

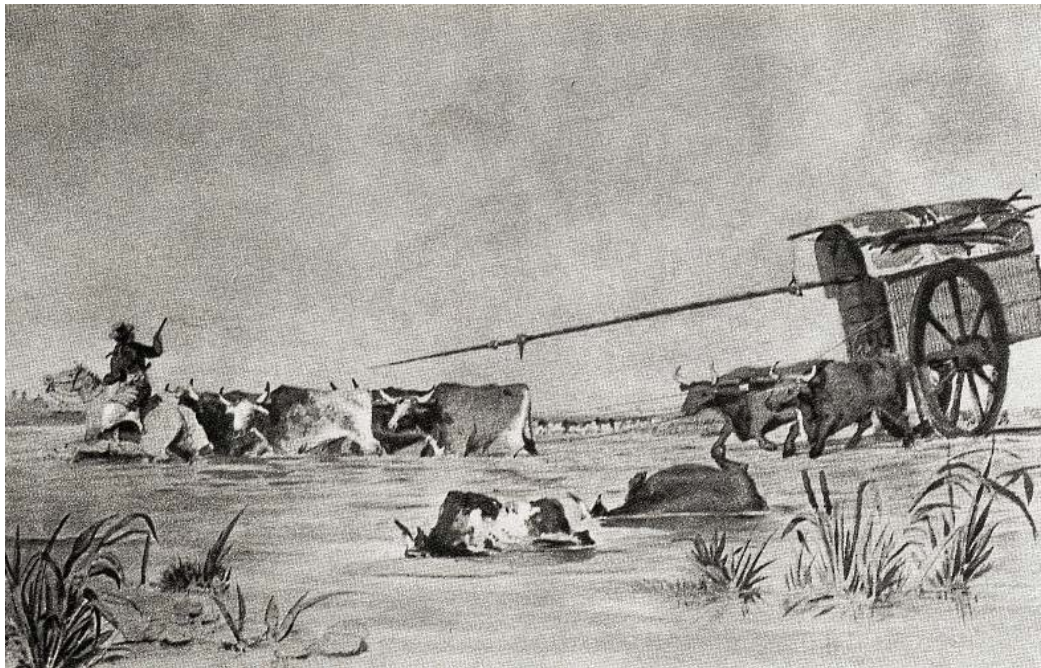


Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

ASPECTOS Y CRITERIOS GENERALES PARA LA MITIGACIÓN DEL ASCENSO FREATIMÉTRICO EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES

RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN ANTECEDENTE
Informe Final



Autores: Dr. Adrián Silva Busso y Javier Masú
Año: 2012



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

ÍNDICE

1.- GENERALIDADES

- 1.1 Resumen
- 1.2. Objetivos

2. METODOLOGIA

- 2.1. Recopilación de antecedentes geológicos e hidrogeológicos
- 2.2 Cartografía Hidrogeológica.
- 2.3 Características de la Información obtenida sobre Aguas Subterráneas

3. ASPECTOS FÍSICOS DEL AMBIENTE

- 3.1- Caracterización geológica del área de interés
 - 3.1.1- Geología
 - 3.1.2- Caracterización geomorfológica
 - 3.1.3- Características edafológicas
 - 3.1.4. Características hidrogeológicas

4.- MODELO HIDROGEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

- 4.1.- Aspectos sobre la piezometría del acuífero freático
- 4.2.- Aspectos sobre la recarga del acuífero freático
- 4.3 Modelo de anegamiento/recarga del acuífero freático

5. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL ANEGAMIENTO Y/O ASCENSO DEL NIVELES FREATIMÉTRICOS

- 5.1.- Relación entre reclamos y cuencas superficiales
- 5.2 Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas fluviales
- 5.3. Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas interfluviales

6.-CONCLUSIONES

7.- RECOMENDACIÓN

8- BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. Cartografía Temática



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

1.- GENERALIDADES

1.1 Resumen

Este estudio constituye fundamentalmente una aproximación a los criterios metodológicos que son útiles en la elaboración de planes de mitigación gestión y control de los procesos de anegamiento y/o recuperación de los niveles freáticos. El mismo no aporta información novedosa a este respecto, sino que, sobre la base de la información antecedente de estudios regionales o parciales busca establecer un nivel de comprensión conceptual sobre este proceso.

La información previa consiste fundamentalmente en estudios hidrogeológicos descriptivos de las características hidrodinámicas del acuífero libre en diferentes momentos o en sitios específicos. Aquí se ha empleado dicha información y se ha intentado relacionar con aquella asociada con aspectos geomorfológicos, geológicos y geotécnicos, no para diseñar un plan de gestión o mitigación, sino para establecer criterios que permitan determinar que información es necesaria aún para alcanzar dicho objetivo.

Se ha observado que la relación de la ubicación de los reclamos vecinales con las zonas fluviales (inundables o no) e interfluviales ofrece una marcada correlación en los procesos de anegamiento y/o recuperación. Esto plantea dos áreas con diferentes características que deben ser estudiadas y conceptualizadas de forma discriminada intentando proponer una solución adecuada a cada caso.

1.2. Objetivos

El objetivo principal es realizar un diagnóstico global de la situación relacionada con el ascenso de la superficie freática (napas) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y elaborar un conjunto de criterios que permitan dar los primeros pasos tendientes a la mitigación de los problemas relacionados con la recuperación de niveles freáticos, cumpliendo con lo expuesto en el anexo determinado en el convenio GCABA-FFyL UBA para este estudio.

El mismo se basa fundamentalmente en la recopilación y análisis de los datos disponibles para realizar recomendaciones que permitan identificar áreas de relevancia en el ascenso freático del área que pertenece a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Considerando que la relación entre diversos factores ambientales y antrópicos producen cambios en la hidrodinámica subterránea, como la depresión y recuperación de niveles freáticos en extensas zonas afectadas contribuyendo al deterioro de los acuíferos de la región y favoreciendo el anegamiento de zonas urbanas, se estableció las siguientes observaciones, conclusiones y recomendaciones.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

2. METODOLOGIA

2.1. Recopilación de antecedentes geológicos e hidrogeológicos

La recopilación bibliográfica ha consistido en el análisis de las publicaciones regionales más importantes de los últimos treinta años, y si bien la geología e hidrogeología regional han sido objeto de numerosos estudios, la evolución de la hidrodinámica ha sido realizada en bases a información muy dispersa y fragmentaria en el tiempo y el espacio. La mayor parte de dicha información de base no ha sido posible de recuperar plenamente, por lo tanto se considerará que la información integrada es válida en el contexto y en el momento que se realizó.

2.2 Cartografía Hidrogeológica.

La cartografía hidrogeológica se ha integrado digitalizando y correlacionando la información proveniente de los estudios del EASNE (1972), Auge y Hernández, (1984), Santa Cruz *et. al.*, (1996), Santa Cruz y Silva Busso (2002), Auge (2004), Pereyra (2005), el Atlas Ambiental de Buenos Aires ítem hidrología e hidrogeología (Silva Busso y Gatti, 2007) y el Informe del INA sobre el acuífero freático (Coriale *et.al*, 2010). La elección de estos estudios es porque se consideran confiables y representativos para el momento y periodo en que han sido realizados.

La cartografía hidrogeológica elaborada es escasa; se han incluido algunos mapas parciales a partir de la Comisión Cuenca del Matanza-Riachuelo y del estudio de Varas *et.al*, (2011). Estos deben considerarse como información puntual o aislada de la problemática contextual del Ciudad Autónoma de Buenos Aires ya que no existe forma de validar la misma. En el caso en que fue posible acceder a la información de base de dichos estudios se ha integrado al presente trabajo.

2.3 Características de la Información obtenida sobre Aguas Subterráneas

Debe considerarse que la ejecución de este estudio atendió principalmente a la búsqueda e integración de información y datos preexistentes y que no se ha realizado ningún estudio de base, trabajo de campo u obra como apoyo a la investigación. Por lo tanto debe tenerse presente que la información aquí integrada, originalmente ha sido tomada con otros fines y en algunos casos muy diversos. Los aspectos más desfavorables de la información obtenida son en relación al conocimiento específico del Recurso Agua Subterránea y puede resumirse según:

- ✓ Escasa documentación y difusión del conocimiento de la misma.
- ✓ En algunos casos, escasa garantía sobre el origen de los datos.
- ✓ Falta de sistematicidad en al toma de los datos.
- ✓ Datos insuficientes y dispersos en espacio y tiempo.
- ✓ Inadecuada conservación, almacenamiento y acceso de la información pública y privada.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- ✓ No existe un criterio metodológico e hidrogeológico en la toma de datos, muestreo, análisis y su posterior archivo y elaboración.
- ✓ Ausencia de una adecuada gestión moderna e informatizada de la información.
- ✓ Falta de una visión integrada en un modelo hidrogeológico de comportamiento del acuífero libre contenido en los sedimentos Pampeanos y Post-pampeanos.
- ✓ Enfoque hidrogeológico que emplea criterios típicos de problemas productivos o de abastecimiento más que a problemas ambientales

Consecuentemente con lo expuesto, existen dos aspectos relacionados con la problemática de la información que merecen una consideración independiente. La primera es el problema del georeferenciamiento de la información tanto documental que sigue siendo en las coordenadas catastrales de la Ciudad, motivo que dificulta relacionar el estudio con datos perimetrales a la misma. La ubicación catastral no es un método fiable para la ubicación de puntos de muestreo, pozos o piezómetros, no sólo por la ambigüedad y variabilidad de la misma, sino porque es la única forma de georeferenciamiento a partir de métodos de observación, combinando dichos datos con diferentes mapas poco precisos hasta llegar a un valor de coordenadas geográficas. Por lo tanto se sugiere que la cartografía emergente de esta información se considerada bajo estos aspectos.

La segunda es que la mayor parte de la información documental puede considerarse que se concentra en la última década. La información restante o previa ni siquiera no parece haberse integrado. Además, la dispersión y asimetría de la información se evidencia en que la información dominante procede del Acuífero Puelches y en raras oportunidades se distingue entre esta y la tomada del Acuífero Pampeano o post-pampeano al que apenas se hace referencia y es donde se aloja el acuífero libre. En rigor, no existe un estudio específico de las características acuíferos de los Acuíferos contenidos en Sedimentos Pampeanos y Post pampeanos.

Es por estas razones que las imprecisiones que puedan surgir a partir de la cartografía temática son consecuencia de lo expuesto, y la información disponible ha sido preparada o reinterpretada para la finalidad de este estudio.



3. ASPECTOS FÍSICOS DEL AMBIENTE

3.1- Caracterización geológica del área de interés

3.1.1- Geología

La geología de subsuelo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires pertenece, a escala regional, a la cuenca Chaco Paranaense cuyos límites en Argentina se extienden hacia el norte: Paraguay y Formosa; hacia el este: Mesopotamia y el Océano Atlántico, mientras que hacia el sur está delimitado por el río Colorado y al oeste por las Sierras Subandinas y Pampeanas.

La estratigrafía de la zona puede observarse en la transecta Noroeste – Sudeste de la Figura 1. Cada una de las unidades estratigráficas se relaciona con las unidades hidrogeológicas, las cuales se caracterizarán con mayor detalle en el apartado 4. A continuación se describirá la estratigrafía desde las unidades más antiguas a las más modernas.

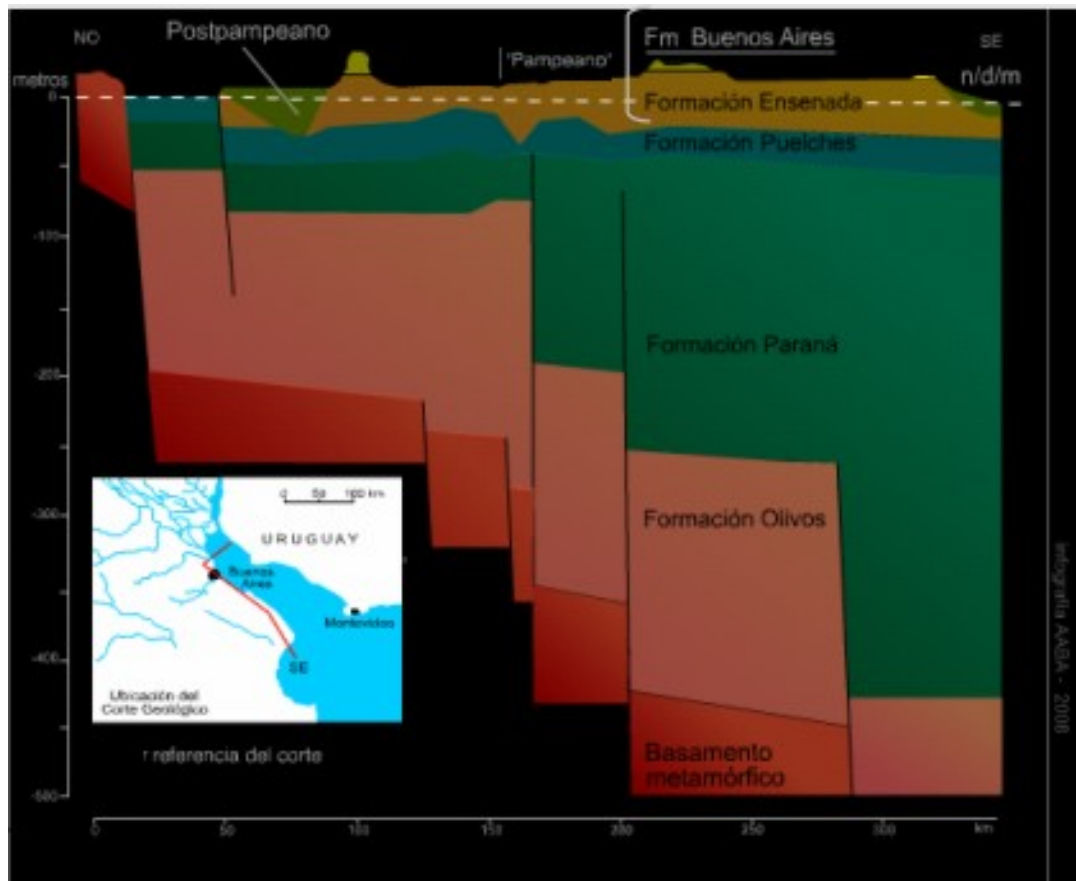


Figura 1. Corte estratigráfico regional del sector Noreste de la provincia de Buenos Aires (tomado del Atlas Ambiental Ciudad de Buenos Aires).

Formación Martín García

Esta formación constituye el basamento cristalino de la cuenca, también denominado Basamento Metamórfico (Fig. 1). El mismo se compone de rocas ígneas y metamórficas de grado intermedio (micasquistos), cuya edad fue estimada en más de 2.100 millones de años (Dalla Salda, 1999). Aflora en la



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Isla Martín García, donde se manifiesta aflorando en la mayor parte de la misma, y en las Sierras de Tandil.

Los espesores atravesados por distintas perforaciones. La Perforación Riachuelo 3, situada en Puente La Noria (SNM, 1965) atraviesa la Formación Martín García a partir de 404 mbns (metros bajo nivel de superficie) y está formada por aplita y gneis grisáceos muy esquistosos con vetas aplíticas. En otros puntos se ubicó a 301 mbns en Bartolomé Mitre y Paraná (Iglesia La Piedad), a 291 mbns en el Jardín Zoológico y a 486 mbns en la ciudad de La Plata, marcando un fuerte hundimiento hacia la cuenca del río Salado, al sur de la zona de estudio. En la Bahía de Samborombón se lo estima a 6,5 km de profundidad, a partir de prospección sísmica.

Formación Olivos (Gröeber, 1961)

Se compone esencialmente por areniscas muy finas con cemento arcilloso y calcáreo de color pardo rosáceo. Son de dureza variable, dependiendo de la proporción silícea cementante y el grado de alteración (Gröeber, 1961).

Se la conoce también a esta unidad, informalmente, con la denominación de Mioceno “Rojo” o “El Rojo” y la misma se emplaza por debajo de la Formación Paraná a partir de una discordancia erosiva.

Su ambiente depositacional es de tipo continental, de origen preferentemente eólico y/o lagunar, aunque la presencia de arenas medianas y gruesas indica una importante participación fluvial. La existencia de abundante yeso distribuido a lo largo de todo el perfil, permite interpretar una condición de marcada aridez durante su sedimentación.

