provide the volume of water needed during the summer season for the resort villages. Average transmissivity is about 206 m²/day for the free aquifer and 130 m²/day for the semiconfined aquifers. Average permeability is 18.23 and 4.19 m/day at each type of aquifers.

It is recommended to avoid the on-exploitation of the free aquifer in order to preserve their volumes, to prevent pumping cones and to avoid saline intrusions at the coast. The hydrogeologic reserves exceed the water volume supplied from the pampian silts (Buenos Aires formation) located to the west of the Route 11. The evaluation of these inputs of groundwater is recommended in order to better manage the semiconfined levels. Even though, recycling and

reusing should be considered for the urban growth planing.

At the coastal barrier, below the phreatic aquifer, a semiconfined horizontal level of variable thickness was recognised, and superimposed to a second semiconfined aquifer. This second semiconfined level with plane base and irregular top, is superimposed to a third semiconfined aquifer whose base was not drilled.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades de Cariló y Villa Gesell (Fig. 1) se han edificado sobre una barrera medanosa relativamente joven. Esta barrera se ha desarrollado con posterioridad a la fluctuación holocena del nivel del mar (Schnack *et al.*, 1982; Violante y Parker, 1992), y posee médanos que no tienen más de 1400 años de antigüedad. La disposición de estos médanos transversales a la línea de costa ha disimulado los procesos de erosión costera a través del transporte desde los médanos a las depresiones intermedanas (Isla, 1997).

El objetivo del presente estudio es analizar la estratigrafía y sedimentología del subsuelo del área entre Villa Gesell y Cariló, donde existe en profundidad una interdigitación de paleoambientes. Para lograr esto, se recurrió a 15 perforaciones realizadas en un área costera (denominada «Predio de Port Dorá» - 37° 11' 52,4" S y 56° 57' 43,5" O), donde pudieron identificarse tres estratos arenosos, asignados a acuíferos según la descripción granulométrica de las muestras recolectadas. Para evaluar el nivel freático, se perforaron 5 pozos en los que se realizó un monitoreo de las aguas entre enero y marzo de 1999, a efecto de reconocer eventuales variaciones piezométricas o hidroquímicas del nivel freático (a veces aflorante). Para completar la información, se describen los resultados de ocho ensayos de bombeo. Al efecto de relacionar los resultados estratigráficos, sedimentológicos e hidrogeológicos se ha concebido un modelo sedimentario gráfico de la barrera medanosa entre Punta Rasa y Mar Chiquita.

Los modelos pueden considerarse como imitaciones o aproximaciones de prototipos. No constituyen la realidad sino una representación de ella (Lakhan y Trenhaile, 1989). Los modelos homomórficos son una representación simplificada e imperfecta mientras que los isomórficos poseen una correspondencia entre los elementos del modelo y los de la realidad (i.e. las relaciones o interacciones entre ambos son exactas). Estas abstracciones o sim-

plificaciones de los sistemas naturales son valiosas a los fines de la simplicidad, reducción, experimentación, explicación, predicción, comunicación, y lo más importante, porque ayudan a la generación de nuevas hipótesis (Lakhan y Trenhaile, 1989). Se reconocen diferentes tipos de modelos: físicos, simbólicos, conceptuales, estadísticos. Los modelos matemáticos o numéricos se han hecho populares con las computadoras. Los modelos gráficos como mapas, perfiles o diagramas en bloque (Harbaugh y Bonham-Carter, 1970) han tenido gran importancia en el desarrollo de la sedimentología por su aplicación a la industria petrolera. Para analizar la conformación y evolución de barreras medanosas se han propuesto modelos transgresivos, regresivos y para diferentes condiciones de olas y mareas. Los modelos sedimentarios formulados en otras localidades no son aplicables a la evolución costera del Hemisferio Sur (Isla, 1998).

ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

El área de estudio se halla ubicada en el borde oriental de la Pampa Húmeda, dentro de la subregión conocida como Pampa Deprimida. Geomorfológicamente es una planicie costera, caracterizada por su relieve extremadamente llano y bajo. La barrera medanosa se extiende desde Punta Rasa hasta Mar Chiquita con un ancho que oscila entre los 2 y 4 km. Este cordón costero está dividido en dos unidades geomorfológicas, la playa y el médano.

La playa es aproximadamente rectilínea con un ancho que oscila entre 50 y 150 m. Presenta pendientes suaves, formadas por arenas finas a medianas. Teruggi (1959) y posteriormente Spalletti y Mazzoni (1979), caracterizaron granulométrica y mineralógicamente estas arenas superficiales de las playas del este de Buenos Aires, reconociendo variaciones texturales transversales (playa distal, frontal y médano) y a lo largo de la costa. Observaron un mayor diámetro de las arenas hacia los ambien-

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

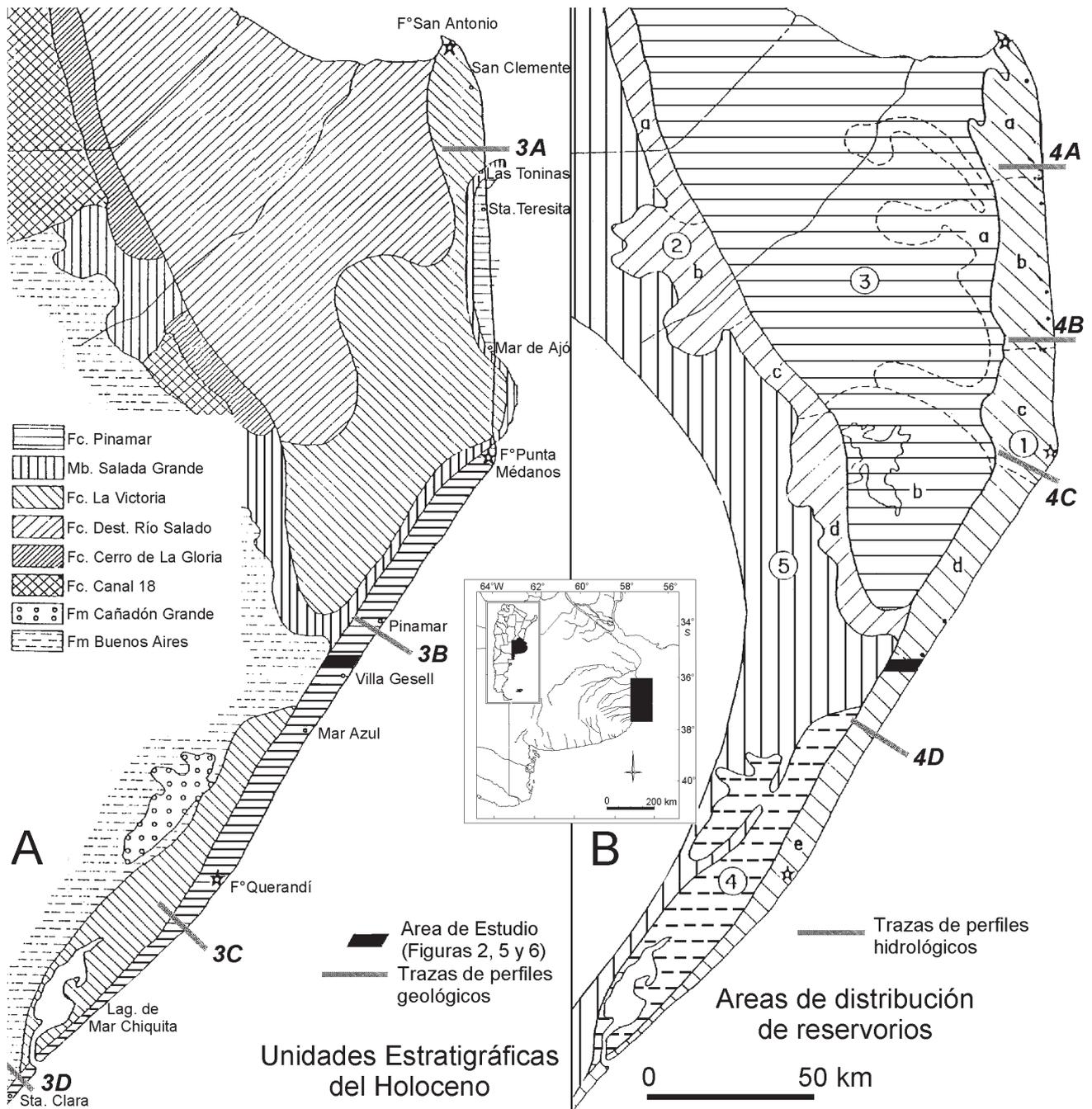


Figura 1. A- Mapa de ubicación. Unidades estratigráficas del Holoceno y trazas de los perfiles geológicos de la Figura 4 (modificado de Parker y Violante, 1989). B- Áreas de distribución de reservorios y trazas de los perfiles hidrológicos de la Figura 5 (modificado de Parker y Violante, 1989).

Figure 1. A - Location map. Holocene stratigraphic units and surface tracks of the geologic profiles of the Figure 4 (modified from Parker and Violante, 1989). B - Areas of reservoirs distribution and appearances of the hydrological profiles of the Figure 5 (modified of Parker and Violante, 1989).

tes topográficamente inferiores y la selección aumentaba hacia la playa frontal. Muestreos hechos con posterioridad, reconocen granulometrías más

gruesas aún en los sectores submareales (Isla *et al.*, 2001). Regionalmente, existe una mejor selección y disminución del diámetro de las arenas de sur a

norte. En cuanto a la mineralogía, los cambios regionales son más importantes, sobre todo en lo referente a minerales pesados (Spalletti y Mazzoni, 1979).

Los médanos del área en cuestión, poseen alturas que llegan a superar los 30 metros. En general son médanos parabólicos a piramidales (Spalletti y Mazzoni, 1979), aunque también se reconocen médanos transversales, barjanes y en estrella (Isla, 1995). Análisis de transporte de arena por el viento arroja, para el área de Punta Médanos, valores que superan los 150.000 m³/año principalmente en dirección norte, de los que un 35 % (más de 50.000 m³) van al océano (Schmidt y Lanfredi, 1979).