Se describe en el perfil de la Perforación Riachuelo 3, situada en Puente La Noria (SNM, 1965), donde esta unidad se extiende entre 115 y 404 mbbp de profundidad. En la sección inferior predomina la fracción arena, entre 229 y 404 mbbp (metros bajo boca de pozo) con areniscas y areniscas arcillosas, rojizas y amarillentas, yesíferas y calcáreas. En la base se presenta un conglomerado basal, rojizo, con matriz areno-arcillosa y abundante yeso. La sección superior (de 115 a 229 mbbp) es predominantemente arcillosa (arcillas pardo rojizas, compactas, fragmentosas, calcáreas y yesíferas).

Formación Paraná (D`Obrignie, 1842)

También conocida informalmente como “El Verde” o como “Arcilla Verde azulada” por los perforistas de la región metropolitana. Esta formación está constituida por niveles de arcilitas, arcilitas-arenosas y arenas, así como también calcáreos fosilíferos. Las tonalidades son fuertemente verdosas en las secciones arcillosas y blanquecinas a grisáceas en las arenosas. Las arcillas basales son muy plásticas, de color gris verdoso, gris azulado y con estratificación laminar. Se superponen arcillas más arenosas, verde amarillentas con bancos delgados con alto contenido de bivalvos. Continúan arenas arcillosas con bancos de ostras cubiertos por bancos de arena silícea. Hacia el techo se compone de importantes bancos calcáreos arenosos compactos. La base es de tipo discordante sobre la Formación Olivos. Su



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

ambiente depositacional de tipo marino está evidenciado por la presencia de abundantes fósiles.

La ingesión del Mar Paraniense ocupó un sector importante de la Argentina y la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, quedando emergentes los ámbitos serranos de Tandilia y de Ventania y la depresión interserrana entre ambos. El Paraniense se caracterizó por ser un mar de poca profundidad, menos de 100 m (Yrigoyen, 1993). Su edad es discutida entre el Mioceno inferior (20.106 años) y el superior (10.106 años). En la Perforación Riachuelo 3 situada en Puente La Noria (SNM, 1965)), la Formación Paraná se extiende entre 52 y 115 mbbp, con predominio de arcillas en el 70% de la sección.

Formación Puelches (Döering, 1882)

Corresponde a sedimentos de origen fluvial, de granulometría arenosa en la base y más limosa y arcillosa hacia el techo de la secuencia. Los niveles arenosos denominados arenas basales, arenas Puelches o más modernamente Formación Puelches (Santa Cruz, 1972) son arenas cuarzosas, maduras de colores amarillentos a grisáceos o blanquecinos, de grano fino a mediano, con intercalaciones de gravillas y rodados en sus niveles inferiores. Los niveles poseen estratificación gradada, con aumento de tamaño hacia la base donde suelen presentarse arenas gruesas y hasta gravillas.

Arealmente se extiende en forma discontinua en el subsuelo del noreste de la provincia de Buenos Aires, abarcando una superficie de unos 83.000 km² y alcanzando hacia el sur, la cuenca del Salado (Santa Cruz, 1972; Auge *et al.*, 1983, Auge *et al.*, 2002). Hacia el oeste penetrarían en el partido de 9 de Julio engranando con sedimentos del araucanense y hacia el norte siguiendo la línea aproximada de las lagunas Gómez y Mar Chiquita e internándose en las provincias de Santa Fe y Córdoba. Hacia el suroeste también interdigitan lateralmente con sedimentos más finos, limos y arcillas rojizas con frecuentes intercalaciones de niveles yesíferos y calcáreos denominados Araucanos (Santa Cruz y Silva Busso, 1996).

Regionalmente presenta profundidades variables: entre 40 mbbp en las cercanías del río Paraná, y a más de 100 mbbp en Pergamino, y 120 mbbp en Junín. Sus espesores son muy variables, especialmente el cuerpo de arena, pudiéndose considerar valores más comunes entre 20 y 35 m con espesores mayores en algunos puntos. Hacia el tope su relación con los sedimentos Pampeanos es de tipo discordante erosiva.

El mapa de la figura 2 presenta las cotas del techo de la Formación Puelches en la zona metropolitana de Buenos Aires realizados por Santa Cruz *et al.*, (1996) donde se observa una profundización del techo de la formación en la zona centro-este de la ciudad y un gradual aumento de la profundidad hacia el oeste. Se identifican en el las zonas erosivas donde se desarrollaron los paleocauces del paleo-matanza desde el pleistoceno hasta la actualidad.

El mapa de la figura 3 presenta las cotas de la base de la Formación Puelches en la zona metropolitana de Buenos Aires realizados por Santa Cruz *et al.*, (1996) donde se observa una profundización más regular hacia el sudoeste y relativamente somera en las zonas costeras de la ciudad de Buenos Aires y sin cambios en casi todo su territorio (con cotas entre -40 y -45 msnm).



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología
silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

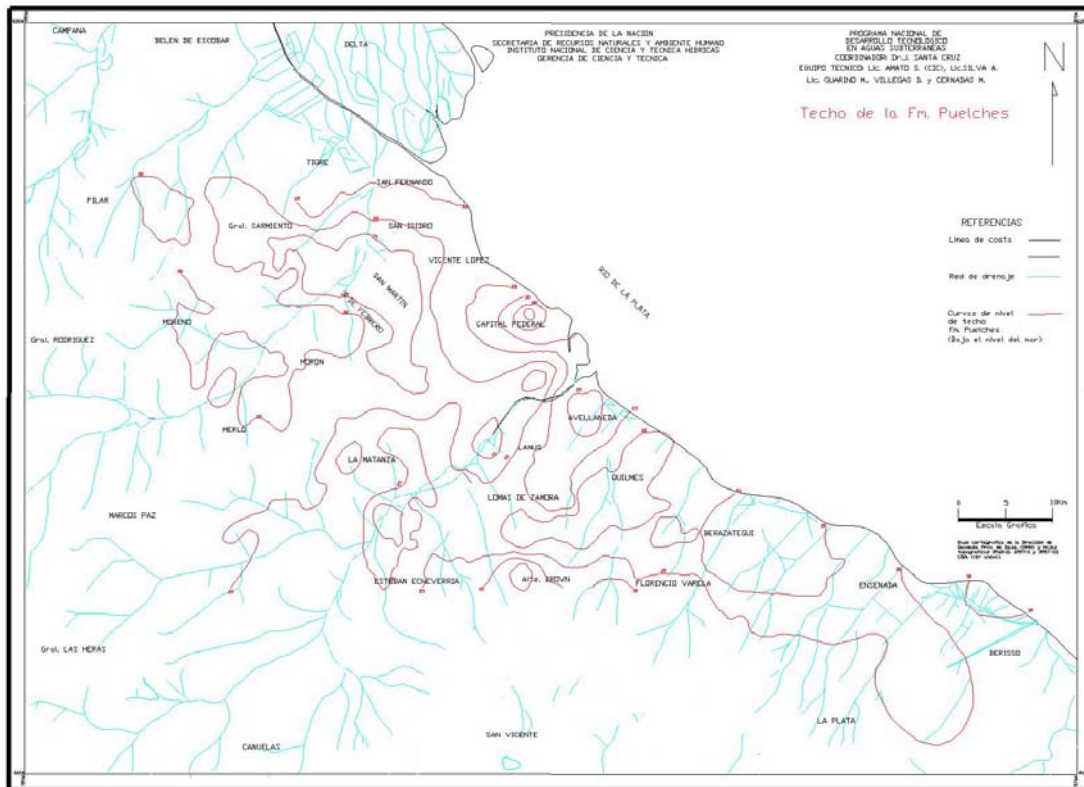


Figura 2. Mapa del techo de la F Puelches (Santa Cruz et.al., 1996).

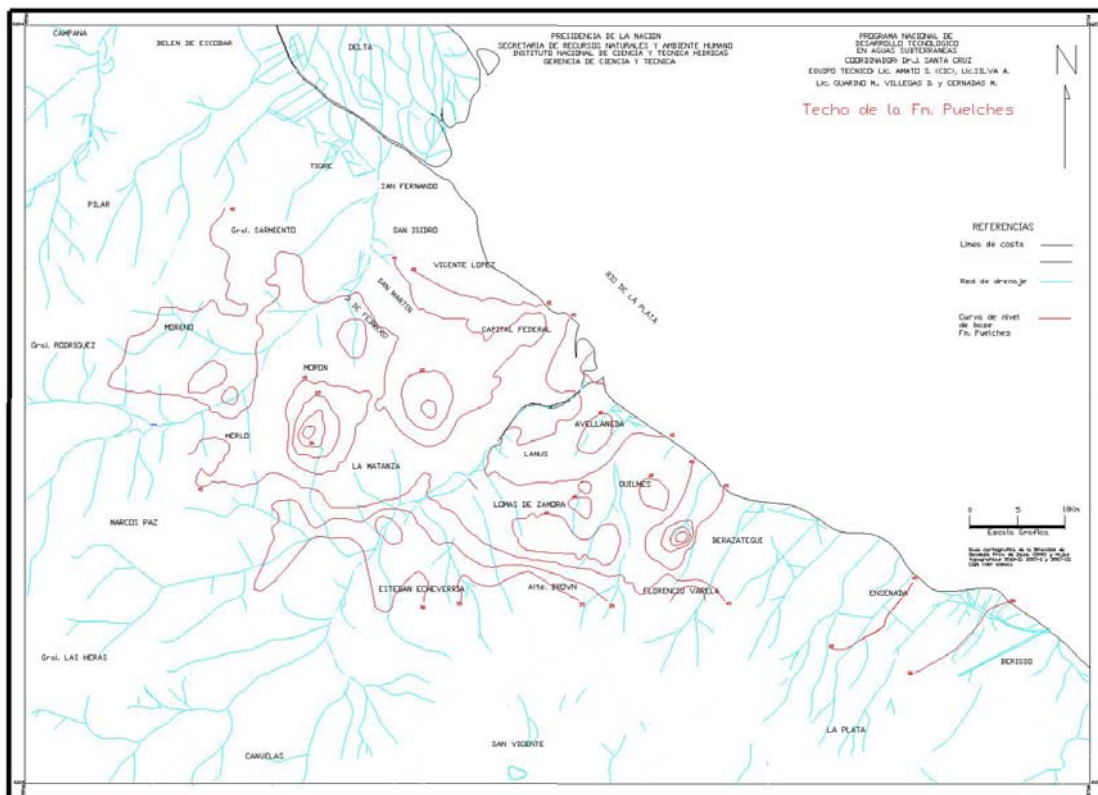


Figura 3. Mapa de la base de la F Puelches (Santa Cruz et.al., 1996).

La Formación Puelches se divide en dos miembros uno arcilloso (superior) informalmente denominado “arcillas puelches” o “arcillas gris-



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

blanquecinas” por su color; y la fracción psemitica que contribuye el verdadero acuífero e informalmente se las conoce como “Arenas Puelches”. Auge (2004) define el techo y base de este miembro “Arenas Puelches” para la zona de la ciudad que puede observarse en las figuras 4 y 5.

La Figura 4 (Auge, 2004) demuestra la existencia de una suave profundización del tope del Puelches hacia el Río de la Plata, que gradada de valores de -15 m en el extremo suroeste de la ciudad, a -25 m en las cercanías de la ribera del estuario, con una inclinación de $1,2$ m/km. En la Figura 5 se observa la base de la Formación Puelches (Auge, 2004), la cual se asienta a partir de una discordancia erosiva sobre la unidad infrayacente, Formación Paraná. Las cotas de la base varían entre -40 m en el sector sur de la ciudad y -55 m en el sector noreste (ribera del Río de la Plata).

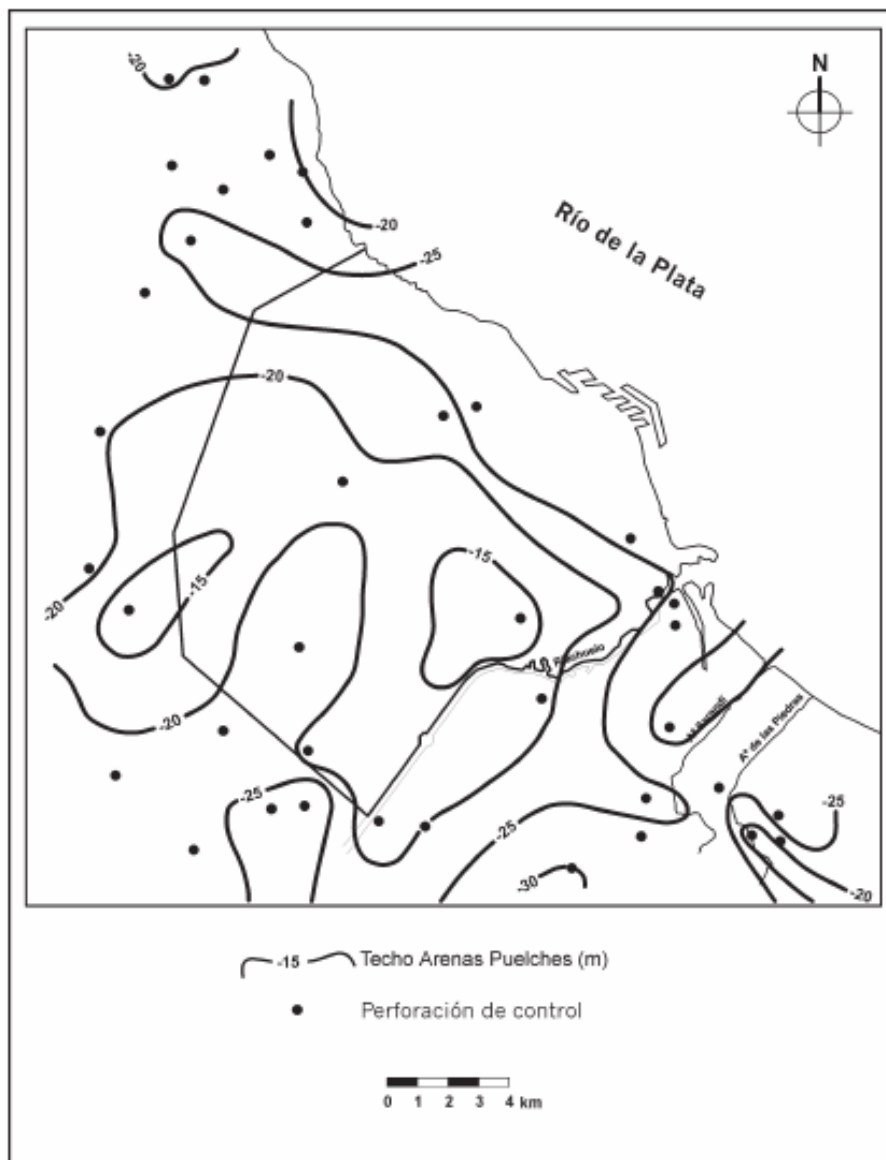


Figura 4. Mapa estructural del tope de las “Arenas Puelches” (Auge, 2004).



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

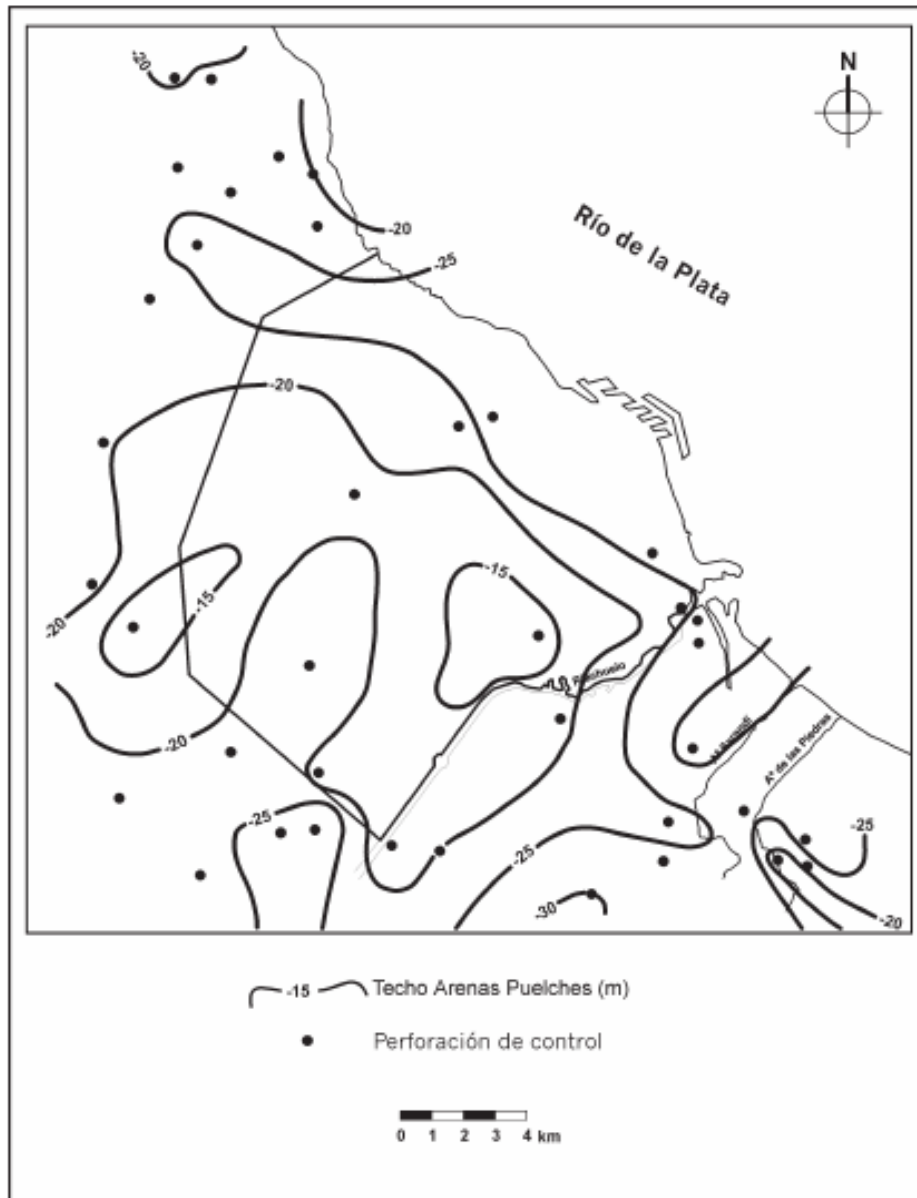


Figura 5. Mapa estructural de la base de las "Arenas Puelches" (Auge, 2004).

Como sucede con el techo, también la base de las Arenas Puelches inclina hacia el noreste, pero con un gradiente relativamente mayor (1,5 m/km). Este gradiente es similar al topográfico siguiendo la antigua traza del arroyo Maldonado, que es de 1,4 m/km. El ambiente depositacional corresponde a un protodelta, que se extendió más al suroeste que el delta actual y su edad es Pliocena superior al Pleistoceno inferior.

Sedimentos Pampeanos - Formación Buenos Aires y Formación Ensenada (Frenguelli, 1955 y Bonrino, 1965)

Los "Sedimentos Pampeanos" o "Pampeano" corresponden a una denominación informal que agrupa a las Formaciones Ensenada, más antigua, y Buenos Aires, más reciente (Frenguelli, 1955), la cual se utiliza debido a la similitud entre ambas. La diferencia está dada por la resistencia a las cargas o



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

presiones. La Formación Ensenada conforma un suelo más resistente y por lo tanto más apto para fundaciones que la Formación Buenos Aires, debido a su mayor concentración en CaCO_3 formando calcretes carbonáticos (denominados informalmente como tosca). La Formación Buenos Aires posee una estructura más abierta debido a su origen eólico y a su menor grado de diagénesis.

Litológicamente ambos están constituidos por limos arenosos algo arcillosos de color castaño con tonalidades amarillentas a rojizas, con frecuentes intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o estratiformes (tosca). En el caso de la Formación Buenos Aires es limosa más arenosa y permeable. Los dos unidades presentan abundantes plagioclasas mesosilícicas y básicas, seguidas por feldespatos potásicos alterados. El cuarzo raramente alcanza el 20 % en la fracción arena, el vidrio volcánico es más abundante en las intercalaciones tobáceas. Dentro de los máficos predominan los anfíboles, piroxenos y por magnetita titanífera (Teruggi, en Frenguelli, 1955).

Abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana. En las vaguadas de las cuencas hidrográficas principales (Matanza, Reconquista, Luján), el Pampeano no se encuentra presente debido a la erosión fluvial desarrollada durante la última glaciación. Luego el Pampeano es cubierto por el Postpampeano en el periodo de desglaciación posterior. Por lo tanto su espesor es muy variable, desde hallarse ausente en las zonas mencionadas con erosión fluvial hasta unos 45 m en el sector noroeste de la ciudad, donde la cota topográfica es de 20 m. Paterlini et.al. (1992) determinaron a partir de perfiles litoestratigráficos de perforaciones y sísmica de alta resolución en el Estuario del Plata la existencia de afloramientos en el lecho, los cuales se identifican como los Sedimentos Pampeanos y los correlacionaron con las Formación Libertad en las costas Uruguayas.

Su ambiente depositacional se corresponde con sedimentos transportados por el viento desde la cordillera (ya emergida para el Pleistoceno en el sector oeste) hasta el Atlántico que permitían la depositación del conocido loess pampeano. Este depósito, constituido por polvo y trizas vítreas de los volcanes cordilleranos, fue posteriormente retrabajado incesantemente por ríos, arroyos y pequeños cursos de agua redepositándolos en cauces y planicies costeras, hasta la actualidad.

La edad que se le asigna a estos depósitos en conjunto es Pleistocena – Holocena (entre 2 Ma - 10.000) aceptándose a la Formación Ensenada como pleistocena y la Formación Buenos Aires más moderna (Holoceno). Esta unidad se caracteriza por mantener sus paredes verticales en cortes y perforaciones así como contener al denominado Acuífero Epipelches (Sala y Auge, 1970).

Los Sedimentos Pampeanos hidráulicamente se comportan como un acuífero de baja a media productividad, componiendo en su sección saturada el Acuífero Pampeano (Auge, 1990).

Sedimentos Postpampeanos (Bonorino, 1965)

Se denomina con este término genérico a los depósitos de diferente origen depositacional (fluvial, eólico, marino, lacustre) y que son más modernos



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

que los denominados “Sedimentos Pampeanos” abarcando una edad Pleistocena Superior-Holocena (Fidalgo *et al.*, 1975).

Debido a la dificultad que implica su diferenciación litológica y estratigráfica se las suele agrupar en la unidad informal denominada Postpampeano (pero no con categoría de grupo) y suele incluir entre las unidades más emblemáticas a las unidades continentales de la Formación Luján (Edad Lujanense) y Formación La Postrera (edad Platenese) y las unidades marinas Formación Las Escobas (Edad Platense) y Dto. Río Salado (Querandinense). Dado que la identificación de los niveles marinos del resto es más sencilla (litología, color y fósiles) es frecuente en la bibliografía encontrar términos como Formación Querandí o “Mar Querandino” e incluso Querandinense de difuso esclarecimiento en la estratigrafía local. En una u otra medida, estas unidades se hayan presentes en al zona de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en áreas de cota topografía menor a 5 msnm o en la planicie de inundación del Río Matanza-Riachuelo.

En este contexto la Formación Luján es la más antigua. La misma es de origen fluvio-lacustre y su génesis es consecuencia del ascenso del Océano Atlántico durante la última deglaciación, hace unos 10.000 años. La Formación La Postrera es de difícil identificación dado su espesor, distribución y grado de urbanización de la ciudad, pero se la reconoce como niveles eólicos modernos de arenas muy finas y limo (probablemente correlacionable con al Formación Junín del oeste de la provincia de Buenos Aires).

Las unidades geológicas denominadas “Querandinense” o “depósitos del mar Querandino” y Formación Querandí, son en general más modernos (6.000-8000 años al presente) son de origen marino asociado a una ingresión y regresión que alcanzó hasta la cota aproximada de 5 msnm, consecuencia de la última deglaciación que elevó el nivel del mar en dicha magnitud por encima del actual. Así se diferencian dos términos formacionales. La inferior denominada Formación Dto. Río Salado está definido por sedimentos arcillosos y arenosos finos, de tonalidades grises oscuras y verdosas oscuras. Hacia el techo de la secuencia y sobreimpuesta a esta se observan los cordones de conchillas de facies regresivas que se denominan Formación las Escobas de edad Platense. En la zona del litoral del Río de la Plata ocupa las llanuras de inundación de los ríos Matanza-Riachuelo, Reconquista y Luján, y la planicie costera del Río de la Plata y luego se definirá en detalle para el área metropolitana. Tal como menciona Auge (2004) el Postpampeano en la CABA se restringe a la cuenca del Matanza - Riachuelo y a la Terraza Baja registrando espesores de 26 m en Puente Alsina (SMN, 1965), 33 m en Puente Pueyrredón (SMN, 1965) y 38 m en Puente La Noria (SMN, 1965).

Los trabajos realizados por Seoane Boracier (2003) son de mayor alcance regional dado que realiza numerosos perfiles geológicos con el fin de observar el comportamiento depositacional de las distintas unidades geológicas. En la Figura 6 se muestra la ubicación de los perfiles que utilizó el autor mencionado y que atraviesan la zona de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En los perfiles (Figuras 7 y 8) se observa la tendencia a acuñarse hacia la zona de la costa. Las Unidades del Pampeano presentan espesores medios de 35 - 40 m, (superiores a los de la Formación Puelches). En el partido de Avellaneda, al sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en las proximidades al Valle del Río Luján los Sedimentos Pampeanos se acuñan por



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

debajo de los Sedimentos Postpampeanos, por lo tanto, en los perfiles A y D se puede observar el contacto entre la Formación Puelches y los Sedimentos Postpampeanos.

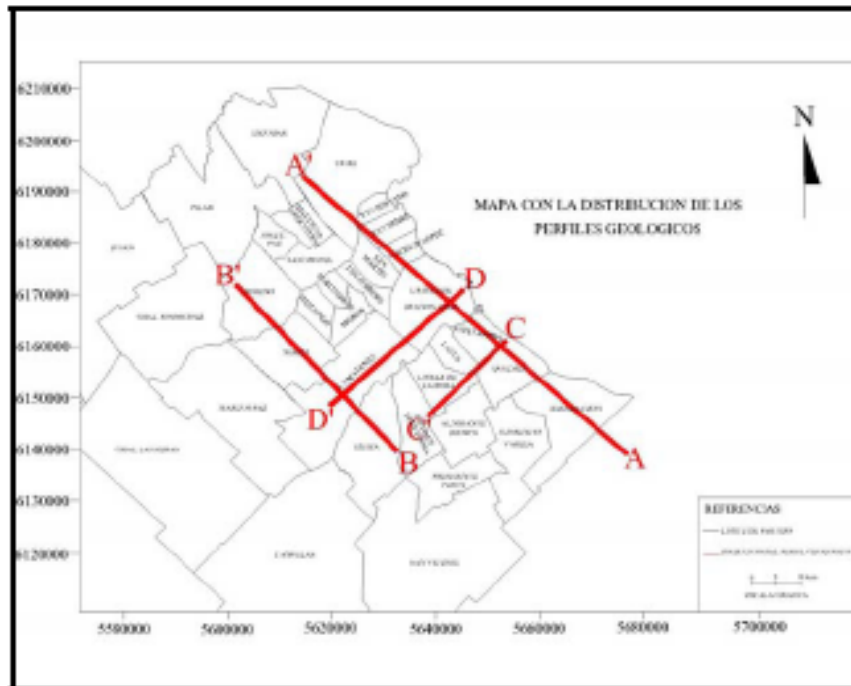


Figura 6. Ubicaciones de los perfiles geológicos (Seoane Boracier, 2003).

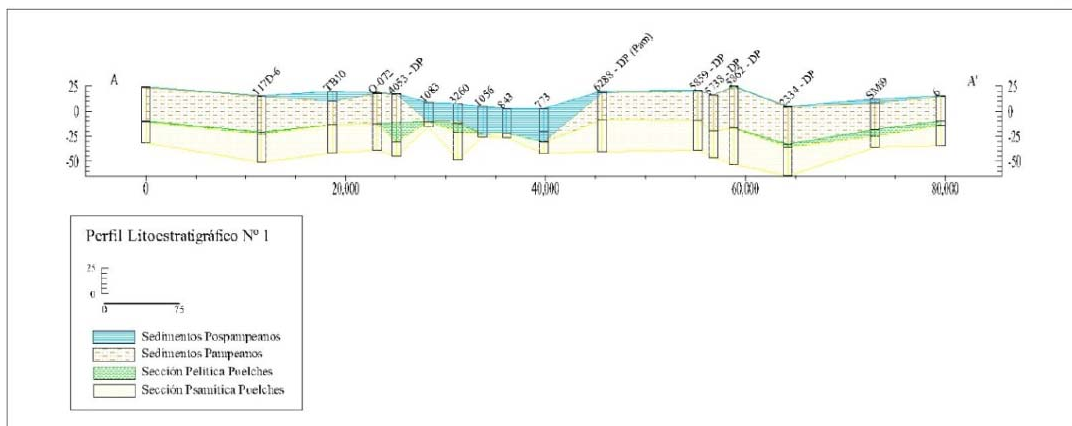


Figura 7 Perfil geológico A-A' - NW-SE (tomado de Seoane Boracier, 2003).

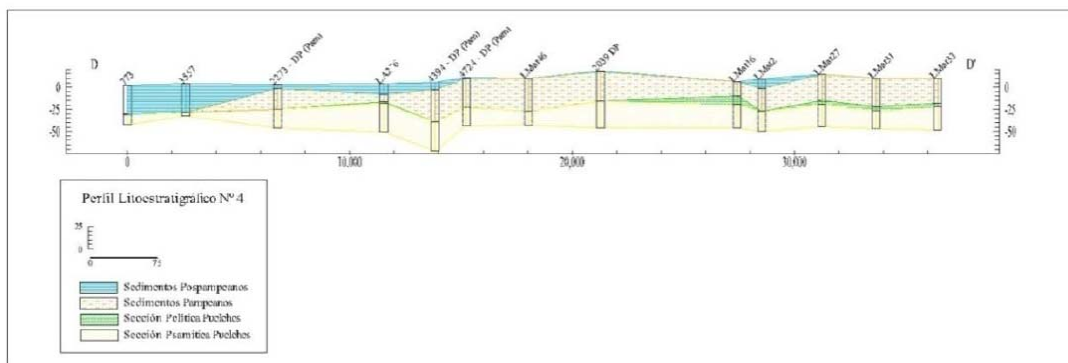


Figura 8 Perfil geológico D-D' - NE-SW (tomado de Seoane Boracier, 2003)



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Los sedimentos aflorantes en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires han sido agrupados según el clásico esquema de Pampeano y Postpampeano, cuya distribución puede observarse en la Figura 9. El Pampeano, incluye a los depósitos de las Formaciones Ensenada y Buenos Aires. Las mismas conforman el sustrato principal de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de buena parte del área metropolitana (Pereyra, 2004).

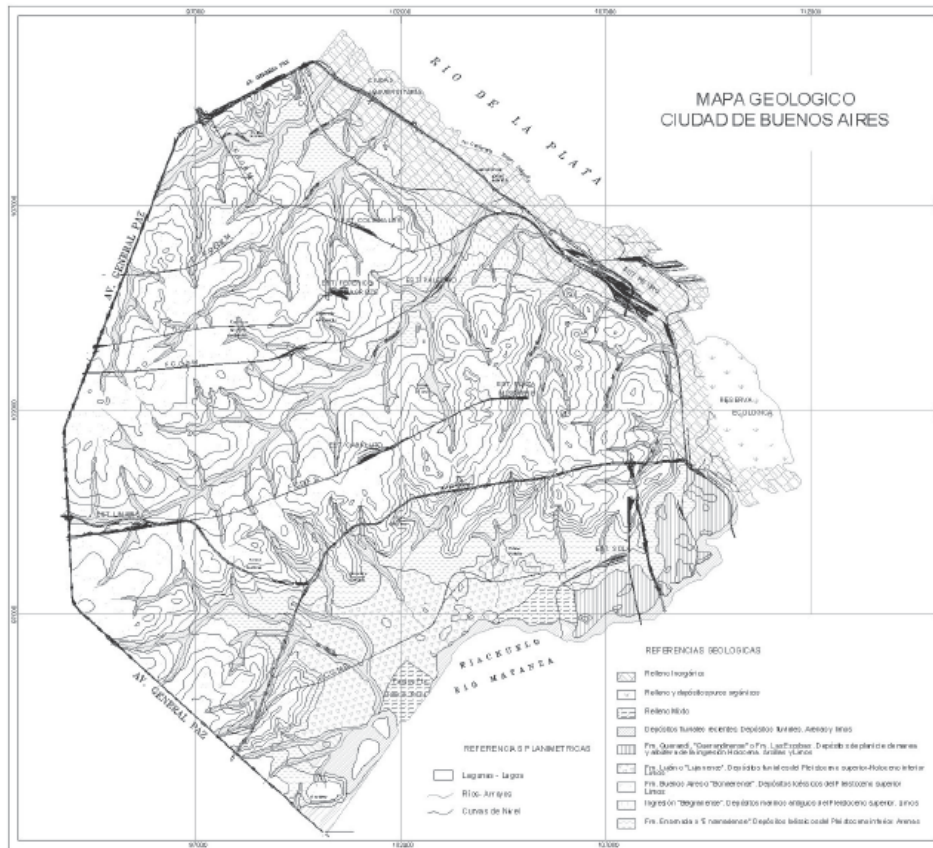


Figura 9. Mapa geológico de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (tomado de Pereyra, 2004).