Las estadísticas climáticas de la Estación Pinamar, arrojan una precipitación media anual de 885 mm y 14,6°C de temperatura media (Servicio Meteorológico Nacional). Las precipitaciones se distribuyen durante todo el año, aunque aumentan en los meses de diciembre y enero y disminuyen durante el invierno.

El clima en esta localidad bonaerense es templado del tipo B1B2 'ra', lo que significa que es del tipo climático húmedo, mesotermal, con nula o deficiencia de agua y con poca variación anual de temperatura (Parker y Violante, 1989).

En las costas del Municipio de Villa Gesell, los vientos dominantes son del Este de octubre a febrero, y del Norte entre abril y agosto. La intensidad media anual es del orden de 12 km/h.

Con relación a los datos oceanográficos, las observaciones visuales realizadas en Pinamar por el Servicio de Hidrografía Naval, arrojan una altura de ola promedio de 0,89 m; con una altura máxima de 1,90 a 2,30 metros. El período es de 8,7 segundos. El régimen de mareas es de desigualdades diurnas con una amplitud media de sicigias de 0,74 metros. Estas playas poseen un continuo aporte de arenas por deriva litoral desde el sur del orden de 400.000 m³/año (Caviglia et al., 1992).

Schnack et al. (1982) y Fasano (1991) realizaron un análisis evolutivo y estratigráfico, respectivamente, de la región al sur de Villa Gesell, encontrando una sucesión de espigas que migraron hacia el sur cerrando una gran paleobahía, y originando la laguna costera de Mar Chiquita. Violante (1988) y Violante y Parker (1992) describieron detalladamente la estratigrafía de la zona entre Villa Gesell y Faro Querandí. Su análisis evolutivo idealiza un paleocabo en Villa Gesell causante de una antigua divergencia de las corrientes litorales hacia el sur y hacia el norte; actualmente la deriva es netamente de Sur a Norte.

Las unidades estratigráficas del Pleistoceno superior que se localizan en el área, corresponden a la **Fm Buenos Aires**, que se digita por debajo del paquete sedimentario Holoceno desde el Oeste, entre Villa Gesell y Valeria del Mar. Está compuesta por limos y loess castaño claro a rojizos, pulverulentos y sin estructuras. Corresponde a sedimentos depositados por acción eólica y fluvial, que cubrieron como manto y dejaron una superficie levemente ondulada. Caracteriza la llanura que se extiende al oeste del predio de Port Dorá. Por encima, la **Fm Punta Médanos**, compuesta por arenas finas a medianas, castaño amarillento con restos de conchillas conforman las dunas costeras holocenas. Estos médanos se formaron por acción eólica a expensas de los sedimentos de playa. En profundidad, se confunde con la **Facies Pinamar** de la **Fm Pozo N°8** (Parker y Violante, 1989). Comprende la franja de médanos vivos, vegetados parcialmente y la playa actual. Hacia el Noroeste del área, se extiende el **Miembro Salada Grande** de la **Fm Pozo N°17**. Originalmente, Dangavs (1983) le había dado carácter formacional, y posteriormente se incluyeron estos sedimentos en la **Facies La Ernestina** (Parker y Violante, 1989). Son arenas y limos castaño amarillentos a grisáceos o verdosos, que decrecen granulométricamente hacia el oeste donde se apoyan sobre terrenos pleistocenos. Hacia el sudeste del área, se reconocen además arcillas plásticas verde grisáceas a azuladas con restos de materia orgánica, y arenas muy finas a limos muy arcillosos, con conchillas trituradas, que corresponden a la **Facies La Victoria** de la **Fm Pozo N°8** (Parker y Violante, 1989; Fig. 1).

Este sector del Partido de Villa Gesell es reconocido como área de reserva hidrogeológica. Como referencia al aprovechamiento de los recursos subterráneos se han utilizado los mismos criterios adoptados para el área sur de Villa Gesell (Hurtado y Luquez, 1987). En esa área de 335 hectáreas (inferior a la del área del Predio de Port Dorá) y considerando las precipitaciones medias, la evapotranspiración potencial y una infiltración del 48% (Hurtado y Luquez, 1987), los 3,53 millones de m³ requeridos por año son superados por la recarga anual (5,5 millones de m³) de los niveles eólicos, sin comprometer entonces las reservas geológicas (Hurtado y Luquez, 1987).

Sobre la base de la confección de 13 perfiles perpendiculares a la línea de costa González Arzac y colaboradores (1992) establecieron un esquema hidrogeológico del sur de Pinamar. En un espesor de 50 metros encontraron un acuífero freático y tres

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

semiconfinados superpuestos entre sí y que se encuentran separados por otros tantos niveles semiconfinantes. Dadas las particulares condiciones del ambiente de acumulación (sistema barrera-albufera) de los sedimentos que conforman estas unidades, estos autores encuentran que su desarrollo evidencia importantes cambios en sentido lateral y vertical (Fig. 3B).

METODOLOGÍA

Se perforaron 5 pozos de carácter exploratorio hasta una profundidad máxima de 10 m, se encamisaron con tubo de plástico y se los protegió con una construcción de ladrillo y tapa metálica. Su posicionamiento fue realizado con GPS Trimble y las vinculaciones planialtimétricas se realizaron con una estación total WILDt, arrastrando el nivel de un mojón del IGM. Con posterioridad, se vincularon las cotas de los 5 perfiles al 0 del IGM.

Se testeó la calidad de las aguas mediante un analizador de aguas HORIBA U-10, con cable de 30 m que permitió la medición de 6 parámetros *in situ* (pH, temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez). También se midió la conductividad de las aguas subterráneas para ser contrastadas con la salinidad del mar (Tabla 1).

Sobre la base de datos obtenidos en una estación total LEIKA, la planimetría fue llevada a un programa de modelado de superficies (Surfer® 6.01) para facilitar el emplazamiento de los pozos y sus relaciones con la topografía (Fig. 2). Todos los datos fueron georreferenciados y llevados a coordenadas planas Gauss-Kruger. Con posterioridad, se posicionaron diez pozos cubriendo toda el área (Fig. 2), y obteniendo la mayor información posible, alineándolos según ejes preferenciales, tres paralelos a la ruta y el mar, y tres transversales a la costa. Se contó con mapas del IGM, la cartografía confeccionada por el software y fotos aéreas a escala 1:20.000 de 1986 (Fig. 3).

De los diez pozos tres fueron profundos (39 m promedio) y los restantes someros (16 m promedio). Los pozos fueron realizados entre el 30/11/99 y 10/12/99. Para su confección se recurrió a una perforadora rotativa, y caños de 2 m de longitud. Cada 2 m de perforación se obtuvieron muestras de "cutting". Se describió visualmente la muestra y se la embolsó y rotuló para llevar al laboratorio del Centro de Geología de Costas y del Cuaternario (Universidad Nacional de Mar del Plata).

Posteriormente se encamisó, con caños "Poce-ro" de 115 cm de diámetro y de 6 m de longitud. Los filtros son del mismo diámetro, pero de 3 metros. Se agregó, dependiendo de la longitud del filtro, 8 a 16 bolsas de grava cuarzosa para pozo, de 0,5 a 0,3 cm de diámetro de grano.

Las muestras de sedimentos fueron sucesivamente cuarteadas (hasta 100 g), secadas (estufa entre 37 y 40°C durante 24 h), desagregadas (mediante mortero y leve presión con un pilón de goma) y tamizadas (pila de tamices ordenados según la escala ASTM cada 0,5 unidades Phi y zarandeo en Ro-Tap durante 15 minutos). Basado en los datos extraídos del análisis granulométrico, se confeccionaron curvas acumulativas y diagramas de frecuencia que permiten hacer inferencias respecto a las características y cálculo de los parámetros sugeridos por Folk y Ward (1957): Media, Desvío Estándar, Asimetría y Curtosis. Con relación al nombre del sedimento, se empleó su triángulo de clasificación, basado en los porcentajes de psamitas, psamitas y pelitas.

Para el ensayo de pozos se empleó una bomba sumergible marca Lenz de 1 HP alimentada por un generador trifásico. Para la medición del nivel piezométrico, se empleó una sonda a batería de 9 voltios graduada.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a la siguiente metodología:

- Se midió el nivel piezométrico inicial.
- Se bombeó durante 2 horas a caudal constante, arrojando el agua a un mínimo de 60 m para evitar recargar el freático.
- Una vez detenida la bomba, se midió el nivel en ascenso por unidades de tiempo específicos hasta la recuperación total.

En gabinete, se representó cada pozo en una planilla especialmente diseñada, donde se volcaron los datos granulométricos y los análisis estadísticos. Dada la imposibilidad de contar con pozos de observación y la incertidumbre respecto a la distancia del pozo ensayado en un ambiente tan permeable como la arena de médanos, se prefirió utilizar el método de Theis (Tabla 2).

RESULTADOS

A. Calidad de las aguas de los niveles freáticos

Los cuatro pozos exploratorios (1 a 4) realizados sobre la costa en sedimentos arenosos de ori-

Fecha	Pozo	Cota (m.s.n.m.)	Metros desde el fondo	pH	C	Turb.	O ₂	T	Sal.
08/01/99	Mar		-	8,14	51,8	800	6,86	22	33
19/2/1999	Mar		-	7,87	51,3	180	6,52	20,5	34
08/01/99	1 37°12,663' S 56°55,802'W	2,88	6	7,94	0,361	15	2,7	19,9	
			4	6,74	0,345	27	1,92	18,1	
			2	6,44	0,337	64	1,62	16,9	
			Fondo	6,73	0,352	999	1,99	17	
08/01/99	2 37°12,574' S 56°55,589'W	2,31	6	8,34	0,426	40	3,87	20,2	
			4	7,97	0,434	37	2,56	19,4	
			2	7,16	0,432	78	1,74	17,8	
			Fondo	7,29	0,408	359	1,01	17,3	
08/01/99	3 37°12,512' S 56°55,660'W	2,78	6	8,19	0,415	18	2,74	19,1	
			4	7,68	0,417	23	0,81	18,6	
			2	7,20	0,413	182	0,49	18,1	
			Fondo	7,38	0,361	622	0,92	18,2	
08/01/99	4 37°12,318' S 56°55,857'W	5,12	6	8,02	0,351	22	1,96	19,0	
			4	7,39	0,340	14	0,74	17,8	
			2	7,52	0,341	133	0,55	17,0	
			Fondo	7,83	0,351	999	1,12	17,0	
08/01/99	5 37°11,909' S 56°57,599'W	13,45	8	7,48	0,638	26	1,29	19,8	
			6	7,49	0,641	19	0,57	19,5	
			4	7,47	0,612	14	0,05	18,0	
			2	7,27	0,616	36	0,02	17,6	
			Fondo	7,46	0,619	999	0,27	17,6	
19/2/1999	1		6	8,19	0,322	7	3,86	21,2	
			4	7,21	0,324	2	3,42	19,3	
			2	7,24	0,328	150	2,51	17,8	
			Fondo	7,05	0,349	999	3,68	17,4	
19/2/1999	3		6	6,99	0,418	10	1,61	20,3	
			4	6,73	0,404	10	2,44	19,5	
			2	6,63	0,435	133	-0,19	18,4	
			Fondo	6,82	0,425	999	1,61	18,1	
19/2/1999	4		6	7,14	0,34	10	0,2	21	
			4	6,71	0,341	10	-0,13	19,1	
			2	6,55	0,366	12	-2,06	17,7	
			Fondo	6,69	0,365	999	4,13	17,3	
08/03/99	5		6	7,60	0,602	10	-0,18	19,8	
			4	7,51	0,604	5	-0,21	18,2	
			2	7,55	0,604	6	-0,22	17,6	
			Fondo	7,42	0,615	664	-0,27	17,5	

Referencias: C = Conductividad (mS/cm), Turb. = Turbidez (NTU), O₂ = Oxígeno disuelto (mg/l), T = Temperatura (°C), Sal. = Salinidad (mg/l)

Tabla 1. Calidad de las aguas de mar en la costa y en los pozos de evaluación ambiental de la playa (1 a 5).

Table 1. Water quality at the shoreline and at wells performed on the beach (1 to 5).

gen eólico, no alcanzaron los niveles “pampianos” (epiparanianos en el sentido de Werner, 1988a y 1988b). La primera serie de mediciones fue realizada el 8 de enero de 1999, la segunda el 19 de febrero de 1999 y la tercera el 8 de marzo de 1999. El Pozo 2 no pudo analizarse en febrero de 1999 porque su freatómetro había sido destruido (Tabla 1). Los niveles freáticos se mantuvieron

aproximadamente estables. Sólo en el pozo cercano a la Ruta 11 (Pozo 5) hubo un leve ascenso de los niveles freáticos, posiblemente debido a una copiosa lluvia caída los días previos al muestreo de enero.

Las aguas subterráneas resultaron ser en general ligeramente básicas con valores de pH de 6,5 a 8 y de muy baja salinidad (0,1 mg/l). Sólo en el

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

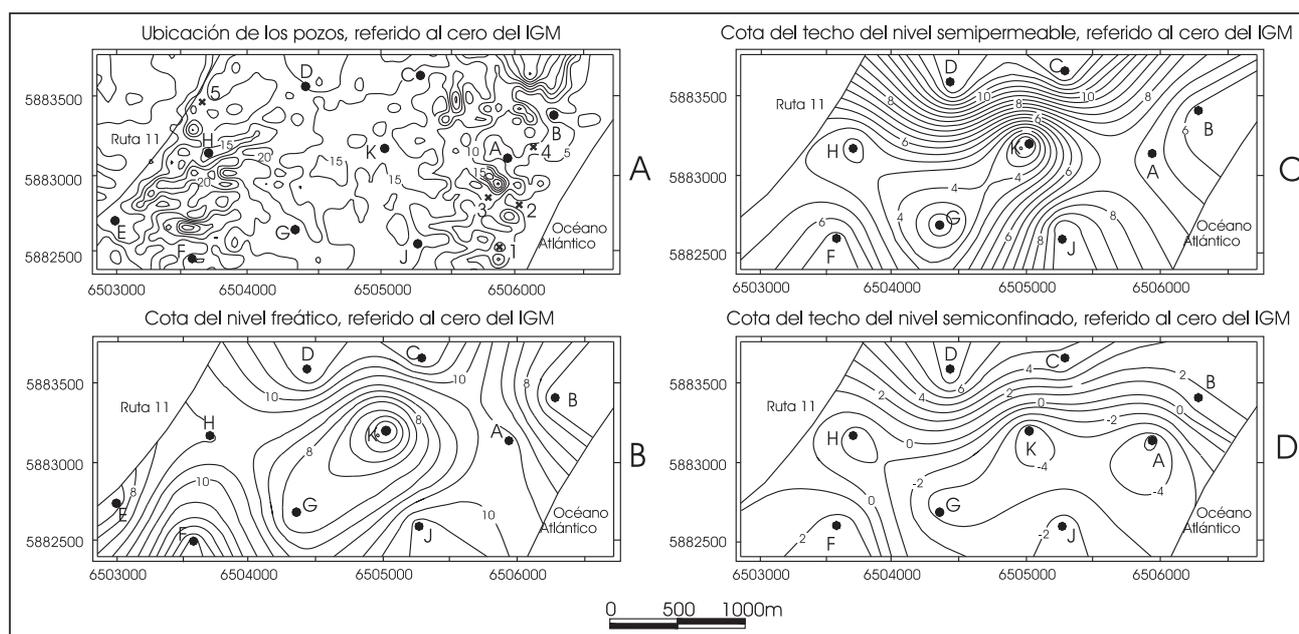


Figura 2. Ubicación de los pozos en el modelo digital de terreno (A) y planos del nivel freático (B), techo del semipermeable (C) y techo del semiconfinado (D). Todos referidos la cero del IGM.

Figure 2. Digital elevation model with location of the drill holes (A), with phreatic level (B), and top of the semipermeable (C) and semiconfined aquifers (D). All data referred the datum of Instituto Geográfico Militar.

Pozo 5, llegaron a medirse salinidades que alcanzaron 0,2 mg/l (conductividad de 0,6 mS/cm). Los valores de oxígeno disuelto en este pozo fueron significativos y lógicamente menores que los más cercanos al mar. No se reconocieron variaciones de significación durante los dos meses transcurridos entre mediciones. Los valores de oxígeno disuelto son significativamente menores en el Pozo 5, practicado en ambientes de postbarrera (Ruta 11). A lo largo de los pozos, se reconoció una disminución del pH y de la temperatura hacia el fondo. Hacia allí normalmente aumenta la turbidez; en superficie puede haber valores de turbidez más altos que en la columna, supuestamente debido a la flotabilidad de algunas sustancias. El oxígeno disuelto tiene valores muy bajos en el fondo, que aumentan hacia el tope de la columna de agua, comportamiento similar al del pH (Tabla 1).

Para los otros diez pozos y sobre la base de los datos aportados por las perforaciones y las muestras de sedimento recolectadas, se ha podido confeccionar una detallada descripción (medidas desde boca de pozo, Tabla 3).

B. Estratigrafía

Desde un punto de vista hidrogeológico, se han reconocido 3 secciones superpuestas al Basamento Impermeable: la inferior Hipoparaniana, la sección Paranaiana y la sección Epiparaniana. Esta última está compuesta por limos y loess con intercalaciones arenosas, arcillosas y niveles de tosca. Este sector costero resulta de particular interés hidrogeológico por la presencia de sedimentos arenosos acuíferos con intercalaciones fangosas y elevado porcentaje de bioclastos. De acuerdo a los pozos realizados en este estudio se han reconocido las siguientes unidades formacionales del subsuelo (Fig. 3), relacionándolas con los niveles de arena que se consideran acuíferos:

Las arenas eólicas de la **Fm Punta Médanos** contienen el acuífero freático.

El segundo acuífero está constituido por las arenas también eólicas del Holoceno Medio correspondientes a la **Facies Faro Querandí** de la **Fm Medaland** (correlacionable con la **Facies Pinamar** de la **Fm Pozo N°8**), y por la **Facies Los Médanos** de la **Fm Canal 5 (Fm Pozo N°10 de Pinamar)**. Este