Los sedimentos más antiguos que afloran corresponden a los depósitos loésicos de la Formación Ensenada. La misma está compuesta por numerosas intercalaciones fluviales y lacustres que le confieren una marcada heterogeneidad. Su espesor comúnmente es de 20 - 25 metros en el área metropolitana. Esta unidad se puede observar principalmente en los laterales de los valles fluviales y en la parte inferior de la barranca marginal de la planicie loésica. En CABA se reconocen en las zonas de Belgrano - Nuñez, Recoleta - Retiro y en el Parque Lezama; y aguas arriba en el valle del río Matanzas-Riachuelo en la zona de Lugano y Bajo Flores. Su techo se encuentra generalmente a cota 7 - 9 msnm. Los sedimentos son limo-arenosos finos y muestran un aspecto compacto. Presentan numerosos rasgos pedológicos, como horizontes argílicos, nátricos, cálcicos y petrocálcicos en diferentes sectores.

En algunas áreas la Formación Ensenada tiene en su techo un potente calcrete que puede superar el metro de espesor, con evidentes estructuras pedogenéticas. Este calcrete se evidencia morfológicamente y, en ciertos sectores constituye el piso de los cauces fluviales que atraviesan la planicie



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

loésica, formando resaltos en el perfil longitudinal de los ríos y arroyos y en lateral de los valles (Pereyra, 2004). La Formación Ensenada posee hacia el techo dos paleosuelos que fueron denominados Geosol Hisisa y Geosol El Tala (más viejo y más nuevo respectivamente) (Nabel *et al.*, 1993). Intercalado a esta unidad existen depósitos marinos y costeros observados en las Barrancas de Belgrano, que pueden ser arenosas (cordones litorales) o arcillosos (canales de marea y albúfera) rica en fósiles y han recibido la denominación de Belgranense (Ameghino, 1889) y que corresponderían a la ingesión pleistocena superior

La Formación Buenos Aires o bonaerense son esencialmente limos eólicos menos heterogéneos que en la unidad infrayacente (Formación Ensenada). El techo de la Formación Buenos Aires alcanza hasta cotas de 35 msnm hacia el norte del área metropolitana y alturas de alrededor de 27 msnm en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Su espesor medio oscila alrededor de los 7 metros. Presenta numerosos niveles edafizados y calcretes, si bien estos últimos poseen menor dureza que los que se encuentran en la Formación Ensenada. Conforman el tope de la planicie loésica, salvo en los sectores en los cuales se halla parcialmente cubierta por sedimentos postpampeanos. La coloración es ligeramente más blanquecina y menos rojiza, así como más friable que la anterior. Carece de estructuras sedimentarias, salvo para el caso de los paleocauces, pequeños cuerpos lacustres y niveles de arenas eólicas. La fauna, que está extinguida, está constituida por especies asignadas a la edad mamífero lujanense correspondiente a la biozona de *Megatherium americanus* (Tonni *et al.*, 1999 en Pereyra, 2004).

El Postpampeano se ve representado por la Formación Luján y corresponde a depósitos fluviales de granulometrías limo-arenosas. Se distribuyen en los principales valles fluviales (ríos Matanzas-Riachuelo) y se hallan cubiertos parcialmente por depósitos fluviales más modernos. En algunos casos aparecen formando un nivel de terraza y aguas abajo y sobre la costa se suelen interdigitar con las facies marinas ingresivas del holoceno (mar querandino).

3.1.2- Caracterización geomorfológica

El paisaje de la región es complejo y actualmente se encuentra urbanizado en una amplia superficie. Silva Busso *et al.*, (2003) determina las características geomorfológicas naturales originales de la región metropolitana considerando áreas aún no transformadas por la acción antrópica. La morfología que presenta la zona estudiada es consecuencia de la combinación de procesos endógenos, estuáricos (marinos) y fluviales; con menor magnitud y subordinados a los anteriores actúan los fenómenos eólicos y de remoción en masa. También actúa generando la progradación del frente del delta, el cual incorpora progresivamente a las distintas islas y canales navegables, como por ejemplo a la Isla Martín García. Codignotto (1990) infiere la futura colmatación del tramo NO del Canal Buenos Aires.

En principio Silva Busso *et al.*, (2003) plantea un criterio fisiográfico para definir las unidades geomorfológicas basándose en el reconocimiento de campo, en fotos aéreas e imágenes satelitales. Las unidades han sido



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

reconocidas para el área del Conurbano Bonaerense según la siguiente descripción

Unidad I Planicie Ondulada

Esta unidad se extiende en la mayor parte de la región. Las cotas oscilan entre los 30 msnm a 25 msnm. En su superficie se han identificado signos de escurrimiento encauzado. Las cotas que oscilan entre los 27,5 y 30,0 msnm corresponden a lomadas. La pendiente media es del 1% al 2% y se trata de una superficie altamente ondulada con algunos sectores planos. Sobre esta superficie precipitan anualmente cerca de 1000 mm a 1100 mm, que se moviliza en parte por infiltración y escorrentía laminar y encauzada a lo largo de varios arroyos y ríos que forman parte de las principales cuencas de los ríos Luján, Reconquista, Matanza y las cuencas menores. La acción eólica subordinada genera geformas de erosión. Se han observado también algunas manchas circulares, blancas o grises, claramente delimitadas, que se han interpretado como cubetas eólicas o de deflación, generadas por acción turbulenta de los vientos (Tricart, 1973). Esto levanta el material dejando una depresión leve que posteriormente almacena agua pluvial. Esta agua en las partes más altas se infiltra o se evapora rápidamente, sobre todo si el tamaño de la depresión es reducido. La cantidad de cubetas de deflación es variable comparando las diferentes cuencas.

Unidad II Planicie de Escurrimiento

El límite entre la Planicie Ondulada y los valles aluviales es de carácter transicional hacia el Este, disminuyendo las cubetas y conformándose los cauces, principal geforma de erosión. De los bañados de forma redondeada de la planicie ondulada se pasa a los bañados alargados con incipientes cañadas en la planicie de escurrimiento. Estos han avanzado a expensas de la primera unidad descrita, precisamente el agua lleva en su carga limos y loess que se redepositan aguas abajo. Actualmente este fenómeno de erosión retrogradante prácticamente no existe si la vegetación permanece sin modificaciones, o bien si la urbanización canaliza o entuba los cauces. Entre las lomadas y las cañadas se extiende una superficie cuya pendiente es, en algunos casos, del 1,5% a 2%. Esta pendiente se orienta hacia los arroyos al mismo tiempo que presenta pendientes laterales, siendo este sector es de mayor riesgo de erosión. El drenaje de esta unidad es importante en la zona de lomadas, principalmente encauzado, no obstante existen superficies anegadizas que podrían considerarse como superficies de captación hídrica a partir de las cuales se forman bañados y posteriormente un cauce que lleva aguas a un arroyo más importante. Estos bajos con interlomadas son depresiones muy leves o suaves depresiones que sí cuentan con la cobertura vegetal natural, son permanentes. Esta unidad se encuentra entre los 15 hasta los 25 msnm y en algunos casos hasta los 10 msnm (Olivares, 1999).

En las regiones costeras es característica la presencia del acantilado inactivo o paleoacantilado, remanente de los ambientes marinos retrabajado actualmente por los procesos de remoción en masa. Este se halla ubicado comúnmente a lo largo de la línea de costa labrada sobre materiales del Pleistoceno, es decir, sobre los Sedimentos Pampeanos. Constituye las denominadas barrancas que separan la "Terraza Alta" (Frenguelli, 1950) de la



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

baja que llega hasta el Río de la Plata, desde aproximadamente Rosario hasta las cercanías de ciudad de La Plata.

Su orientación es Noroeste-Sudeste y la altura promedio es de 17 msnm. Debido a los procesos de la remoción en masa y fluvial, se halla recortado, siendo el descenso de la escarpa a la baja gradual, constituyendo lo que los edafólogos denominan la misma (Herrera, 1993). Se puede observar en Ing Otamendi, El Cazador, Ing. Maschwitz, Benavídez y Gral. Pacheco, San Isidro, entre otras.

Unidad III Planicie Aluvial

A partir de las fotos aéreas e imágenes satelitales se han identificado las cañadas como digitaciones a lo largo de las cuales escurre el agua encausada. En el terreno se puede apreciar esta geoforma de acumulación como una superficie plana y anegadiza. En el caso de cursos de importancia como el río Luján, alcanzan una mayor complejidad que hace necesario un estudio específico. El reconocimiento en fotos aéreas fue posible debido a que se usaron vuelos de 1964 y 1972 y la ocupación era menor que la actual. En las imágenes satelitales de 1992 no se distingue la cañada en su totalidad ya sea por ocupación o entubamiento de los arroyos. Limitando con la Planicie Palustre se encuentran las facies de albardón de los ríos Luján, Reconquista y Matanza. Esta geoforma de acumulación que se dispone similarmente a la anterior con un ancho menor de 2 km a 4 km, posee características totalmente distintas a las de la Planicie Palustre. Entre las dos existe un ecotono poco significativo, que enlaza una unidad con vegetación predominantemente baja, con el albardón, cuya vegetación es arbórea y densa y la cobertura vegetal se ha convertido en la primera herramienta de reconocimiento solo en lugares de escasa o nula intervención humana. Estos árboles son un recurso intensamente explotado por aserraderos del Delta. Las cotas alcanzan un mínimo de 1,25 a 2,5 msnm, y se trata del albardón del río Luján que en algunos sitios presenta una superficie plana más alta, también debido a su existencia los arroyos no desembocan fácilmente en el río mencionado, y en muy pocos casos el albardón fue superado naturalmente (bisectado) por un arroyo importante o un río (Olivares, 1999).

Unidad IV Planicie de Inundación

Esta unidad aparece como una faja con orientación Noroeste-Sudeste. Mientras se avanza hacia la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se reduce su ancho, además se intensifica el uso del suelo a tal punto que resulta imposible su seguimiento. Al sur del río Matanza Riachuelo se la identifica nuevamente en forma creciente de su ancho hacia la ciudad de la Plata. El límite Este está claramente definido por un escalón o barranca, y se lo identificó en las cartas topográficas mediante la interpretación de las curvas de nivel, (en casos donde esto se dificultaba se consideró la disminución de la división parcelaria y el amanzanamiento). El trabajo de campo ha permitido confirmar estas observaciones. Según Olivares, (1999) esta unidad se ha denominado Planicie Palustre o Bañados. El aspecto de esta unidad es el de una superficie plana con depresiones y en las fotos aéreas la tonalidad clara permite suponer sectores vegetados, pero también hay sectores oscuros que son cuerpos de agua. Esto se ha verificado en las observaciones de campo durante las cuales



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

se comprobó que generalmente la vegetación era más baja debido a que el pastoreo se practica en la mayor parte de esta área. Las cotas oscilan entre los 5,50 y 2,25 msnm, llegando, en algunas regiones, a un mínimo de 0,5 msnm. Los cuerpos de agua permiten inferir que se trata de un área con abundantes depresiones, al mismo tiempo se advierte la presencia de canales de marea, y algunos cursos de diseño anárquico lo que habla de un gradiente de pendiente muy bajo. El escurrimiento predominante es de tipo difuso e hipodérmico (Olivares, 1999).

Los arroyos más importantes, que nacen en la superficie pampeana, tienen dificultades para llegar al estuario del Río de la Plata, al río Luján y al río Paraná de las Palmas, debido a la escasa pendiente de la llanura palustre y a la presencia de una unidad ribereña que tiene cotas levemente mayores. Los rasgos de esta unidad, tanto los superficiales como los correspondientes a los suelos, se prolongan generalmente invadiendo los valles fluviales de los arroyos hasta la cota de los 6,5 msnm, generalmente. El límite de esta unidad está determinado por un bajo paralelo a la costa platense, siendo el que impide el libre escurrimiento de los arroyos, y está incluido en la unidad de Planicie de Marea, y suele presentarse anegado y con abundante vegetación.

Unidad V Planicie de Mareas

La planicie de Mareas puede considerarse una unidad de acreción ubicada sobre la costa entre la zona de acumulación estuárica actual y las unidades deltaica cuya influencia puede llegar hasta la cota 2.5 m.s.n.m. Conforman un área extensa, de escasa pendiente y vegetada. Su superficie presenta poco relieve relativo y se halla disectada por abundantes paleocanales de mareas y canalizaciones actuales. Se generó debido al ascenso y descenso de las mareas en una zona protegida del embate de las olas, durante la fase regresiva del mar Holoceno. Se ubica en la ribera de dicha paleocosta, y quedó inactiva a consecuencia del descenso eustático reciente y en el norte del área de estudio el avance del Delta del Paraná interrumpió la fase estuárica, e impuso la fase fluvial actual. En las fotos aéreas se han podido detectar algunas líneas oscuras, paralelas a la costa Estuárica-paranaense, que delimitan a otras áreas de otra tonalidad, con diferente vegetación; teniendo en cuenta las características del área y de las líneas, junto con la orientación de los cursos fluviales costeros, en algunos casos a lo largo de estas líneas, se podría concluir que se trata de paleolíneas de costa o paleocostas, lo cual coincide con la presencia de suelos arcillosos, recientes, natraquales según Etchevehere (1975), pero solo la identificación de un material identificado como Querandinense (Frenguelli, 1950; Fidalgo, 1983), una arcilla conchífera, correspondiente a la Formación Querandino evento transgresivo cuyo máximo se produjo hace unos 6000 años (Ferreiro, 1987, 1989 y Figini, 1992); podría apoyar esta suposición. Según Olivares, (1999) esta geoforma puede ser de origen marino pero con aportes fluviales recientes.

Diversos autores (Herrera, 1993; Codignotto *et. al.*, 1987 y 1990) denominan a esta geoforma de acumulación "cordones litorales o crestas de playa" y las ubican lindantes de forma paralela o subparalela a la paleocosta más antigua (acantilado) labrada sobre materiales del Pleistoceno. En la costa estuárica actual esta unidad presenta un contorno curvilíneo, con extensa amplitud areal, su longitud máxima aproximada es de 13 km, aunque muchos



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

de ellos se encuentran truncados por acción geomórfica posterior, edafización y acción antrópica. La altura de los mismos es de 2,50 m aproximadamente y la longitud de onda promedio es de 200 m. (Codignotto et.al., 1987; Codignotto et. al, 1990; Herrera, 1993).

Presentan una marcada diferencia de tonalidad entre los senos y las crestas debido a asociación florística diferencial entre ellos, esta última debida probablemente a que los materiales de las crestas son más gruesos y retienen por consiguiente menos humedad que los materiales de los senos. Existen por lo menos 4 Grupos de cordones litorales, según el concepto de Grupo y Sistema de Codignotto *et al.* (1987). La presencia de los mismos señala variaciones en las condiciones hidrodinámicas del flujo; los contactos entre grupos son tangenciales. Todos estos grupos constituyen un único Sistema debido, entre otros factores, a que se depositaron todos ellos bajo condiciones de un mar regresivo. La última transgresión Pleistocena-Holocena inundó los valles de los arroyos que desembocaban al Río de la Plata generando amplios estuarios. Los mas importantes de la paleocosta bajo estudio, eran los de los Ríos Luján, Reconquista y Matanza - Riachuelo. Los cordones litorales se depositaron dentro de dichos paleoestuarios, originados a partir de la destrucción de los cabos, debido al fenómeno de refracción y difracción de olas. Este proceso tiende a la rectificación de la costa generando madurez del paisaje. Finalmente, los depósitos litorales conforman una "Planicie de acumulación estuárica".

Estas geoformas de génesis litoral, se observan con diferente desarrollo a partir de la base de los paleoacantilados (Fucks y De Francesco, 2001). La Planicie de Mareas en el área central del estuario relicto del Río Luján se caracterizándose por un conjunto de lineaciones con forma de arco de circunferencia, con centro hacia el noreste, que se acuñan o recuestan sobre los acantilados. Tienen varios kilómetros de extensión y se encuentran seccionadas, en ocasiones, por cursos de agua actuales y en otras, por probables canales de marea generados simultáneamente. Se observan en sectores localizados del área, presentando su mayor expresión en las inmediaciones de Campana, Est. Otamendi y Escobar, aunque pueden constatarse hacia el interior del continente. Estos sectores estuvieron sujetos a la acción directa del oleaje durante la ingresión holocena, con una erosión muy marcada, desarrollándose acantilados cuyas alturas llegan a alcanzar los 20 metros, con pendientes, en algunos casos, prácticamente verticales (Fucks y De Francesco, 2001) Las formas de erosión en esta unidad están representadas por paleocanales de mareas. Se los puede observar labrados en la planicie de mareas, actualmente modificados por acción fluvial y muchos de ellos integrados a la red de drenaje. Son cursos cortos y sinuosos, mas anchos hacia el cauce principal. Su diseño es dendrítico. El ascenso y descenso de la marea en la zona de ribera se produjo a través de estos canales, los cuales eran abandonados a medida que la rápida dinámica deltaica avanzaba dentro del estuario del Río de la Plata.