Esquema Hidrodinámico del acuífero freático

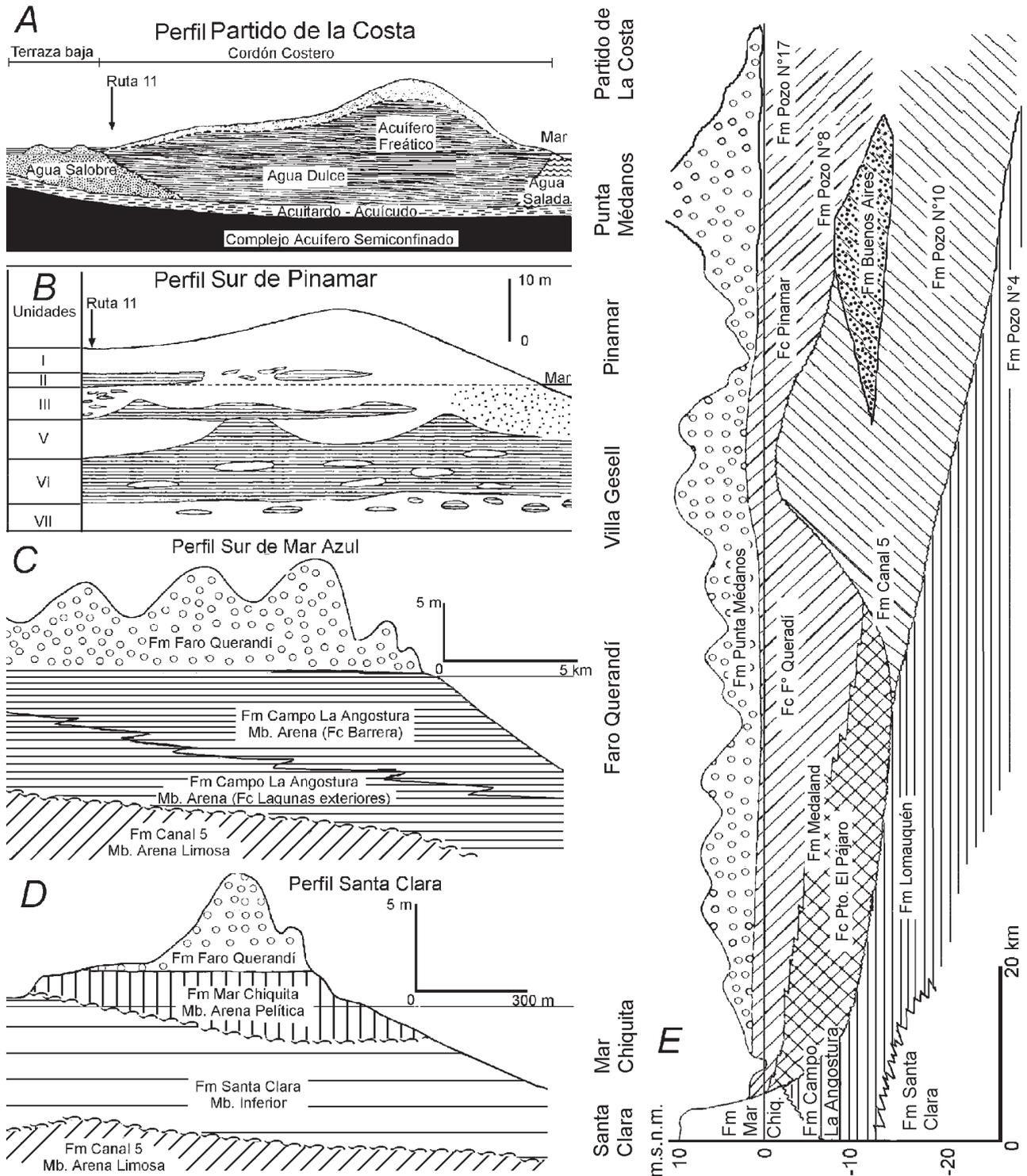


Figura 3. Modelo hidrogeológico para: A- Partido de la Costa (CFI, 1990), B- Sur de Pinamar (González Arzac et al., 1992), C- Sur de Mar Azul (Fasano, 1991) y D- Santa Clara (Fasano, 1991); relacionados a F- Perfil Geológico (Sur-Norte) entre Mar Chiquita y Partido de la Costa (modificado de Parker y Violante, 1989).

Figure 3. Hydrogeological model for: A - Partido de la Costa (CFI, 1990), B - South of Pinamar (González Arzac et al., 1992), C - South of Mar Azul (Fasano, 1991) and D - Santa Clara (Fasano, 1991); related to F - Geologic Profile (South-North) between Mar Chiquita and Partido de la Costa (modified from Parker and Violante, 1989).

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

Pozo	Coordenadas y fecha de ensayo	Cota (m.s.n.m.)	Prof. Perforada (m.b.b.p.)	Prof. de muestreo (m.b.b.p.)	Media	D.STD	Prof. del Filtro (m.b.b.p.) y niveles ensayados	Caudal medio ponderado (m ³ /hora)	Recuperación Residual (m)	Trasmisividad (m ² /día)	Permeabilidad (m/día)
A	37°12'14,5"S 56°55'59,9"W 9/5/00	12,69	20	6	2,43	0,47	17 a 20 II Acuífero	Se registró un bombeo irregular atribuido a la disposición de los filtros, por lo que durante los minutos del bombeo, la bomba arrojó ininterrumpidamente barro o lodo. Las lecturas realizadas en él indicaron una recuperación muy lenta.			
				10	2,73	0,61					
				14	2,43	1,31					
				20	2,00	1,00					
B	37°12'05,1"S 56°55'46,5"W 15/5/00	11,46	16	8	2,36	0,64	13 a 16 II Acuífero	7,2	0,2	184,45	16,65
				10	2,23	0,57					
				12	2,5	0,52					
				10	2,46	0,35					
C	37°11'56,4"S 56°56'26,4"W 22/5/00	18,46	18	12	2,3	0,61	15 a 18 II Acuífero	5,76	0,05	320,4	36,2
				14	2,7	0,52					
				18	2,3	0,52					
				10	2,36	0,37					
D	37°11'59,3"S 56°56'58,9"W 24/4/00	20,46	40	16	2,13	0,66	34 a 40 III Acuífero	5,11	0,19	118,17	3,81
				24	3,13	0,72					
				34	2,16	0,88					
				40	1,83	0,85					
E	37°12'25,5"S 56°57'39,4"W 25/4/00	14,89	38	6	2,23	0,53	32 a 38 III Acuífero	5,11	0,09	199,9	6,61
				10	2,26	0,48					
				14	2,16	0,62					
				18	1,9	0,97					
F	37°12'34,3"S 56°57'33,1"W 26/4/00	20,77	22	22	3,1	0,53	19 a 22 II Acuífero	5,11	0,24	93,55	6,71
				28	2,26	0,82					
				36	2,1	0,86					
				38	2,9	0,87					
G	37°12'28,2"S 56°57'03,3"W 26/4/00	15,53	22	10	2,1	0,46	El Pozo G fue abandonado por encontrarse tapado íntegramente por arena. Se consideró que no era conveniente perforarlo, por los inconvenientes logísticos que ello ocasionaría.				
				14	2,25	0,35					
				18	2,86	0,55					
				21	2,13	0,54					
H	37°12'07,5"S 56°57'22,9"W 25/4/00	14,33	40	10	2,66	0,53	34 a 40 III Acuífero	5,11	0,3	74,84	2,16
				16	2,56	0,97					
				24	3,13	0,61					
				34	1,43	0,5					
J	37°12'31,6"S 56°56'27,0"W 18/5/00	16,55	22	40	1,3	0,97	19 a 22 II Acuífero	7,2	0,53	56,18	3,48
				10	2,36	0,42					
				16	2,3	0,73					
				22	2,16	1,14					
K	37°12'11,2"S 56°56'37,2"W 15/5/00	14,05	22	10	2,2	0,46	19 a 22 II Acuífero	7,2	0,06	376,4	28,73
				16	2,48	0,66					
				21	2,00	0,54					

Tabla 2. Características estadísticas de las muestras sedimentológicas de los pozos relevados y resumen de los ensayos de bombeo.

Table 2. Grain-size data from the drill holes and pumping tests performed.

acuífero comprendería entonces sedimentos del Holoceno Medio y del Pleistoceno superior en facies de barrera o de playas de baja energía. La presencia de intercalaciones limosas y de acumulaciones de conchillas ha sido reconocida como transiciones a planicies mareales y lagunas costeras (**Facies Santa Ana** de Violante y Parker, 1992).

El tercer acuífero se detectó sólo en los pozos más profundos y constituirían arenas marinas de plataforma interior en transición a playas. En la zona del Faro Querandí fueron denominadas **Fm Lomauquén** (en Pinamar se la denominó **Fm Pozo N°4**). Por encontrarse por debajo de las **Fm Canal 5** y **Fm Pozo N°10**, se le dio una edad Pleistocena media (Piso Interensenadense de Ameghino; Violante y Parker, 1992).

Las correlaciones entre las formaciones definidas en Santa Clara y el Partido de La Costa, se han graficado a través de un perfil trazado a lo largo de la barrera medanosa (Fig. 3E).

A través de estudios geoelectrónicos realizados en Villa Gesell, se reconoce el interés de esta sección por sus valores de resistividad de unos 85-90 m de espesor (Figura 4; Werner, 1988a).

C. Hidrogeología

Basándose en los datos recolectados en las perforaciones, se ha podido reconocer el siguiente modelo:

a) Un primer nivel (de 0 a 14 m) de arena fina de origen eólico.

b) Un segundo nivel, de arenas finas a medianas con restos de conchillas gruesas a finas, normalmente ubicado entre los 18 y 22 m, aunque se lo ha encontrado a menores profundidades hacia el norte del predio. Es de origen marino de playa.

c) El tercero, se ubicó sólo en los pozos de 40 m y está compuesto de arenas finas con conchillas gruesas de origen marino.

Los sedimentos que separan los cuerpos arenosos son fácilmente reconocidos por medio del "cutting". Están formados por arenas limosas con conchillas de variado tamaño y "pellets" de arcilla de 0,3 a 0,5 cm, de color marrón y verde azulado, que corresponderían a un ambiente transicional de lagunas costeras.

Los pozos, integrados entre sí, y considerando su granulometría y características físicas y mecánicas, fueron graficados en 3D para tener una acabada visión de las variaciones espaciales entre los paquetes sedimentarios de interés hidrogeológico

(Figs. 2 y 5).

Se aprecia que el primer paquete arenoso tiene gran continuidad areal, con importantes espesores hacia el sur y sudoeste del predio (de 0 a 13,5 m.b.b.p.). Hacia el mar, sector sudeste y este, el espesor es menor, del orden de los 6 m.b.b.p. Luego de un nivel de sedimentos arenos limosos y arenos arcillosos (de características semipermeables), comienza un segundo estrato arenoso entre 11 y 19 m.b.b.p. El techo de este segundo nivel es más superficial hacia el nordeste y se profundiza hacia el sur (Fig. 2B).

La base del segundo paquete y el techo del tercero, fueron detectadas sólo en los pozos profundos de 40 m (pozos E, H y D). El segundo nivel arenoso termina sobre otro paquete de sedimentos semipermeables con su base a profundidades variables entre 21 y 27,50 m.b.b.p. Este último valor de profundidad se observa en el pozo H, ya que hacia los otros (al nordeste y sudoeste) este nivel se hace más somero (Fig. 2C).

Por debajo existe otro nivel de sedimentos semipermeables y un tercer estrato arenoso a profundidades que varían entre 22 y 34 m.b.b.p., ubicado a mayor profundidad hacia el sudoeste y más somero hacia el nordeste (Fig. 2D).

Del análisis global de la información hidrogeológica deriva los siguientes puntos:

De acuerdo con los perfiles idealizados en la integración de los pozos, se aprecia una continuidad de niveles aislantes que evidencia una cierta independencia entre los niveles acuíferos.

El acuífero libre superior, por sus características granulométricas y ubicación es la provisión de agua de la zona de bajo costo, pero de alta vulnerabilidad por estar en contacto con los efluentes (pozos negros, efluentes líquidos y semisólidos, basureros). Este problema ocurre en Cariló y podría extenderse, en forma reducida, al segundo acuífero.

El tercer acuífero por su posición en la secuencia hidrogeológica y su granulometría, constituye el nivel con mejores condiciones para su utilización como fuente de abastecimiento.

Puede ocurrir que a mayores profundidades, y dentro de sedimentos "pampianos" exista otro acuífero semiconfinado de agua dulce. Este tendría condiciones óptimas para servir de abastecedor a toda el área, sin influir en los acuíferos superiores, ni degradar la reserva hidrológica de los médanos de Villa Gesell. A este acuífero, por su distribución y ubicación, sería necesario intensificar su exploración con el objeto de determinar su verdadero potencial.

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

Pozo A	
0 a 6 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
6 a 12 m	arena fina a arena limosa, con porosidad media.
12 a 18 m	arena fina a arena arcillosa, más compacta que las anteriores, mala porosidad.
18 a 20 m	arena fina a arena limosa, la porosidad pasa de mala a buena en esos 2 m. Ubicación del segundo acuífero.
Pozo B	
0 a 6 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
6 a 10 m	arena fina a limo arcilloso, con porosidad media a mala, más compacta que las anteriores
10 a 16 m	arena fina, con conchilla finamente molida, la porosidad pasa a buena en esos metros. Ubicación del segundo acuífero.
Pozo C	
0 a 6 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
6 a 14 m	intercalación de arena fina, arena limosa y arena arcillosa, con porosidad media y por momentos mala, más compacta que las anteriores.
14 a 16 m	arena fina, subredondeada, la porosidad pasa a buena. Ubicación del segundo acuífero.
Pozo D	
0 a 8 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
8 a 13 m	arena fina a arena limosa, con porosidad media.
13 a 20 m	arena fina a arena mediana, más compacta que las anteriores, con restos de conchillas finas. Ubicación del segundo acuífero.
20 a 22 m	arena limosa, la porosidad pasa de buena a media en esos 2 metros; con restos de conchillas finas.
22 a 40 m	arena fina a mediana, subredondeada, buena porosidad, con restos de conchillas medianas a gruesas. Ubicación del tercer acuífero. De 29 a 31 m, hay pequeños lentes de arena limosa.
Pozo E	
0 a 9 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
9 a 12 m	arena fina a arena arcillosa, con porosidad media, más compacta que las anteriores, mala porosidad.
12 a 22 m	arena fina, subredondeada, la porosidad pasa de media a buena en esos metros. Ubicación del segundo acuífero.
22 a 30 m	arena fina a arena arcillosa, la porosidad pasa de buena a media. Hay niveles de conchilla molida fina. Mayor consolidación.
30 a 36 m	arena fina, la porosidad vuelve buena. Ubicación del tercer acuífero. Hay niveles de conchilla gruesa, molida por el trépano, posiblemente en profundidad, las mismas estuvieran enteras.
36 a 38 m	arena fina a arena arcillosa. La porosidad pasa de buena a mediana y mala hacia la profundidad. La perforación se lentifica, haciendo casi imposible poder seguir perforando. Se atraviesan niveles de conchilla muy gruesa.
Pozo F	
0 a 14 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad, con restos de conchillas finas.
14 a 18 m	arena limosa a limo arenoso, con porosidad media y mala, más compacta que las anteriores.
18 a 22 m	arena fina a mediana, la porosidad pasa nuevamente a buena. Ubicación del segundo acuífero. Con restos de conchillas gruesas.
Pozo G	
0 a 14 m	arena fina, redondeada, con conchilla finamente molida, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
14 a 18 m	arena fina a arena arcillosa, con porosidad media, más compacta que las anteriores.
18 a 22 m	arena fina, subredondeada, con conchilla gruesa, la porosidad pasa de media a buena en esos metros. Ubicación del segundo acuífero.
Pozo H	
0 a 10 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
10 a 16 m	arena limosa, con porosidad media. Se intercalan lentes de arena arcillosa.
16 a 24 m	arena fina a arena limosa, más compacta que las anteriores, porosidad buena a media, con restos de conchillas finas a gruesas. Ubicación del segundo acuífero.
24 a 34 m	arena limosa, la porosidad es media. Con lentes de arena arcillosa de mala porosidad, con restos de conchilla fina a muy fina.
34 a 40 m	arena fina, subredondeadas, porosidad buena, con restos de conchillas finas. Ubicación del tercer acuífero.
Pozo J	
0 a 7 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad y con restos de conchillas finas.
7 a 18 m	arena fina a arena limosa, con porosidad media a mala. Más compacta que las anteriores, con intercalaciones de lentes de arena arcillosa.
18 a 22 m	arena fina, la porosidad pasa de media a buena. Con restos de conchillas finas. Ubicación del segundo acuífero.
Pozo K	
0 a 12 m	arena fina, redondeada, ubicación del primer acuífero. Buena porosidad.
12 a 18 m	arena limosa a arena arcillosa, con porosidad media a mala. Más compacta que las anteriores.
18 a 22 m	arena fina, la porosidad pasa de mala a buena, con restos de conchillas gruesas. Ubicación del segundo acuífero.

Tabla 3. Descripción geológica de los pozos relevados (espesores en m).

Table 3. Geological description of the wells (thickness in m).

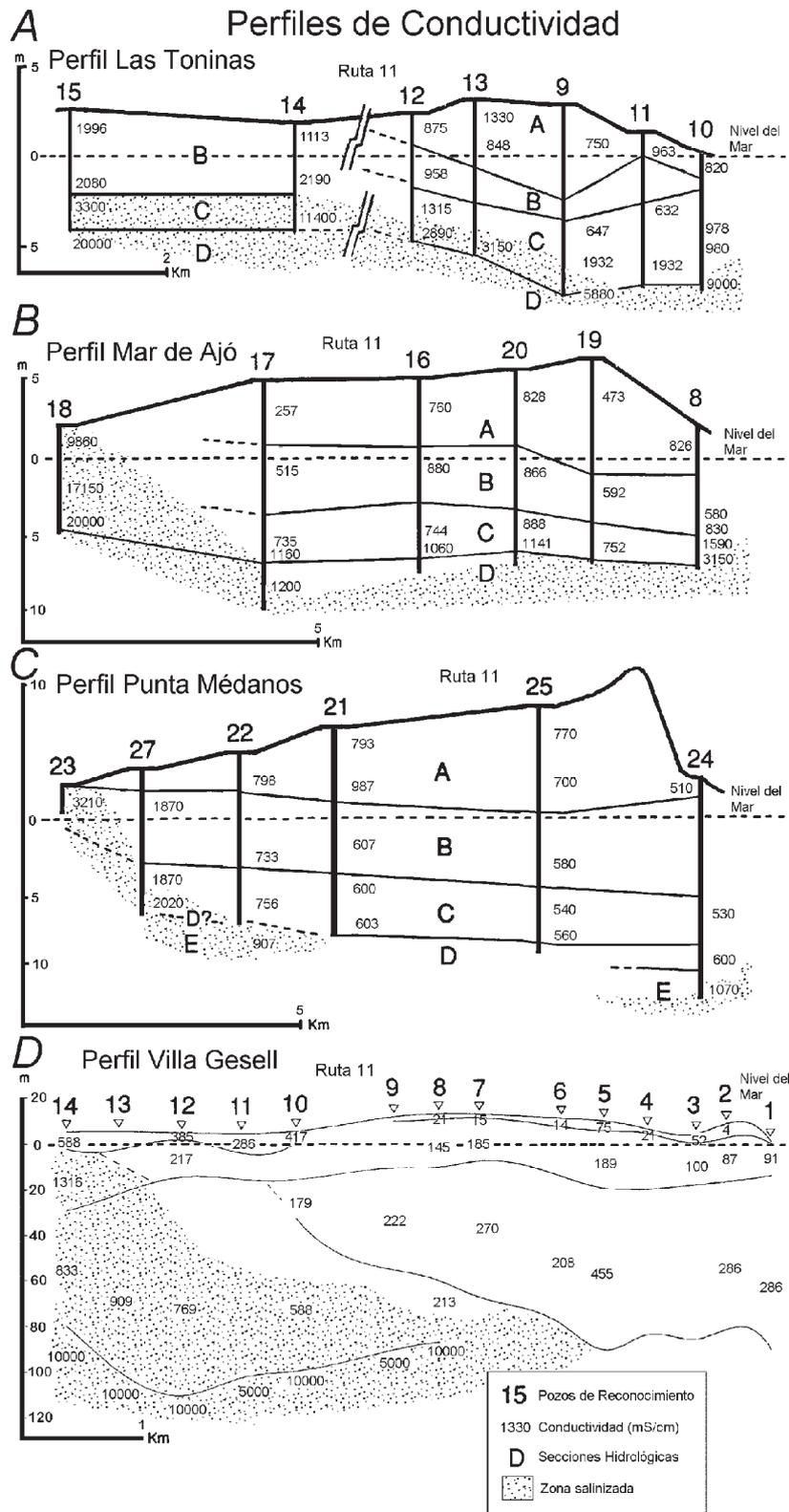


Figura 4. Perfiles de conductividad en las localidades de A- Las Toninas, B- Mar de Ajó, C- Punta Médanos (modificado de CFI, 1990) y D- Villa Gesell (modificado de Hurtado *et al.*, 1987).