Unidad VI Ambiente Deltaico

La porción deltaica del área de estudio representa un importante porcentaje de su superficie, es un ambiente complejo y particular que necesitaría estudios específicos. En términos generales los materiales



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

transportados por el Río Paraná han formado bancos e islas sobre la desembocadura de dicho río y el Río Uruguay aguas arriba del Estuario del Plata. Se observa una abundante cantidad de materia orgánica vegetal en descomposición, los procesos de depositación y erosión mantienen a esta unidad en permanente cambio. Diversos autores han estudiado la geomorfología de este complejo sistema (Iriando, 1980; Parker, 1990 y Parker, et.al., 1990) su síntesis excedería el alcance de este estudio por lo que aquí se la ha agrupado en una sola unidad.

El sistema de drenaje de esta geoforma puede considerarse como una asociación de diseños individuales. Desde su ápice hacia aguas abajo, es marcado el tipo anastomosado, conformado por una gran cantidad de cursos de diferentes magnitudes y posiciones relativamente estable. Asimismo, estos cursos desarrollan diseños meandrosos, observándose barras en espolón en los principales y canales abandonados distribuidos en gran parte de la llanura. Solamente en su parte terminal, en los ríos Paraná Guazú y Paraná de las Palmas, se observan con claridad diseños distributarios (Fucks y De Francesco, 2001).

Anualmente el sector, ubicado sobre margen derecha del sector deltaico, está directamente influenciado, a través del río Paraná de Las Palmas, por crecientes anuales en otoño (marzo - abril) y bajantes a fines de invierno-principio de primavera (agosto - octubre). Sobre este ciclo de crecientes normales, existen otros de crecientes extraordinarias, tales como las producidas en 1940, 1959, 1982-1983, 1992 y anteriores, provocando importantes afectaciones al medio ambiente.

El límite entre el delta y los depósitos litorales está marcado por el cambio de rumbo de 90° hacia el sureste del Río Luján. Esto permitiría considerar que este río evacuaba sus aguas directamente hacia el "Río de la Plata" y debido a la progradación deltaica, fue cambiando progresivamente la ubicación de su desembocadura. Soldano, (1947) indica un avance anual promedio del delta de 70 m, aumentando ese valor a 90 m para el sector comprendido entre el Río Paraná de las Palmas y el Río Luján, lo que permite estimar, tomando el valor medio, que el frente deltaico se encontraba en las cercanías de la Estación Río Luján hace 500 años, o en caso de considerar la progradación producida por los cursos en la zona de influencia, dicha posición se habría alcanzado hacia 1610. Asimismo, un mapa de 1635 establecía el límite del delta en las cercanías del quiebre del Río Luján, (Vigo, J., 1970), lo que indicaría un avance del delta de aproximadamente 95 metros por año.

Pereyra (2004) ha caracterizado la geomorfología más específicamente en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y para este autor los factores que han controlado la evolución geomórfica de la región en el Pleistoceno-Holoceno son:

- Las oscilaciones del nivel del mar (ingresiones-regresiones)
- La depositación de potentes acumulaciones de loess
- La formación de suelos

A partir de la interacción de estos factores a lo largo del tiempo se formaron varias unidades geomórficas que pueden agruparse en:



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- Eólicas, con la planicie loéssica
- Fluviales, incluyendo los valles fluviales, laterales de valle, terrazas y planicies aluviales
- Poligenéticas, que comprende las planicies poligenéticas del río de la Plata y de los ríos Matanzas-Riachuelo, Luján y Reconquista, barranca marginal o paleoacantilado y el delta del Paraná.

Los mismos se encuentran representados en la figura 10 (mapa geomorfológico del área metropolitana bonaerense). La planicie loéssica constituye las divisorias altas de los sistemas fluviales de la región. Tienen un relieve plano o suavemente ondulado. Esta unidad se caracteriza por poseer ondulaciones con amplias divisorias de pendientes suaves (1 a 2%) y que en planta comúnmente presentan dirección aproximada nordeste. La red de drenaje a lo largo de su recorrido tiene diferente comportamiento; en las cuencas altas está poco integrada, mientras que en las cuencas medias se encuentra más integrada y tiene un diseño paralelo a dendrítico. En esta amplia divisoria se localizan varias lagunas desarrolladas en antiguas cubetas de deflación. Esta unidad es la que presenta menor vulnerabilidad al anegamiento, con excepción de las depresiones antes señaladas.

Sobre esta geoforma, incorrectamente llamada muchas veces terraza alta o meseta, se asienta la mayor parte de la población por ser la que tiene mejores condiciones para la localización de asentamientos poblacionales como el caso de la CABA. La misma se encuentra marginada, respecto al Estuario del Plata y sus tributarios mayores, por una escarpa de erosión que ha conformado una barranca. Se extiende con rumbo aproximado noroeste-sudeste, con un desnivel que puede superar los 10 m respecto a la planicie del Estuario del Plata. La barranca se continúa en la ciudad de Buenos Aires, desde el Parque Lezama, por la zona céntrica, Plaza Francia, hasta Belgrano-Núñez. En la zona del río Matanza - Riachuelo se proyecta tierra adentro, bordeando los barrios de Flores y Mataderos. Esta barranca constituye un elemento geomórfico regional y se prolonga hasta la ciudad de Rosario. En la zona del área metropolitana bonaerense, esta barranca continúa hacia el norte tras superar las cañadas de los arroyos de la zona de Belgrano-Núñez, en Vicente López donde alcanza gran desarrollo, continuándose luego en San Isidro y el sector oriental de San Fernando. Luego desaparece, desdibujándose e internándose tierra adentro debido a la existencia del valle del río Reconquista (antiguo de las Conchas) en la zona de Tigre.

En la zona céntrica de la ciudad de Buenos Aires, donde se estableció la primera urbanización (Plaza de Mayo), la barranca alcanzaba una altura superior a los 10m haciendo imposible el acceso directo a la Plaza desde la costa, lo que representaba una indudable importancia defensiva. Para acceder a la costa del río, desde las actuales avenidas Leandro N. Alem - Paseo Colón, antes de la construcción del puerto (1887), había que bajar por las actuales calles Venezuela y Perón, las que de todas formas tenían gran pendiente. Esta barranca corresponde a una escarpa de erosión, un antiguo acantilado labrado por el mar durante las intrusiones marinas. Luego, los procesos erosivos hídricos y las caídas de detritos (remoción en masa) son procesos frecuentes en esta geoforma y tienden a reducirla pendiente de la misma. Actualmente estos procesos están inactivos a consecuencia de la urbanización.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Las terrazas fluviales y planicies aluviales se desarrollan en los principales cursos fluviales que desaguan en el Estuario del Plata. Destaca el río Matanza-Riachuelo, como principal colector en el área de estudio. Posee una cuenca de drenaje de 2034 km² y recibe numerosos tributarios. Esta cuenca está comprendida casi totalmente dentro de la zona urbanizada, por lo cual está profundamente modificada en algunos sectores. Sus tributarios son cauces que se encuentran profundizados (2 - 3 m) y también están muy modificados por la acción antrópica.

Esta unidad arealmente es la de menor tamaño y tienen una elevada posibilidad de inundación. Dado que sus márgenes están sobreelevadas (albardones artificiales) e impermeabilizadas se comportan como cursos «alóctonos». Asimismo tiene niveles freáticas muy someras, generalmente a menos de 1 m, con oscilaciones entre 1,5 a 0,2 m, lo que genera problemas para la construcción y excavación de zanjas y canales. Los laterales de valles ocupan la porción del paisaje comprendida entre las divisorias más altas (cotas superiores a 10 m) y las planicies aluviales y terrazas de los cursos fluviales. Las pendientes tienen gradientes entre 3 a 7% y han sido originadas por procesos erosivos y depositacionales, vinculadas a la acción eólica y al escurrimiento superficial. Salvo en algunos sectores deprimidos, vinculados a la acción eólica pasada, presentan baja probabilidad de anegamiento.

Las planicies poligenéticas de los principales ríos muestran una génesis similar resultado de la interacción del proceso fluvial y la acción marina. Debido a esta última, durante los períodos ingresivos, se formaron estuarios que se proyectaron aguas arriba, como por ejemplo superando la posición del Puente la Noria en el caso del Riachuelo. Debido a la naturaleza cohesiva de los materiales acarreados por los ríos y las bajas pendientes, los cursos tienen un hábito meandriforme de alta sinuosidad pero de escasa migración lateral. Las posteriores canalizaciones y rectificaciones modificaron este patrón originario, que de todas formas aún puede observarse en sectores del Riachuelo, como por ejemplo en la zona de Villa Soldati.

La planicie poligenética del río de la Plata se desarrolló originalmente como una planicie de acreción marina, comportándose en la actualidad, como la planicie aluvial del río. Su ancho varía grandemente, aumentando hacia el sudeste, donde puede superar los 10 km en la zona sur del Gran Buenos Aires. En la zona de la Capital Federal prácticamente ha desaparecido a causa de los diferentes rellenos realizados por la construcción del puerto, Aeroparque y Ciudad Universitaria. Presenta un relieve plano a suavemente ondulado, con geoformas de diferente origen. En esta unidad se distinguen varias subunidades.

Toda esta unidad se encuentra afectada por las sudestadas, sufriendo importantes anegamientos, debido a la cota (generalmente inferior a los 3 m s.n.m.), bajo gradiente y complejidad geomórfica. Finalmente, en la zona norte del Gran Buenos Aires, entre San Isidro y Vicente López, aparece una plataforma de abrasión labrada en la tosca cuspidal de la Formación Ensenada. Esta plataforma, controlada estructuralmente por la aparición de un banco duro, pudo haberse labrado parcialmente durante la ingresión marina holocena. Esta tosca aparecía durante las bajantes en diferentes zonas de la antigua costa de la ciudad de Buenos Aires, particularmente en la zona de Retiro y Recoleta, en



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

la que la barranca se ubica más próxima al estuario. Constituía un escollo para la navegación y solo era visible en bajantes.

Ocupando solo un pequeño sector de la zona urbanizada, pero estrechamente condicionado por los usos de la misma, se encuentra el delta del Paraná. La evolución geológica del mismo fue estudiada por diferentes autores, destacando los trabajos de Cavalotto et al. (1999); Parker y Marcomini (1992) y Violante y Parker (1999). Esta unidad tiene características distintivas y una compleja evolución geológico - geomorfológica asociada a las fluctuaciones cuaternarias del nivel del mar.

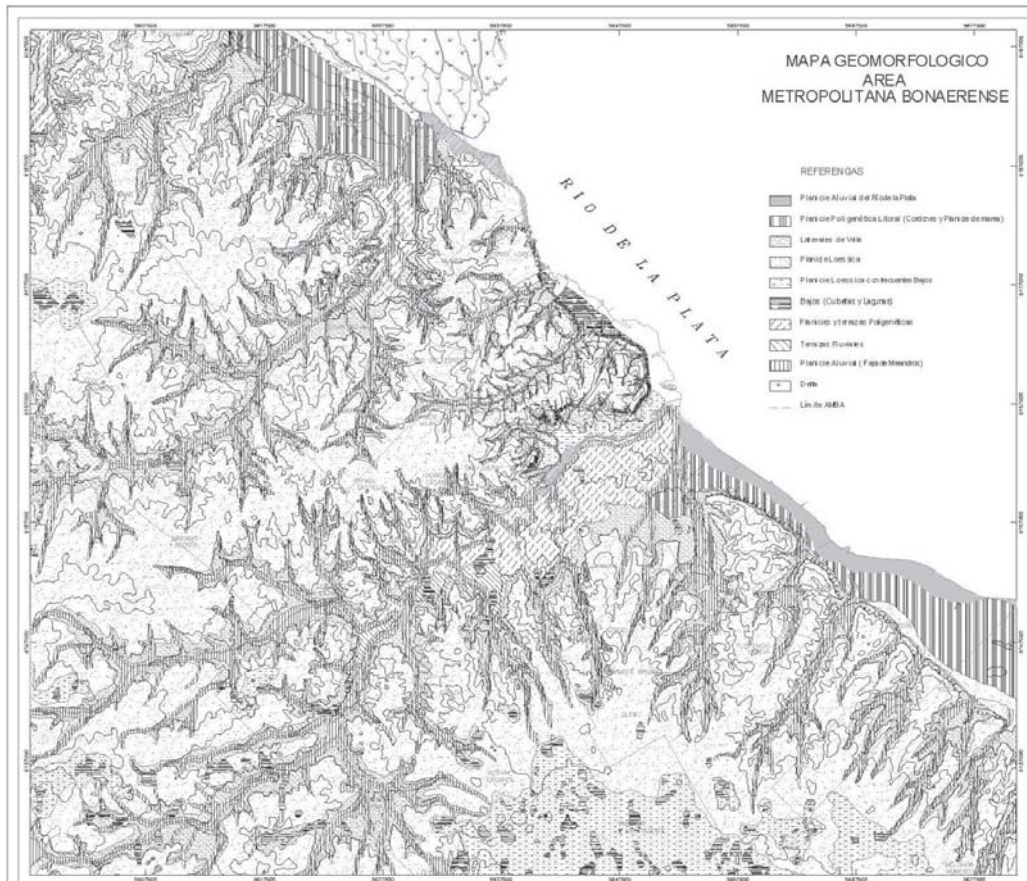


Figura 10. Mapa geomorfológico del área metropolitana (Pereyra, 2004).

La zona alternativamente presentó un desarrollo fluvial, vinculado al río Paraná durante los períodos de regresión marina, marino y esteárico, durante los momentos de ingresión marina y actualmente muestra el desarrollo de un delta fluvial en un ambiente esteárico, en el cual consecuentemente domina claramente la depositación fluvial y la progresión de los depósitos fluviales. En la zona más próxima a la zona densamente urbanizada, en los partidos de Tigre y San Fernando, las geoformas reconocidas corresponden a planicies interdistributarias que conforman las típicas islas del delta. Éstas poseen un sector marginal de mayor altura (albardones) y una parte central más deprimida, usualmente anegada total o parcialmente. Por sus características geomorfológicas, geológicas e hidrológicas la región es la menos apta para permitir una ocupación humana de importancia y asimismo constituye el subsistema natural más vulnerable de la región frente a potenciales usos



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

antrópicos. La preservación del mismo en las condiciones más naturales posibles, reservándose su uso para fines recreativos y como parque natural (nacional) aparecen como altamente positiva. Consecuentemente, sería recomendable prohibir cualquier tipo de proyecto de envergadura que signifique una modificación de este ambiente.

3.1.3- Características edafológicas

Según Pereyra (2004) los suelos representan el recurso más importante de la economía de la región pampeana. Para el mismo autor, las bondades y aptitudes de los suelos para la agricultura y la ganadería fueron ya valorados por los conquistadores, quienes las tuvieron en cuenta a la hora de planificar la distribución de la población y la repartición de las tierras, según las aptitudes de las mismas y los vínculos de quienes se veían favorecidos por el reparto con las autoridades de la naciente ciudad de Buenos Aires.

Es importante destacar que hasta el presente se carece de estudios detallados de suelos del área metropolitana bonaerense. Como antecedentes más destacables Pereyra (2004) menciona que aparecen los trabajos de Capanninni y Mouriño (1966), SEAGyP-INTA (1990) y Sánchez y Ferrer (1976). En la actualidad los suelos se encuentran modificados y antropizados hasta su desaparición en algunos sectores parcial y/o total.