Figure 4. Conductivity Profiles in the area of A – Las Toninas, B – Mar de Ajo, C – Punta Medanos (modified from CFI, 1990) and D - Villa Gesell (modified from Hurtado *et al.*, 1987).

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

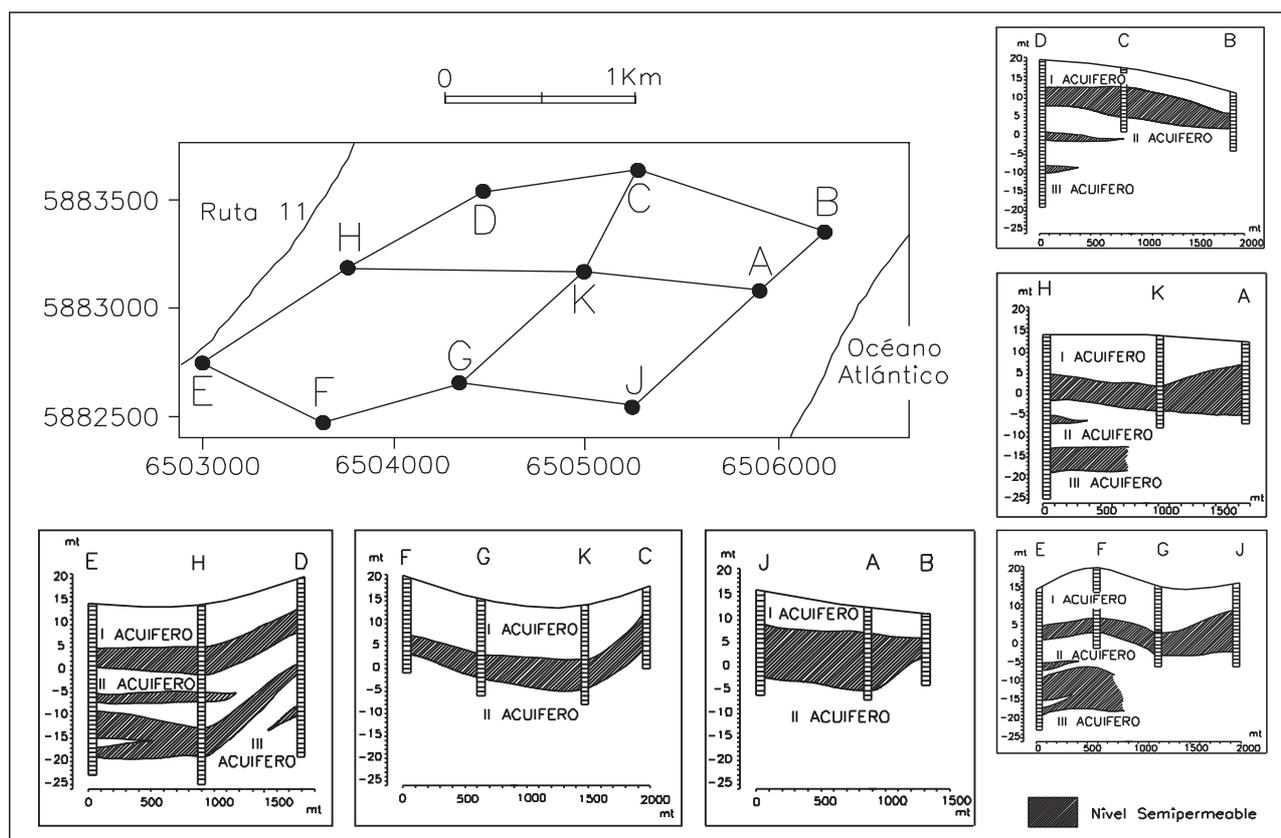


Figura 5. Esquema hidrodinámico al sur de Cariló.

Figure 5. Hydrodynamic graphic to the South of Cariló.

D. Ensayos de Bombeo

Se confeccionaron ensayos de bombeo que consistieron en el registro de los cambios en los niveles que se producen en un punto por variaciones controladas de la descarga. En los pozos de poca profundidad, se ensayó el acuífero 2, y en los pozos profundos (D, E y H), el acuífero 3. Las pruebas fueron de corta duración (1 a 4 horas), y se alcanzó el régimen estacionario. En todos los casos los descensos más empinados se produjeron en los primeros minutos del ensayo, tendiendo luego la curva hacia una asintótica transcurridos 10 a 15 minutos (Tabla 2).

E. Determinación de los parámetros hidráulicos

Los datos de los parámetros hidráulicos calculados en los ensayos de bombeo se han resumido en la Tabla 2.

Si se observan las piezometrías en función

del techo del acuífero 1, puede concluirse que la primera capa en su casi totalidad trabaja como acuífero libre al encontrarse en el cordón medanoso por encima del nivel potenciométrico. Cinco de los ensayos de bombeo se ubicaron en el acuífero 2 con comportamiento libre, similar al anterior. El pozo H por sus características tiene un comportamiento similar al de un acuífero semiconfinado con recarga retardada y los pozos D y E serían confinados a semiconfinados.

Por el método de Theis de medición de la Depresión Residual (S') en función del tiempo $[(t+t')/t']$, se obtuvo una transmisividad promedio de 206,2 $m^2/día$ para los acuíferos libres y de 130,97 $m^2/día$ para los semiconfinados. En relación con la permeabilidad promedio se obtuvo valores de 18,23 $m/día$ y 4,19 $m/día$ respectivamente (Fig. 6).

F. Balance hídrico, cálculo de reservas y de consumo

Para el cálculo de reservas se siguieron los mis-

mos criterios utilizados para la evaluación de la reserva hidrogeológica del "Área Sur de crecimiento de Villa Gesell" (Hurtado y Luquez, 1987), haciendo la salvedad que es una generalización que resuelve casos para cuencas hidrológicas teóricas.

El balance hídrico sigue la fórmula: $P = Evt + Es + I$, considerándose que la Precipitación (P) se distribuye entre Evapotranspiración (Evt), Escurrimiento superficial (Es) e Infiltración eficaz o recarga (I).

Las estadísticas climatológicas de la Estación Pinamar, indican valores anuales de precipitación de 897 mm (1951-1960), 865 mm (1961-1970) y 895 mm (1971-1980); aquí se considera el promedio de 885 mm/año.

Considerando la simplificada fórmula de Ture de la Evapotranspiración real, y para una temperatura media de 14,6°C, la resultante es de 619 mm/año. Sabiendo que $Q = Es + I$, obtendremos que de los 265 mm/año gran parte es infiltrado, ya que en estos ambientes de dunas arenosas el escurrimiento es mínimo tal vez de un 10 % del total del Q (Castany, 1971; Lohman, 1977). Sin embargo, y como lo demostró la forestación y parcial impermeabilización de los médanos al sur de Villa Gesell (Hurtado y Luquez, 1987), la infiltración eficaz puede reducirse hasta casi un 48% de Q. De este modo, la recarga o infiltración eficaz se puede aproximar desde un valor de 239 mm/año, sin antropizar el entorno, hasta un valor de 127 mm/año si se foresta y urbaniza la zona. El balance por lo tanto queda como:

Barrera prístina $885 = 619 + 27 + 239$

Barrera antropizada $885 = 619 + 138 + 127$

Ahora si consideramos una posible forestación y urbanización de la zona con una recarga de 0,1276 m/año para el área del Predio de Port Dorá (área de 557 ha.), la recarga anual en el sector suma 710.732 m³/año.

Considerando hipotéticamente un promedio de consumo de 200 l/día por persona, si existieran 30.000 habitantes, consumirían durante la temporada estival (aproximadamente 100 días) un total de 600.000 m³, es decir menos del saldo anual del acuífero sólo por efecto de la precipitación. Estas estimaciones se basan en suponer un acuífero que se recarga únicamente por lluvias, cuando los acuíferos son sistemas dinámicos y no estáticos. En el Partido de la Costa, esta Barrera Oriental de Buenos Aires continua en profundidad en un Complejo Acuífero Semiconfinado que puede estar salinizado (Gonzalez Arzac et al., 1992). Afortunadamente, en la zona que nos ocupa, por debajo de la lente

freática se han detectado dos acuíferos semiconfinados cuyas aguas no están salinizadas y que corresponden a capas de alta resistividad que llegarían a los 100 m de profundidad según Hurtado y Luquez (1987).

DISCUSIÓN

Las unidades estratigráficas que se han podido observar basándose en las perforaciones, pertenecen al Pleistoceno superior y Holoceno (Fig. 1). En superficie hay sedimentos arenosos finos a medianos, castaño amarillentos con restos de conchillas y que conforman las dunas costeras, correspondiente a la **Fm Punta Médanos**. En profundidad, se localizó la **Fm Medaland** o **Fm Pozo N°8** (Parker y Violante, 1989) y la **Fm Canal 5**. Estas formaciones comprenden antiguos médanos y paleoplayas. Son arenas y limos castaño amarillentos a grisáceos o verdosos, que decrecen granulométricamente hacia el oeste donde se apoyan sobre terrenos pleistocenos. Hacia el Sur-Sudeste del área, son arcillas plásticas verde grises a azules con restos de materia orgánica, y arenas muy finas a limos muy arcillosos, con conchillas trituradas. Finalmente en los pozos de mayor profundidad, se considera que hay vestigios de la **Fm Lomauquén** o **Fm Pozo N°4**.

Los sedimentos areno-limosos y arcillosos, pertenecerían a acumulaciones intermedanas de materia orgánica, de carácter transitorio. Estos subambientes, de dinámica poco energética, acumulan aguas de lluvia y constituyen afloramientos del nivel freático, son sedimentos finos de alto potencial en el registro estratigráfico.

La barrera medanosa es compleja, en el sentido que se superponen barreras pleistocenas y holocenas (tramo Mar Chiquita - Pinamar) como las del sur de Brasil (Vilwock y Tomazelli, 1995), y responde a un modelo transgresivo - regresivo. Actualmente, ambos procesos (transgresivos y regresivos) tienen lugar: los ambientes de la barrera de Mar Chiquita migran hacia el continente mientras que en Punta Rasa los procesos regresivos están evidenciados por una sucesión de espigas libres. Si bien este modelo sedimentario coincide mayormente con el propuesto recientemente por Violante y colaboradores (2001) consideramos importante vincularlo a los recursos hidrogeológicos, particularmente estimando los aportes de los sedimentos que conforman la denominada "Paleopunta Villa Gesell".

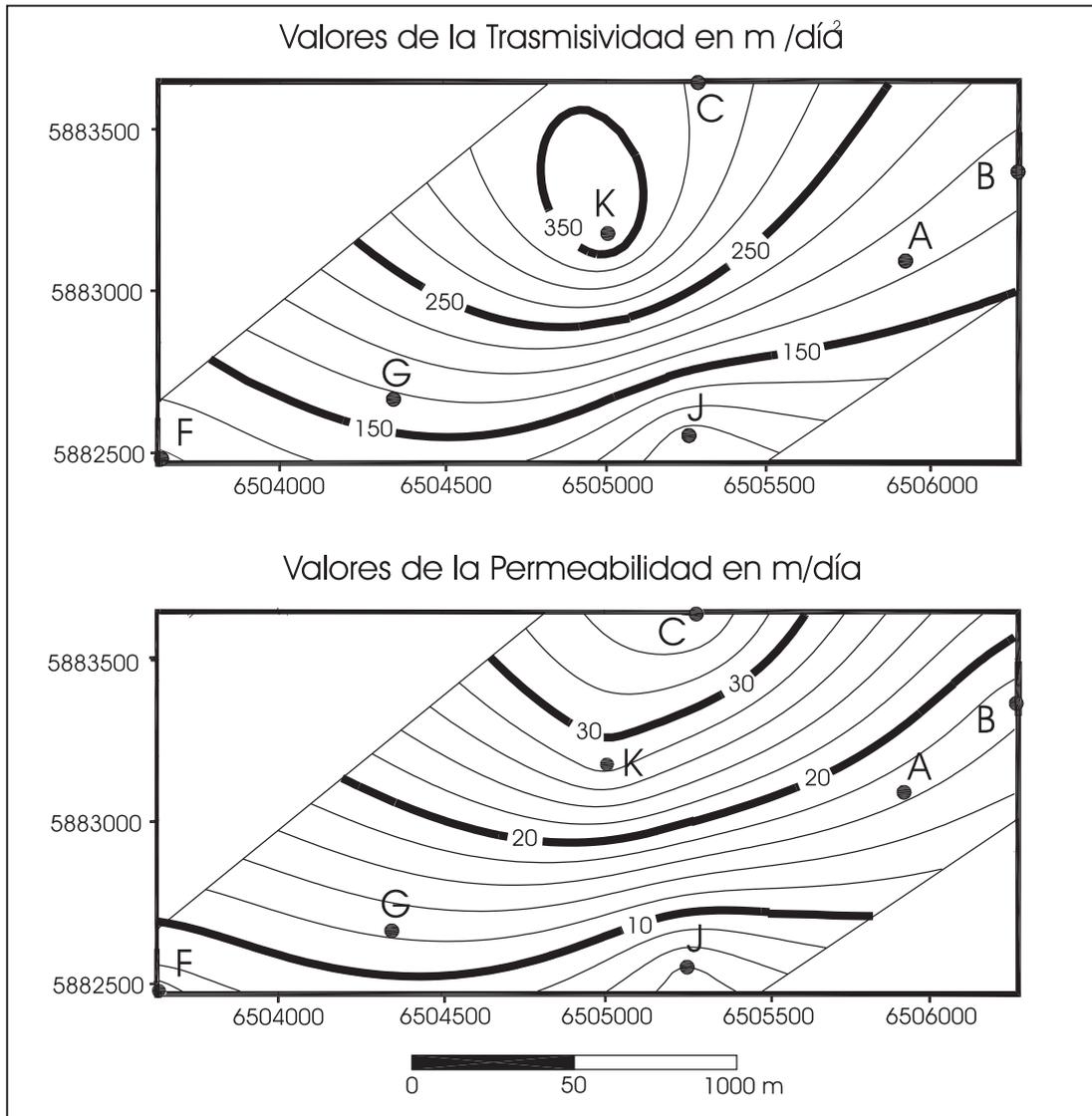


Figura 6. Datos de Trasmisividad ($m^2/día$) y Permeabilidad ($m/día$) integrados.

Figure 6. Transmissivity (m^2/day) and Permeability (m/day) data integrated.

Comparaciones de los Modelos Hidrogeológicos

Partido de La Costa. En la zona de Punta Médanos, en el sector sur del Partido de la Costa, las perforaciones realizadas han revelado de base a techo, sedimentos pertenecientes a la **Fm Pozo N°4**, **Fm Pozo N°10**, **Fm Buenos Aires**, **Fm Pozo N°8**, **Fm Pozo N°17** y **Fm Punta Médanos**. Este desarrollo estratigráfico se describe como un nivel acuicludo o basamento hidrogeológico, por arriba un complejo acuífero semiconfinado, posteriormente un acuitardo acuicludo, y en el tope, un acuífero

freático, los dos últimos dentro de las formaciones holocenas y los dos restantes a las pleistocenas (Fig. 4C). Más al norte, en el subsuelo de San Clemente del Tuyú y Las Toninas, se pudo localizar la **Fm Pozo N°10**, **Fm Buenos Aires**, **Fm Pozo N°8**, **Fm Pozo N°17** y **Fm Punta Médanos**, correlacionados a un nivel acuicludo con niveles acuitardos y acuíferos de alta salinidad, y por arriba el acuífero freático, este último en sedimentos holocenos (González Arzac *et al.*, 1992). En base a este modelo hidrogeológico, se pudo confeccionar un esquema hidrodinámico idealizado de los acuíferos freáticos (González Arzac *et al.*, 1992; Figs. 3A, 4A y 4B).

Partido de Pinamar. En la zona de Pinamar, las perforaciones han revelado en un espesor de 50 m, un acuífero freático (denomina unidad I), y tres acuíferos semiconfinados superpuestos (unidades III, V y VII) y separados entre sí por tres niveles semiconfinantes (unidades II, IV y VI) (González Arzac *et al.*, 1992, Fig. 3B).

En la zona entre Cariló y Villa Gesell, se reconoció un esquema hidrodinámico de amplia variación areal (ver figura 4) donde se han destacado recursos aportados por la denominada "Paleopunta Villa Gesell" (Violante *et al.*, 2001).

Partido de Villa Gesell. Para la zona de Villa Gesell y Mar Azul, Hurtado *et al.* (1987) y Hurtado y Luquez (1987), proponen un esquema hidrodinámico donde individualizan una capa superficial de entre 2 y 5 m de espesor, de arena seca, mediana a fina y con fragmentos de conchilla finamente dividida (Fig. 4D). Por debajo una capa resistiva superior, de 10 a 20 m de potencia, con el acuífero libre y sedimentológicamente similar al anterior pero con niveles de arcilla. Posteriormente una llamada zona de interés, de casi 70 m de potencia con el acuífero semiconfinado con arenas y arcillas intercaladas y una notoria cuña salina hacia el mar. Finalmente en la base, una capa conductiva aún no atravesada (en 1987), marca la interfase agua dulce/salada (Fig. 4D).

Partido de Mar Chiquita. Para la zona de Mar Chiquita, Fasano (1991), propuso un esquema hidrodinámico válido para el sur de Mar Azul hasta Santa Clara (Figs. 3C y 3D). En el perfil de Mar Azul, por debajo de un primer acuífero perteneciente a la **Fm Faro Querandí**, conformada por arenas finas a medianas castaño amarillentas con abundantes conchillas de edad Holoceno Superior-actual, se emplaza la **Fm Campo de la Angostura** en sus facies de barrera y de lagunas exteriores, ambas contenedoras de un segundo acuífero (sobre todo la superior). Son arenas medianas a finas, castañas a castañas grisáceas del Holoceno Inferior. Por debajo, y en discordancia, la **Fm Canal 5** con su **Miembro Arena limosa**, perteneciente a facies de playa, compuesta por arenas finas a limosas, castaño amarillentas a castaño rojizo con rodados de tosca, perteneciente al Pleistoceno y contendría el tercer acuífero (Fig. 3C). El perfil Santa Clara, 35 km al Sur, está representado por la misma formación superficial. Por debajo, la **Formación Mar Chiquita** con su **Miembro Arena Pelítica**, compuesta por arena limosa a limos arenosos castaños grisáceos datados en 3.800 años AP, ambas compartiendo un

primer acuífero. Por debajo el **Miembro Inferior** de la **Formación Santa Clara**, compuesta por limos arcillosos a limos arenosos castaños con tosca. De origen continental, formadas en medios subaéreos y subácueos fluviales, pertenece al Pleistoceno Medio. En ella se encontraría el segundo acuífero. Finalmente está representada la **Fm Canal 5**, con iguales características que más al norte (Fig. 3B).

Las formaciones de los diferentes autores, han sido representadas en la figura 3E.

Por el análisis de las transmisividades y permeabilidad en el área de Cariló, se observó que los pozos permitirían una extracción continua a bajo caudal. Según el análisis de los resultados de los ensayos de bombeo practicados, se estima que los 10 pozos trabajando al mismo tiempo, pueden producir un caudal de por lo menos 20 litros/seg. Por tratarse de pozos ubicados dentro del cordón costero, reciben aportes hídricos de origen pluvial que recarga el acuífero. Aún hoy, a pesar de estar parcialmente antropizado por vegetación introducida y construcciones, este aporte sigue siendo de mucha importancia, ya que los médanos captan agua, y la recarga está uniformemente repartida. Estas consideraciones explicarían la exitosa y sostenida extracción a la que está siendo sometido este acuífero en las ciudades de Villa Gesell y Cariló hasta la fecha. La calidad de los niveles freáticos ha disminuido por la proliferación de pozos negros poco profundos en un ambiente arenoso.