Pereyra (2004) también menciona que los suelos de la región poseen importante variabilidad espacial y la Pampa Ondulada se caracteriza por presentar importantes períodos de pedogénesis dominante y morfogénesis subordinada (medios estables), lo que ha resultado en la formación de suelos con un alto grado de desarrollo. Predominan los Argiudoles típicos, desarrollados en las divisorias y en las laderas de valles y se han formado a partir de los sedimentos loésicos y la textura es franco-limosas, salvo en los horizontes argílicos, y altos contenidos de materia orgánica. Constituyen los suelos «zonales» de la región. En algunos sectores los suelos son algo más finos y aumenta la participación de arcillas expansivas (esmectitas e interestratificados) que resultan en la existencia de caras de deslizamiento en los horizontes argílicos. En este caso, los Argiudoles pertenecen al subgrupo vértico. En los laterales de los valles los Argiudoles son menos potentes, con el horizonte C algo carbonatado y, a veces se forman horizontes E (Suborden Alboles). Pese a encontrarse en aquellas zonas menos anegables, pueden presentar evidencias de condiciones reductoras y saturación temporal con agua a poca profundidad (a 25-40 cm aparecen concreciones y moteados).

En los valles fluviales se observan suelos de menor desarrollo edáfico y mayor expresión de rasgos hidromórficos. Los rasgos hidromórficos, como moteados y colores gley, suelen aparecer por debajo del horizonte superficial (mólico). En las proximidades de los cursos fluviales se encuentran Entisoles. Finalmente, es el antiguo ambiente litoral el que tiene la mayor complejidad edáfica, habida cuenta de la heterogeneidad geomorfológica que exhibe. Los cordones de conchillas poseen suelos de tipo Haprendoles. Son Molisoles que precisamente deben sus principales características a la presencia de abundante CaCO_3 (procedente de las conchillas). Se encuentran bien provistos de materia orgánica, son gruesos (arenosos y areno-gravillosos). Se asocian estrechamente a la vegetación de talas. El ambiente de la antigua planicie de



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

marea se caracteriza por tener suelos de texturas finas, generalmente arcillosas, debidas a la incidencia del factor material originario. Las arcillas presentan importante participación de especies mineralógicas expansivas (Smectitas e interestratificados) que determinan la presencia de caras de deslizamiento entre los agregados del suelo. Consecuentemente, se reconocen suelos del Orden Vertisoles, del Gran grupo Hapludertes. En los sectores en los que los cordones se hallan cubiertos de materiales eólicos arenosos retransportados, se encuentran Udipsamientos (Entisoles) de muy débil desarrollo pedogenético.

Del estudio de suelos de Pereyra (2004) surge, en líneas generales, que independientemente del lugar del paisaje que ocupen, todos los suelos de la región presentan características que permiten inferir diferentes grados de saturación del perfil con agua. Asimismo, la existencia de un horizonte argílico implica una permeabilidad moderada a baja determinando una capacidad de almacenamiento de agua baja, lo que es importante a la hora de considerar los coeficientes de escurriencia que no deben limitarse al estudio del horizonte mólico. En las planicies aluviales o costeras donde el «querandinense» aflora o se encuentra subaflorante los materiales originarios son básicamente arcillosos y de gran potencia por lo que la infiltración es mínima.

3.1.4. Características hidrogeológicas

El área de estudio se encuentra enmarcada en la Subregión Hidrogeológica I Río Paraná (Santa Cruz y Silva Busso, 1999) la misma se extiende desde la Cuenca del Río Salado al sur y sudoeste, hacia el norte hasta al menos el meridiano 33°30' o los bajos submeridionales, al este el Río Paraná y al oeste hasta aproximadamente el paralelo 62°30'. En la provincia de Buenos Aires corresponde a un área aproximada de 60.000 km², que involucra una numerosa serie de partidos, todos ellos ubicados aproximadamente al Noeste de la traza formada por la Ruta N° 46 desde su límite con la provincia de Santa Fe hasta la localidad de Saladillo, continuando por las Rutas N° 63 y N° 61 hasta la ciudad de Las Flores y de allí hacia el Este hasta la costa (Río de la Plata). Los principales acuíferos de esta región se caracterizan por la siguiente estratigrafía e hidroestratigrafía de la tabla 1 y la figura 11 tomada del Atlas Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires.

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Acuíferos Principales
Sed. Pampeanos	Epiparaneano	Acuífero Pampeano
Formación Puelches	Epiparaneano	Acuífero Puelches
Formación Paraná	Paraneano	Acuífero Paraná
Formaciones Olivos, Mariano Boedo	Hipoparaneano	Acuitardo
Basamento Cristalino ¹	Basme. Hidrogeol	Acuífugo

¹ Zona Noreste de Buenos Aires, pudiendo ser la Formación Serra Geral hacia el norte y este

Tabla 1. Hidroestratigrafía propuesta para la zona de la Ciudad de Buenos Aires y alrededores.

La Sección Epiparaneana es la tercera sección acuífera que por su accesibilidad resulta la más explorada. El agua subterránea explotable de estas áreas se encuentra alojada fundamentalmente en los Sedimentos Pampeanos y en la Formación Puelches (en las zonas más bajas puede incluir unidades



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

formacionales post-pampeanas) con profundidades máximas del orden de los 70 metros. El acuífero freático es el que en condiciones naturales se halla más cerca de la superficie en equilibrio con la presión atmosférica y que se alimenta directa o indirectamente del agua de lluvias que se infiltran.

Por debajo de la freática se encuentran otros acuíferos más profundos (Acuíferos Pampeano y Puelches), que por tratarse de acuíferos multicapa de llanura están todos hidráulicamente conectados. O sea, que si se explota sólo el más profundo (Acuífero Puelches), también va a repercutir bajando el nivel en la freática o "arrastrando" la depresión de la misma. A la inversa, si se extrae agua de la freática va a llegar un momento en que un acuífero más profundo va a aportar agua hacia arriba disminuyendo su nivel piezométrico, o sea la presión (CFI-EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz et.al., 1996).

Los Sedimentos Pampeanos posee una porosidad efectiva de 10%, permeabilidad 5 a 10m/d, transmisividad 100m²/d a 200m²/d, coef. de almacenamiento orden de 10⁻³, caudales específicos más comunes de 1 a 3 m³/h, caudales obtenibles más comunes entre 40 y 100 m³/h, caudales máximos sin garantía de sustentabilidad hasta 150m³/h. El espesor que pueden alcanzar los Sedimentos Pampeanos varía entre los 20 y 60 m (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). El Acuífero Puelches presentan una porosidad efectiva de hasta 20 %, permeabilidad de hasta 25 m/d, transmisividad entre 300-500 m²/d, coef. de almacenamiento orden 10⁻³ e incluso 10⁻⁴, caudales específicos más comunes: entre 3 y 11m³/h (Sala y Auge, 1970; CFI-EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz et.al., 1996).

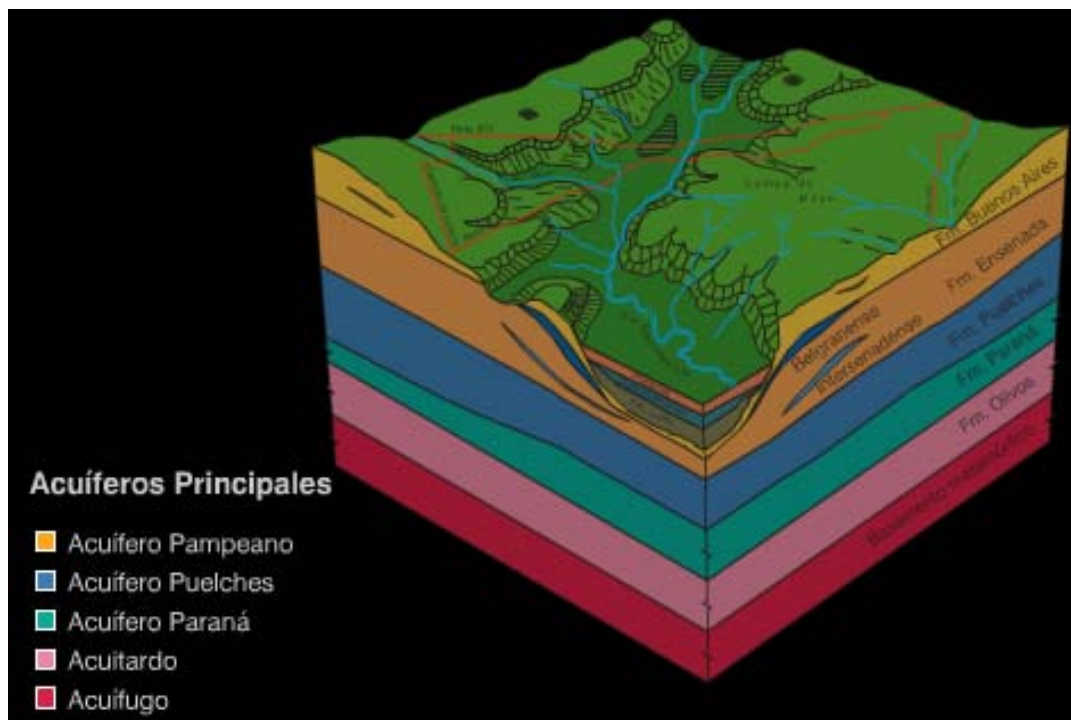


Figura 11. Unidades estratigráficas relacionadas con las unidades hidrogeológicas (tomado del Atlas Ambiental Ciudad de Buenos Aires).

En el área de la Ciudad de Buenos Aires (al igual que en gran parte de la Subregión I Río Paraná) pueden resumirse las características de las unidades hidroestratigráficas propuestas por Sala, J.M. et al (1983) según:



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología
silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Basamento Hidrogeológico

El Basamento Cristalino constituido por rocas ígneas y metamórficas, es la unidad acuífuga basal de los sistemas acuíferos que se desarrollan por encima del mismo. Fue alcanzado en distintos puntos por distintos organismos entre -130,8 msnm en el Delta del Paraná por ejemplo y en -466,6 m en la ciudad de La Plata, hundiéndose fuertemente hacia la cuenca del río Salado. Actúa como base impermeable del complejo acuífero. El Acuífugo Martín García constituye el basamento cristalino de la cuenca, también denominado Basamento Metamórfico el cual carece de propiedades litológicas que permiten la acumulación y/o explotación de agua. Es la unidad acuífuga basal de los sistemas acuíferos que se desarrollan por encima del mismo y actúa como base impermeable del complejo acuífero.

Sección Hipoparaniana

Por encima se reconoce una sucesión sedimentaria de origen continental dividida en tres sub-secciones de las cuales la mejor conocida es la superior de 250 m aproximadamente, conformada por areniscas y arcillas rojas reconocidas como Formación Olivos que presenta varios niveles acuitados y algunos acuíferos de variable salinidad y muy poco conocidos a la actualidad.

El Acuífero Olivos presenta agua sulfatada y con alto tenor salino, 10 a 60 g/l (Auge et al., 1984) y en la perforación tipo registró entre 14 y 20 g/l de salinidad total, con unos 5 g/l de SO_4^- y una surgencia máxima de 11 m. Su edad se estima Mioceno inferior (20.106 años) o del Oligoceno (30.106 años).

Sección Paraniana

De origen marino, se encuentra sobre la anterior, constituida por arcillas grises azuladas y verdes con intercalaciones arenosas y abundantes fósiles marinos, predominando los sedimentos acuícludos y existiendo algunas intercalaciones acuíferas de muy buen rendimiento. Con caudales obtenidos en perforaciones para la industria de hasta 180 m³ /h. Su espesor aumenta hacia el sur de la región pudiendo sobrepasar los 500 m. de potencia. Los problemas fundamentales para la explotación de esta sección son la gran profundidad de los acuíferos y la elevada salinidad de sus aguas mayores a 2.500 mg/l. Por lo tanto las dos secciones citadas hasta aquí no tienen mayor interés para su aplicación en la actividad de Riego Complementario. El origen marino de los sedimentos que contienen al Acuífero Paraná genera que sus aguas presenten tenores salinos elevados, entre 10 y 30 g/L (Auge et al., 1984). Sin embargo en la planicie de inundación del Matanza–Riachuelo y en la costa del Río de la Plata, una capa de arena ubicada entre 80 y 90 m de profundidad aproximadamente, con una salinidad total de 3 a 4 g/L, constituye el acuífero de mejor calidad química y consecuentemente el más utilizado, especialmente por la industria.

Sección Epiparaniana

Es la tercera sección acuífera que por su accesibilidad resulta la más explorada, se desarrolla en toda la provincia a excepción de las áreas donde aflora el basamento de roca dura. Constituye un depósito de sedimentos acuíferos, de granulometría arenosa, limosa, arcillosa con intercalaciones de



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

tosca. Dentro de las arenosas se destacan las arenas basales de esta sección denominadas Arenas Puelches o Formación Puelches (Santa Cruz, 1972)., son arenas cuarzosas, maduras de colores amarillentos a grisáceos o blanquecinos, de grano fino a mediano, con intercalaciones de gravillas y rodados en sus niveles inferiores, sus depósitos se extienden hacia el sur alcanzando la cuenca del Salado. Hacia el oeste penetrarían en el partido de 9 de Julio engranando con sedimentos del araucanense y hacia el norte siguiendo la línea aproximada de las lagunas Gómez y Mar Chiquita e internándose en las Provincias de Santa Fe y Córdoba. Hacia el suroeste también engranan lateralmente con sedimentos más finos, limos y arcillas rojizas con frecuentes intercalaciones de niveles yesíferos y calcáreos denominados Araucanos.

El Acuífero Puelches posee un comportamiento acuífero excelente y buenos rendimientos. El Acuífero Puelches es el más explotado del país, con predominio de agua apta para la mayoría de los usos. El agua del Puelches es de tipo bicarbonatada sódica con una salinidad total menor de 1 g/l. La calidad desmejora hacia la cuenca del Salado, en los ambiente de llanuras aluviales de los ríos colectores más importantes (Matanza, Reconquista, Luján), y en la planicie costera aledaña al Río de la Plata (Auge, 1997). La productividad del Puelches oscila entre 30 y 160 m³/h por pozo y se lo utiliza para consumo humano, para riego y para la industria. Hidráulicamente se comporta como semiconfinado debido a la presencia de un nivel limo arcilloso gris de 5 m aproximadamente de potencia que conforma su techo (Ensenadense basal) y que actúa como acuitardo. En aquellos sitios donde el acuitardo no está presente, el limo castaño del Ensenadense grada a limo arenoso y finalmente a arena franca. En la Figura 12 (Auge, 2004) se muestran las variaciones de espesores del Acuífero Puelches y el porcentaje de arena para distintas zonas. El espesor del Puelches oscila entre 20 y 30 m. El mapa isopáquico permitió establecer las reservas de agua almacenada, permitiendo estimar para la Ciudad de Buenos Aires un volumen de arena de unos 4.300 hm³. Si se asume para el Puelches una porosidad efectiva del 20%, el volumen de agua gravitacional almacenada es de unos 860 hm³. De ese volumen aproximadamente 515 hm³ son aptos para consumo humano, siendo los principales limitantes de la potabilidad, los NO₃⁻ y la salinidad total. Además se puede observa en la Figura 11 que la combinación de espesor y porcentaje de arena es un buen indicador de las áreas favorables respecto a la productividad. El sitio con mejores perspectivas es donde se manifiesta el mayor espesor del acuífero (30 m). El sitio menos favorable respecto al caudal, es el que presenta un espesor entre 15 y 20 m y un porcentaje de arena entre 25% y 75% (sector sureste - Riachuelo) (Auge, 2004). Esta unidad posee un comportamiento acuífero excelente y buenos rendimientos. A manera de caracterización hidrodinámica del general Acuífero Puelches se presentan los siguientes valores tomados de Santa Cruz y Silva Busso, (1996) y Santa Cruz y Silva Busso, (2002):

- | | |
|----------------------------|---|
| ✓ Porosidad efectiva: | Hasta 20 %. |
| ✓ Permeabilidad: | hasta 25 m/d. |
| ✓ Transmisividad: | Entre 300-500 m ² /d. |
| ✓ Coef. de Almacenamiento: | 10 ⁻³ e incluso 10 ⁻⁴ |



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- ✓ Caudales Específicos: Entre 3 y 11m³/h.
- ✓ Caudales sostenibles: Entre 50 y 120 m³/h.
- ✓ Caudales máximos: Hasta 200 m³/h

Sus profundidades son variables entre 40 m. En las cercanías del Río Paraná a más de 100 m. en Pergamino, y 120 m en Junín. Sus espesores son muy variables (especialmente el cuerpo de arena) pudiéndose considerar valores más comunes entre 20 y 35 metros con espesores mayores en algunos puntos.

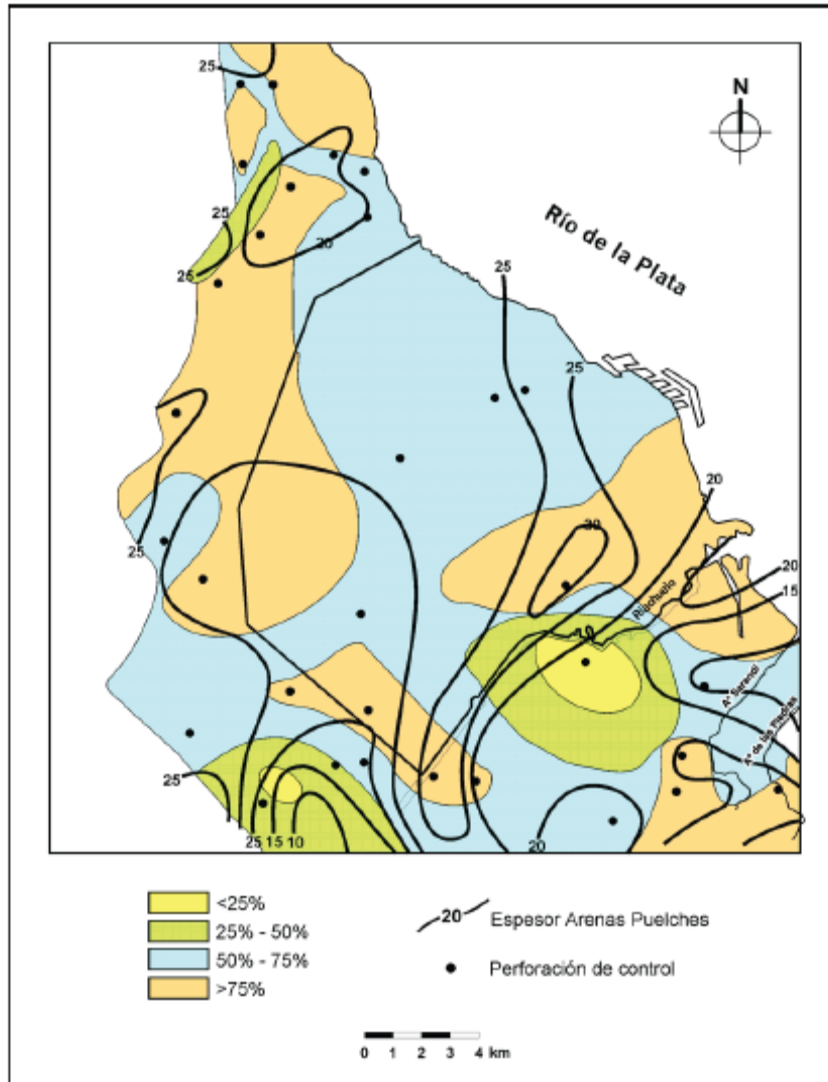


Figura 12. Mapa isopáquico de las Arenas Puelches, se muestra además el porcentaje de arenas (Auge, 2004).

Con respecto a la calidad química del Acuífero Puelches solo podemos mencionar que en términos generales se puede concluir en que la misma desmejora hacia el oeste de la región, abarcando una zona, en líneas generales, los partidos de Pergamino, Colón, Rojas, Salto y Chacabuco, donde el acuífero Puelches presenta agua con valores superiores a los 2000 mg/l de residuo salino. Hacia el este las condiciones mejoran y se registran valores de residuo seco inferiores a los 500 mg./l. En el mismo la salinidad varía con a la



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

posición respecto a las zonas de recarga y descarga. En general se las considera bicarbonatadas cálcicas-magnésicas sódicas y carbonato-cloruradas, pero pueden ser cloro-sulfatadas cuando se hallan infrapuestas a ambientes Postpampeanos, y/o en las cercanías de las áreas de descarga subterránea. (Santa Cruz y Silva Busso, 1996)

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Auge (2004) determina que en el caso del Acuífero Puelches la composición aniónica domina notoriamente el tipo bicarbonatado, con 36 muestras sobre 44 analizadas (82%); 7 muestras son cloruradas y sólo 1 sulfatada. El agua clorurada se emplaza en la Terraza Baja, donde el Cl⁻ promedia 210 meq/l. En la Terraza Alta el agua es bicarbonatada con una media de 8 meq/l y el Na, con una media de 11 meq/l domina ampliamente sobre el Ca (2,8 meq/l), el Mg registra 2,2 y el K sólo 0,4 meq/l. Por lo tanto el agua es bicarbonatada sódica en la Terraza Alta y clorurada sódica en la Baja.

Dicho autor (o.cit.) propone que de la relación flujo – concentración surge que el incremento gradual de cloruros, sulfatos y sodio y la disminución de calcio, en el sentido del escurrimiento, tipifica a un flujo regional para el Acuífero Puelche, en el ámbito de la Terraza Alta. En la Terraza Baja, los gradientes de aumento en los iones citados son mucho más fuertes y derivan de la salinización producida por las ingresiones marinas holocenas.

Además, y con respecto a la relación Na/Ca, Auge (2004) observa un ablandamiento natural del agua en el sentido del flujo, debido al incremento en el contenido de Na y a la disminución en el de Ca, con valores que son menores a 1 al Sudoeste de la ciudad, pasando a 1 a 5 en el sector central, hasta obtener valores que gradualmente pasan a mayores a 10 en la Terraza Baja.

El Acuífero Pampeano (suprayacente) se recarga por infiltración directa de la lluvia y además de sus propias características hidrogeológicas, se destaca por constituir la fuente de recarga del Acuífero Puelches, mediante el proceso de filtración vertical descendente (Auge, 1986).

La recarga está limitada en los ámbitos urbanos debido a la impermeabilización artificial (edificaciones, pavimentos, veredas); sin embargo alrededor del 19% de la ciudad (38 km²) son espacios verdes que permiten la infiltración. La filtración vertical descendente, también permite la migración de NO₃⁻ hacia el Acuífero Puelches, cuando el Pampeano está contaminado por vertidos domésticos y el Puelches presenta menor potencial hidráulico. El espesor que pueden alcanzar los Sedimentos Pampeanos varía entre los 20 y 40 m, en coincidencia con la profundidad del techo de la Formación Puelches.

El Pampeano prácticamente no se explota en la CABA, donde es necesario deprimirlo o drenarlo, cuando deben practicarse excavaciones por debajo de la superficie freática (cimientos para edificios, túneles, galerías, zanjas profundas, etc.). El abandono de pozos de abastecimiento para agua potable y la salida de servicio de otros empleados por la industria en muchos partidos del Conurbano (San Martín, Lomas de Zamora, San Fernando, Vicente López, Tres de Febrero, San Isidro, Morón), hizo que se produjera un lento ascenso del agua freática hasta profundidades que comprometen sótanos, cocheras subterráneas y cimientos de edificios, situación que en gran cantidad de casos obliga a drenar por bombeo y en forma permanente al agua freática.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

El agua del Pampeano en general es químicamente apta para consumo humano, con salinidades que normalmente se ubican por debajo de 1g/l. En lo referente a su composición, predomina el tipo bicarbonatado cálcico y sódico. En las regiones del Conurbano carentes de redes cloacales el Acuífero Pampeano está contaminado, especialmente la capa freática, por lo que constituye un factor de alto riesgo para la salud de la población, particularmente en aquellos parajes que también carecen de servicios de agua potable.

Los sedimentos pampeanos brindan caudales más bajos comparativamente con los caudales obtenidos en el Acuífero Puelches, debido a su menor permeabilidad. Sus valores más comunes en toda la región noreste de la provincia (dado que en la ciudad de Buenos Aires son casi desconocidos) son:

- ✓ Porosidad efectiva 10%
- ✓ Permeabilidad 5 a 10m/d
- ✓ Transmisividad 100m²/d a 200m²/d
- ✓ Coef. de Almacenamiento orden de 10⁻³
- ✓ Caudales Característicos o Específicos más comunes: de 1 a 3 m³/h
- ✓ Caudales obtenibles más comunes: Entre 40 y 100 m³/h.
- ✓ Caudales máximos sin garantía de sustentabilidad: hasta 150m³/h

En algunos sectores y por encima de esta unidad se identifican sedimentos más modernos denominados Postpampeanos de menor espesor y variado origen. El comportamiento hidráulico del Postpampeano es el de un acuífero de baja productividad en los horizontes arenosos y areno-arcillosos, mientras que se considera acuitardo – acuicludo en las unidades limosas y arcillosas. Auge (2004) menciona que con respecto a la salinidad y la composición química, el agua contenida en el Postpampeano presenta elevada salinidad (27 g/l), con predominio de NaCl. La baja productividad, la elevada salinidad y su vulnerabilidad a la contaminación, hacen que el Postpampeano prácticamente no sea utilizado como fuente de provisión de agua.

La recarga del sistema se produce a partir de las precipitaciones, especialmente en las áreas interfluviales y la descarga principal se produce en los cursos de aguas principales. Especialmente en muchos sectores del conurbano bonaerense, y en las cercanías a grandes núcleos urbanos hasta la década pasada, se han desarrollado grandes conos de depresión en el acuífero, permitiendo, en la costa del Río de la Plata, por ejemplo, un avance salino importante.

Desde una perspectiva regional los acuíferos de la Subsección Epipelches (Pampeano y Postpampeano) también registran un aumento de la salinidad de sus aguas hacia el oeste por ejemplo de oeste a este en Lincoln, por ejemplo, el Residuo seco alcanza los 1200 mg./l., en Bolívar los 1100 mg./l., en Colón los 1800 mg./l. En Arrecifes el residuo seco alcanza los 800 mg./l., Pergamino 1000mg/l, Mercedes 900 mg./l., Baradero y Campana 600 mg/l. El Acuífero Pampeano se caracteriza regionalmente por aportar a las aguas subterráneas elementos nocivos tales como Flúor y Arsénico que en muchos casos, dado los altos temores, impide su utilización como agua potable (Nicoli et. al., 1979).



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Es este aspecto la Ciudad Autónoma de Buenos Aires es carente de información hidroquímica o bien se emplea la escasa información del Conurbano Bonaerense en conjunto, se supone de buena calidad para el Acuífero Pampeano y en general salobre o salada para los acuíferos Postpampeanos ambos contenedores del acuífero freático. En Santa Cruz et.al., (1996) las aguas del acuífero libre pueden clasificarse como Bicarbonatadas Sódicas, Magnésicas-Cálcicas, mientras que las aguas semilibres del Acuífero Pampeano pueden clasificarse como Bicarbonatadas Sódicas, Cálcicas-Magnésicas (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). La salinidad del agua de esta Sección aumenta en las áreas de las llanuras de inundación del estuario y arroyos donde se hallan importantes depósitos de sedimentos Postpampeanos marinos que fácilmente superan los 2.000 mg./l (Santa Cruz y Silva Busso, 1996).



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

4.- MODELO HIDROGEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

4.1.- Aspectos sobre la piezometría del acuífero freático

A partir del censo hidrogeológico realizado entre los meses de febrero a abril de 2011 (Coriale *et.al.*, 2011), en el cual se registraron niveles estáticos del acuífero freático, se generó el mapa el cual describe mediante áreas de igual valor, el potencial hidráulico del agua subterránea en los freáticos medidos (ver figura 13). Aquí, preferiremos denominarlo esquema freático ya que en realidad, no posee líneas equipotenciales ni direcciones de flujo subterráneo.

De la observación de dicho plano, se corrobora a escala regional el sentido de flujo Oeste – Este, que al considerar referencias geográficas es desde la Av. Gral. Paz hacia el estuario del Río de la Plata. Dicho comportamiento es análogo al modelo conceptual que se conoce del acuífero libre contenido en los Sedimentos Pampeanos.

Asimismo la morfología de la superficie freática, observada del esquema freático, puede ser definida como suavemente ondulada con valores de gradiente hidráulicos del orden de $1,8 \times 10^{-3}$ a $5,8 \times 10^{-3}$. La divisoria de aguas del acuífero freático coincide con la divisoria de agua superficial, que en el plano se observa en la parte central y con sentido Sudoeste – Noreste. Dicha división genera dos sentidos de flujo en direcciones Sudoeste – Noreste y Noroeste – Sudeste.

En líneas generales, y como se mencionó anteriormente, el esquema describe el comportamiento y morfología del acuífero freático a escala regional, no pudiendo desprenderse del mismo anomalías locales tanto por el sentido, dirección y gradiente hidráulicos del flujo subterráneo, asimilando que dichas anomalías sean generadas por causas antrópicas como ser domos por recargas a partir de pérdidas de ductos (red pluvial, red cloacal y red de agua corriente), y/o pozos sumideros (pozos ciegos), y/o conos de depresión por bombeos a partir de pozos de abatimiento. Esta situación no satisface el objetivo principal del presente trabajo que es el de observar, ubicar y solucionar dichos comportamientos anómalos de la superficie freática por causas antrópicas.

Esta cartografía es de alcance regional y está en concordancia con lo ya expuesto en los estudios de recuperación piezométrica para el Conurbano Bonaerense de Santa Cruz y Silva Busso (2002) de la figura 14; y el mapa de variaciones piezométricas de Silva Busso y Rouiller (2007) de la figura 15. Esta piezometría posee una dispersión de puntos (freáticos o pozos) muy amplia y de escasa densidad, como para lograr una piezometría más local o detallada que sería la necesaria para una correcta interpretación de la mayoría de los procesos de anegamiento y/o recuperación freáticos en la ciudad. En el esquema freático se observa la misma tendencia de flujo y recuperación señalada para la Sección Epiparaneana del Conurbano Bonaerense, lo cual es lógico y consecuente, pero no aporta mayor detalle del que ya se conoce. Una freática detallada permitiría observar flujos locales y zonas con diferentes permeabilidades lo que podría explicar un buen número de los reclamos y zonas con anegamiento freático que de esta forma pasan inadvertidas a la cartografía hidrogeológica actual.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

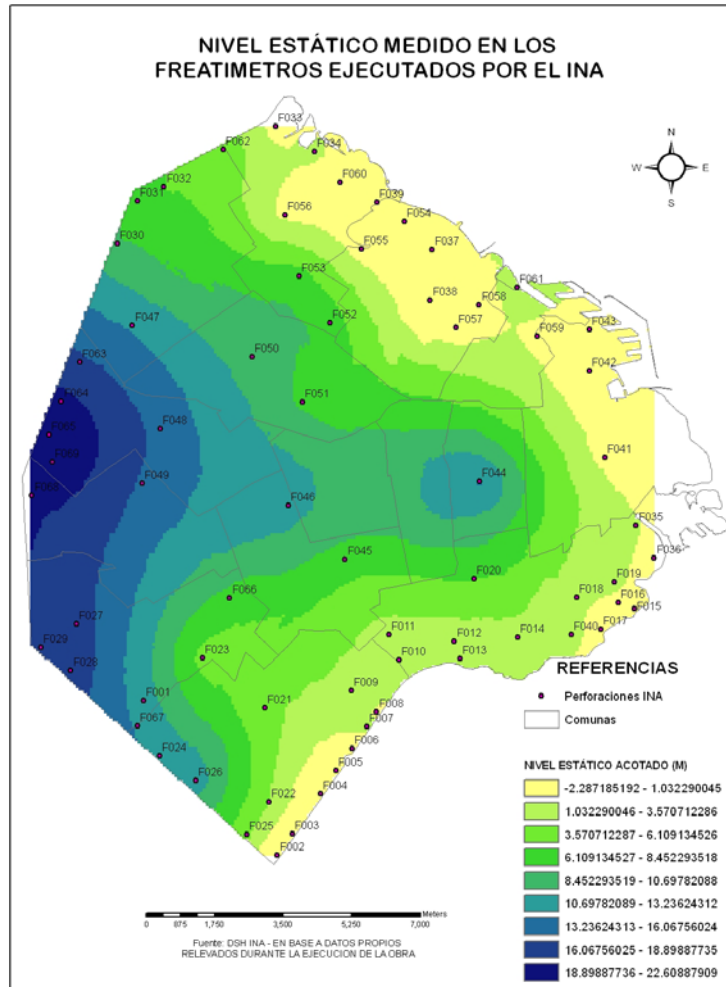


Figura 13. Esquema Piezometrico del Acuífero libre (freático) (tomado de Coriale *et al.*, 2011).