Manejo del recurso y vulnerabilidad

En la zona que nos ocupa existen otros terrenos de interés hidrogeológico que se encuentran hacia el oeste, en terrenos superficialmente correspondientes a la **Fm Buenos Aires** y que constituye el "borde oeste de las cuencas Ajó y Mar Chiquita" (área 5 de la Fig. 1; Parker y Violante, 1989). Si bien estos terrenos no han sido adecuadamente estudiados como proveedores de agua potable no deben descartarse ya que están compuestos por crestas de playas pleistocenas separadas por limos arcillosos impermeables, y ambas unidades cubiertas por mantos de loess de la **Fm Buenos Aires**. Es muy probable que estos terrenos constituyan parcialmente la zona de recarga de los acuíferos semiconfinados que se perforaron en la zona de la barrera medanosa.

Los acuíferos estudiados presentan zonas más vulnerables que otras (González Arzac *et al.*, 1992). Si bien el aprovisionamiento de agua potable puede resultar un problema grave cuando no existen

Modelo sedimentario de la barrera medanosa al norte de Villa Gesell ...

suficientes reservas (por ejemplo Partido de la Costa), el uso indiscriminado de pozos domiciliarios (pozos negros) puede comprometer seriamente los niveles freáticos (por ejemplo Cariló). En una barrera medanosa permeable debe procurarse que el sistema pluvial recargue el acuífero y que el sistema cloacal no contamine los niveles freáticos de recarga. Los municipios deberían preocuparse de monitorear los niveles de contaminación del acuífero con muestreos periódicos y análisis físicos y bioquímicos, no obstante no sea éste el nivel explotado. Además debería enfatizarse en la necesidad de adoptar métodos de prevención de la contaminación y se sugiere la posibilidad de reusar parte del agua en alguna de las diferentes etapas del ciclo hidrológico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1- El modelo sedimentario de la Barrera Oriental de Buenos Aires es el de una barrera compleja (superposición de depósitos de barrera) modificada durante el Holoceno más reciente por un ciclo transgresivo-regresivo y donde aún hoy se pueden localizar procesos transgresivos y regresivos.

2- En la barrera medanosa entre Villa Gesell y Cariló los sedimentos arenosos de interés hidrogeológico (agua dulce) continúan en profundidad superando los 40 m.

3- Durante los meses de verano los parámetros medidos de las propiedades físicas de las aguas subterráneas resultaron normales para los ambientes en que se practicaron las mediciones, no existiendo afectación significativa en las características físicas o químicas de los mismos.

4- La infiltración está repartida uniformemente sobre todo el predio y el flujo del agua subterránea es hacia el mar, con zonas intermedanas donde el freático es una lente que aflora.

5- Dada la baja densidad ocupacional que hay en la zona y los consumos estacionales, los volúmenes aportados por precipitaciones en el área son suficientes para abastecer los días de temporada.

6- Se obtuvo una transmisividad promedio de 206,2 m²/día para los acuíferos libres y de 130,97 m²/día para los semiconfinados. En relación con la permeabilidad promedio se obtuvo 18,23 m/día y 4,19 m/día respectivamente.

7- Se recomienda evitar la sobre-explotación del acuífero con el objeto de preservar las reservas, prevenir conos de bombeo y evitar la intrusión

salina desde el mar.

8- Las reservas hidrogeológicas exceden lo esperado ya que existirían áreas de recarga de agua dulce provenientes de sedimentos pampianos (Fm Buenos Aires) ubicados al oeste de la Ruta 11. Se recomienda la evaluación de estos niveles en terrenos aledaños al predio y si la exploración es positiva se recomienda explotar sólo los niveles semiconfinados. Aún así, se sugiere que se estudie la posibilidad de reusar y/o economizar parte del agua en alguna de las diferentes etapas del ciclo hidrológico.

9- Se ha podido individualizar un acuífero freático presente en todo el ancho del cordón costero. Por debajo, un nivel semiconfinante horizontal, de espesores variables, sobrepuesto a un segundo acuífero de tipo semiconfinado. Este segundo nivel semiconfinante de base generalmente plana y techo irregular se superpone a un tercer acuífero semiconfinado cuyo piso no pudo ser alcanzado.

Agradecimientos. El trabajo se realizó a través de un convenio oportunamente suscrito entre Port Dorá S.A. y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Universidad Nacional de Mar del Plata). Los autores agradecen al Ingeniero Raskosky del Municipio de Villa Gesell por facilitarnos material inédito sobre las aguas subterráneas de esa localidad, a la Técnica Sra. Susana Serra por las tareas de laboratorio sedimentológico, al Cárt. M. Farenga por el relevo y los mapas base, al Sr. Roig por su impecable logística y sobre todo al Arq. Fernando Vilariño por las tareas de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castany, G., 1971. *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Omega Editora, Barcelona. 206 pp.
- Caviglia, F., J. Pousa y N. Lanfredi, 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. *II Congreso de Ciencias de la Tierra*. Santiago de Chile, Chile. Memorias: 413-422.
- Harbaugh, J. y G. Bonham-Carter, 1970. *Computer simulation in Geology*. Wiley Interscience, 575 pp.
- Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1990. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires. Tomo II, *Geología y Geomorfología*. 125 pp.
- Dangavs, N. V., 1983. Geología del Complejo Lagunar Salada Grande de Gral. Lavalle y Gral. Madariaga, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38 (2) :31-35.
- Fasano, J., 1991. *Geología y Geomorfología de la Región III: Faro Querandí-Mar de Cobo, Provincia de Buenos Aires*. Convenio CGCC-UNMdP y CFI, 250 pp.

- Folk, R. y W. Ward, 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27 (1): 3-26.
- González Arzac, R., A. Vizcaíno y F. Campos Alfonso, 1992. Acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires. Sector: Punta Rasa – Punta Médanos. Parte 1 Hidrogeología – Hidrodinámica e Hidráulica. *Consejo Federal de Inversiones*, Buenos Aires. 37 pp.
- Hurtado, H. y J. Luquez, 1987. Evaluación hidrogeológica el área Sur de crecimiento urbano de la ciudad de Villa Gesell. Informe inédito *INCYTH*, Ezeiza. 17 pp.
- Hurtado, H., E. Meleguer y N. Werner, 1987. Prospección hidrogeológica por métodos geoelectrónicos en el acuífero de Villa Gesell. Aplicación del programa CORTES. *Convenio INCYTH-Municipio de Villa Gesell*, Ezeiza. 31 pp.
- Isla, F., 1995. Efectos de tormentas sudestadas en el litoral bonaerense durante 1993, Argentina. *IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*, Mar del Plata. Actas: 111.
- Isla, F., 1997. Procesos de canibalización de la barrera medanosa entre Faro Querandí y Mar Chiquita, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52 (4):539-548.
- Isla, F., 1998. Uniformitarismo transgresivo o regresivo? *Boletín Paranaense*, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, Brasil., 46 :165-174.
- Isla, F., G. Bértola, M. Farenga y L. Cortizo, 2001. Morfodinámica y balance sedimentario de las playas del Partido de Pinamar (1995-1999), Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54 (2): 150-160.
- Lakhan, V. y A. Trenhaile, 1989. Applications in coastal modeling. *Elsevier Oceanographic Series* 49: 387 pp
- Lohman, S., 1977. Hidráulica Subterránea. *Editorial Ariel*. 191 pp.
- Parker, G. y R. A. Violante, 1989. *Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa – Faro Querandí. Provincia de Buenos Aires*. Convenio Consejo Federal de Inversiones y Servicio de Hidrografía Naval, Informe final. 110 pp.
- Schmidt, S. y N. Lanfredi, 1979. Transporte de arena por viento en el área de Punta Médanos. *Servicio de Hidrografía Naval*, Armada Argentina. 35 pp.
- Schnack, E., J. Fasano y F. Isla, 1982. The evolution of Mar Chiquita Lagoon Coast, Buenos Aires Province, Argentina. En: Colquhoun (Ed.), *Holocene Sea Level Fluctuations: Magnitude and Causes*. University of South Carolina, Columbia, USA: 143-155.
- Spalletti, L. y M. Mazzoni, 1979. Características granulométricas de arena de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34 (1): 12-30.
- Teruggi, M., 1959. Las arenas de la costa de la Provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca. *Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigación Tecnológica* 2 (77): 1-37.
- Vilwock, J. y L. Tomazelli, 1995. *Geología costeira do Rio Grande do Sul*. Notas técnicas 8, CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre: 1-45.
- Violante, R., 1988. Geología de la Planicie Costera entre Villa Gesell y Faro Querandí, Provincia de Buenos Aires. *Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata*, Tesis Doctoral. 221 pp. (inédito).
- Violante, R. y G. Parker, 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior – Holoceno en la llanura costera al sur de Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47 (2): 215-228.
- Violante, R., G. Parker y J. L. Cavallotto, 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (1): 51-66.
- Werner, N., 1988a. Informe preliminar sobre la correlación de perfilajes eléctricos de perforaciones en el Municipio de Villa Gesell, Pcia. de Buenos Aires. *Convenio INCYTH-Municipio de Villa Gesell*, Ezeiza. 14 pp. (inédito).
- Werner, N., 1988b. Prospección hidrogeológica por métodos geoelectrónicos en la zona sur del Municipio de Villa Gesell, Pcia. de Buenos Aires. *Convenio INCYTH-Municipio de Villa Gesell*, Ezeiza. 54 pp. (inédito).

Germán R. BÉRTOLA

Federico I. ISLA

Luis C. CORTIZO

Horacio A. TURNO ORELLANO

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario

Universidad Nacional de Mar del Plata

(CONICET-UNMDP)

C.C. 722

7600 Mar del Plata

Buenos Aires

Argentina

E-mail: gbertola@mdp.edu.ar

isla@mdp.edu.ar

lcortizo@mdp.edu.ar

hturno@mdp.edu.ar

Recibido: 8 de agosto de 2001.

Aceptado: 15 de abril de 2002.