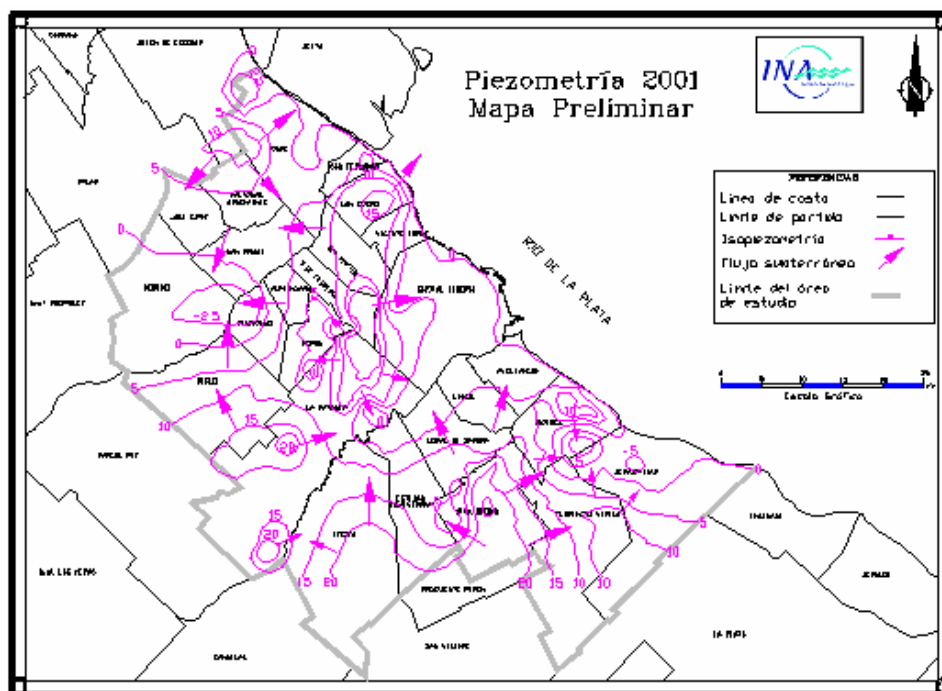


Figura 14. Piezometría Sección Epipelche, incluye el Acuífero libre. (tomado de Santa Cruz y Silva Busso., 2002).



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

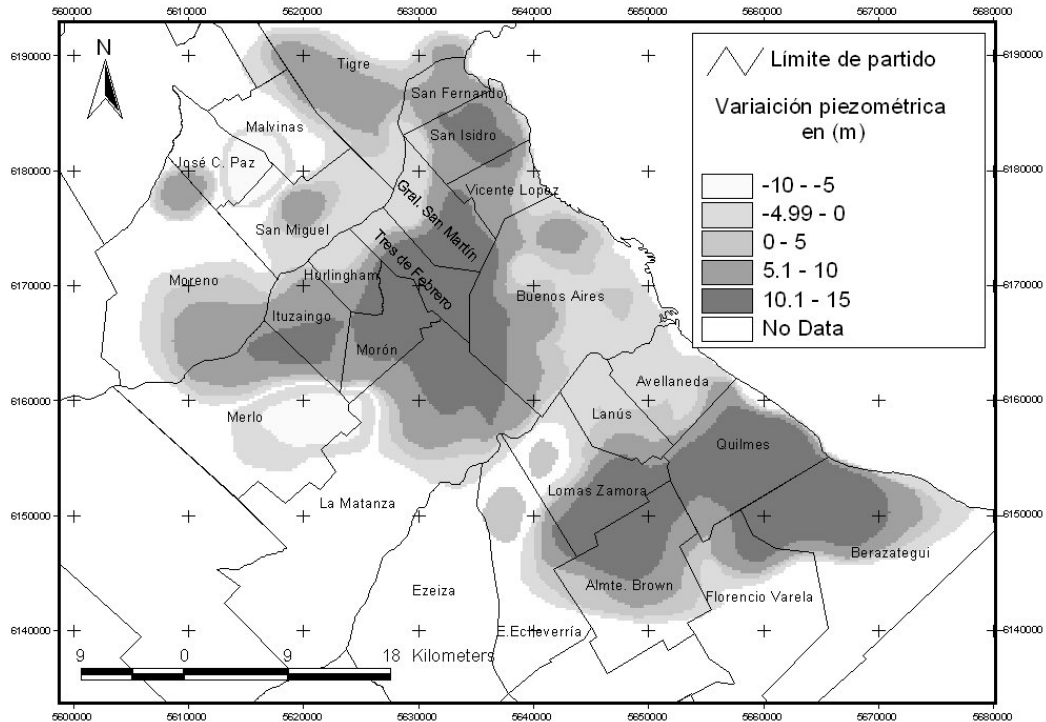


Figura 15. Variación piezométrica de la Sección Epipelche, incluye el Acuífero libre. (tomado de Silva Busso y Rouiller, 2007).

4.2.- Aspectos sobre la recarga del acuífero freático

La recarga, es el agua que atraviesa la zona no saturada, llega al acuífero freático y produce variaciones medibles del nivel freático. Las zonas urbanizadas ofrecen cierto grado de impermeabilización del suelo, no obstante se verifican fenómenos de recarga en todas las ciudades grandes del mundo. Ha sido demostrado que no es del todo cierta la afirmación de que las ciudades disminuyen la recarga de los acuíferos subyacentes, debido a procesos de impermeabilización mencionados.

Esto ha sido comprobado, a partir de los trabajos realizados por un grupo de investigadores británicos liderados por Lerner (2002) que presentaron los resultados de estudios realizados en varias ciudades alrededor del mundo. La recarga puede ser importante a partir de las pérdidas de la infraestructura sanitaria, de las pérdidas de las redes de distribución de agua potable y en forma natural en los espacios abiertos.

Lerner, (2002) en su estudio e incluso Blarasin *et al.* (2002) en Argentina, precisan que la recarga urbana puede ser igual o mayor a la de áreas rurales equivalentes. Yang *et al.* (1999) en la ciudad de Nottingham, estimó mediante un modelo de flujo del agua subterránea, utilizando un balance calibrado a partir tres especies conservativas (Cl, SO₄, N total), que para una recarga de 211 mm/año, 138 mm/año proviene de las pérdidas de la red de agua corriente y 10 mm/año de las pérdidas del sistema cloacal.

Por otro lado cuando las ciudades se localizan por encima de un acuífero productivo, y la extracción de agua es significativa, la disminución del nivel de agua puede enmascarar el aumento de la velocidad de infiltración urbana, y pueden ocasionarse problemas de subsidencia originados por el bombeo en



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

acuíferos no consolidados, Como ha sido el caso del Conurbano Bonaerense hasta fines el pasado siglo y aún lo es en algunas zonas.

Sin embargo a medida que evolucionan las ciudades, la extracción de agua dentro del área urbana, frecuentemente declina, tanto por deterioro de su calidad, como por factores económicos, como es el caso de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En estas circunstancias, el nivel del agua comienza a recuperarse y puede, eventualmente, después de algunas décadas, alcanzar niveles más altos a los que tenía al principio del establecimiento de la ciudad, como resultado de la recarga urbana adicional (Morris, 2003).

Silva Busso y Rouiller (2007), estudiaron en el conurbano bonaerense un sector dominado por la recuperación piezométrica, dónde previamente existía una mayor presión de demanda y profundidad de los conos de depresión (Hernández, 1978, Santa Cruz y Silva Busso, 1996 en Silva Busso y Rouiller, 2007). Indican que este proceso de recuperación piezométrica ha generado un nuevo cambio de flujo subterráneo y por ende del transporte y migración de sustancias disueltas, así como una modificación en el carácter influente/efluente de los ríos y arroyos, cambios en la recarga y conexión entre los acuíferos Pampeano y Puelches.

Para Morris (2003) las etapas en la utilización de los recursos de aguas subterráneas en una ciudad, puede sintetizarse como lo muestra la figura 16

Según dicho autor, en una ciudad en crecimiento, cambian las fuentes de provisión de agua de locales a peri-urbanas y posteriormente a fuentes más lejanas, a medida que aumenta la demanda de agua y la necesidad de una disposición segura de las aguas residuales. Esto se corresponde con la aparición de nuevas fuentes de recarga que se originan a partir de las pérdidas en la red de agua corriente, la red cloacal, drenajes pluviales, pozos negros, etc.

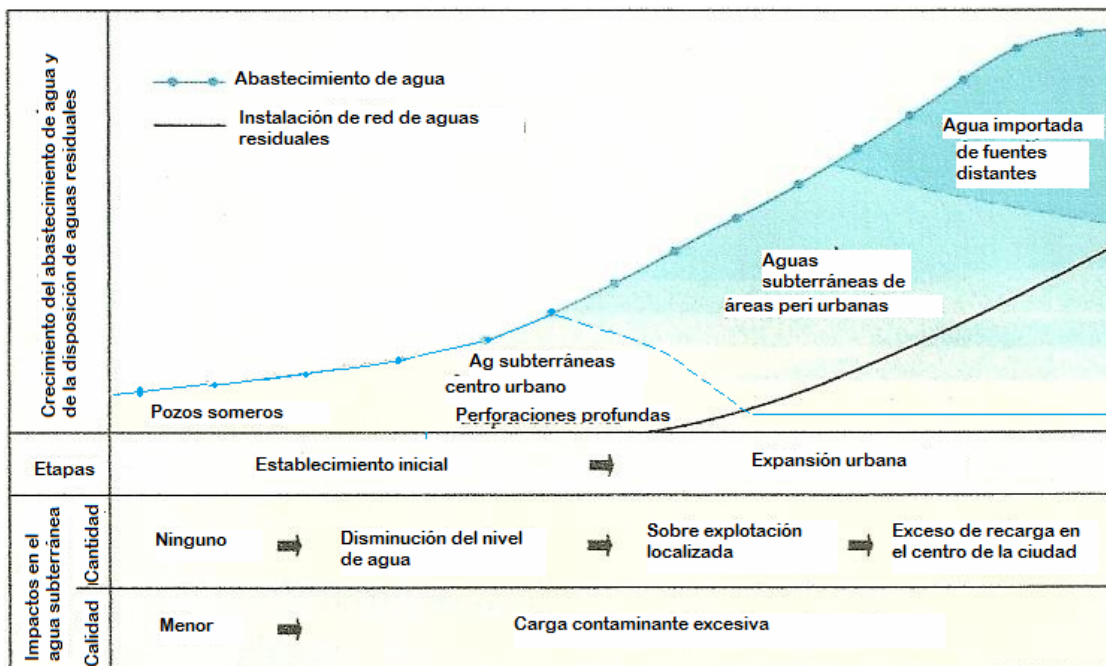


Figura 16. Evolución de la utilización de los recursos de aguas subterráneas de una ciudad (Morris, 2003)



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

Los niveles de agua subterránea, tanto dentro como en las afueras de la ciudad, experimentan cambios, debido a que tanto la demanda como la preocupación por la calidad del agua impulsan una modificación en los sitios de extracción del agua desde el centro de la ciudad hacia áreas peri-urbanas.

Se puede observar este patrón, en muchas ciudades, aunque la extensión y velocidad del cambio será muy variable dependiendo de la geología, de la provisión de agua y del sistema sanitario adoptado. Sin embargo, los cambios radicales en la frecuencia y velocidad de infiltración causada por la urbanización tienden a incrementar la velocidad de recarga. Si no se utiliza el acuífero subyacente o las capas superficiales están compuestas por materiales poco permeables, que no permitan la circulación del agua extra de recarga, entonces los niveles de agua subterránea aumentarán. Esta situación se asemeja a las condiciones hidrogeológicas de la Ciudad de Buenos Aires donde se manifiestan estos procesos. En principio, al aumentar los niveles de agua subterránea, los túneles y ductos pueden sufrir daños estructurales o quedar inundados, luego se pueden producir efectos hidráulicos y corrosivos en las fundaciones de los edificios, que son la causa de los reclamos vecinales.

En la zona del Conurbano Bonaerense se estimaron valores de infiltración potencial que se encontrarían entre el 0,1% – 7.59 % de las precipitaciones medias anuales (Hidroestructuras, 2001). Este estudio menciona que los valores más elevados fueron determinados en las estaciones meteorológicas que se encuentran en las áreas de menor urbanización y con posibilidades de infiltrar. No se han realizado, o al menos no existe disponible en la bibliografía, estudio de infiltración efectiva o recarga neta en la zona urbanizada de la ciudad ni en el Conurbano Bonaerense.

En el área del Conurbano Bonaerense pueden definirse un consumo del agua de uso domiciliario en base a los habitantes servidos y los volúmenes tratados en las plantas San Martín y Belgrano. Este consumo definido por Hidroestructuras (2001) en 480 l/hab/día permite definir los consumos de agua por habitante en la ciudad de Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense promedio para el periodo 1993-2001. En el área de la concesión actual de AySA y antes de la ex Aguas Argentinas han heredado estas pérdidas de la antigua red de Obras Sanitarias de la Nación, aunque la información provista por Aguas Argentinas, indicaba que los valores de pérdida de conducción de agua potable habían disminuido desde un 40% en 1993 hasta un 33% en el 2001.

Según Hidroestructuras (2001), único estudio de balances hasta la fecha, las pérdidas de conducción de aguas y cloacas previas a 1993 y posteriores a la expansión del servicio constituyen en conjunto un 21% del volumen incremental estimado para el periodo 1993-2001. Aunque parcialmente son porcentajes menores, en conjunto constituyen un volumen apreciable que debe ser considerado en futuros balances. Recuérdese, que la recarga natural estimada para el sistema acuífero constituye el único factor natural y alcanza un 1% del volumen incremental estimado para el periodo 1993-2001. También se deberían contabilizar las pérdidas del sistema cloacal y pluvial y las que se pueden producir en las obras de entubado de los arroyos porteños. Estos últimos estudios están ausentes de la bibliografía disponible.

En el informe de Hidroestructuras (2001) se considera otro aspecto interesante relacionado con las pérdidas de la conducción de las cloacas de



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

todo el Conurbano Bonaerense incluida la ciudad. El problema que se suscita es que el efluente cloacal posee valores de salida de DQO menores de lo previsto, según lo evaluado por OSN, Aguas Argentinas y luego AySA en la planta de tratamiento cloacal de Berazategui, y además en general las cloacas se encuentran a cotas muy cercanas al nivel del mar. El ascenso piezométrico de la región durante el periodo 1990 - 2001 las ha puesto en contacto con el acuífero pampeano; por esta razón en el informe de Hidroestructuras, (2001) se ha considerado la posibilidad de que las cloacas pueden estar funcionando en parte como captadoras del agua del sistema acuífero. A esto lo denominaron “efecto dren” ya que la cloaca sería efluente respecto del acuífero y drenaría al mismo. El valor de ganancia ha sido evaluado en su momento por la empresa Aguas Argentinas en un 15% en la red de cloacas y debe considerarse que este volumen es retirado del acuífero (Hidroestructuras, 2001).

Sin embargo, aunque la información de base es satisfactoria, las limitantes asumidas pueden contener errores apreciables e incluso ser especulativas y la premisa fundamental que consiste en considerar que la cloaca funcionaria efectivamente como un dren debe ser verificada en el terreno en futuros estudios. Tampoco se conoce con certeza si esta situación ha sido, de confirmarse el “efecto dren”, de igual magnitud todos los años. Se determinó que durante el periodo considerado las ganancias, que significan incrementos de volúmenes incorporados y/o no extraídos del sistema acuífero, son el 97% del balance preliminar restando solo un 3% atribuibles a pérdidas en el sistema acuífero por el “efecto dren” de las redes cloacales.

Fuera del ámbito del Conurbano Bonaerense existen pocos estudios urbanos que mencionen estos aspectos. A manera de ejemplo, en el estudio de Rossi (2012) para la ciudad de Concordia las pérdidas en los sistemas de distribución de agua potable y en la red cloacal. La figura 17 muestra esquemáticamente las principales rutas a través de las cuales se produce recarga en cualquier zona intensamente urbanizada. Si bien la cobertura de cloacas es de, aproximadamente, un 85% y la cobertura de la red de aguas corrientes es de un 80% aproximadamente no existen datos de pérdidas en conducción. Dicho autor, de acuerdo a informaciones aportadas por el Ente Autárquico de Obras Sanitarias del Municipio, se bombean desde el Río Uruguay 3200 m³/hora durante el verano y 2800 m³/hora en invierno.

Considerando una población de 170.033 habitantes, según el censo del año 2010, la cantidad de agua que se consumiría por habitante y por día para ambas estaciones será de 451 l/hab/día, durante el período de verano, y de 395 l/hab/día durante el período invierno. Un exceso de entre un 23 al 40% sobre el consumo previsto por la OMS que normalmente se atribuye a las pérdidas de conducción entre otros factores subordinados. Este ejemplo, foráneo a la ciudad de Buenos Aires pero no ajeno a sus similitudes, muestra que los problemas de anegamiento y/o recuperación freaticos si bien poseen características en común no son independientes de la “historia” del uso de la tierra y la explotación de recursos hídricos subterráneos. En todos los casos debe sumarse la escasa relevancia que estos aspectos han tenido en las obras civiles más significativas de la ciudad lo que da un cuadro de complejidad geotécnica asociado al mismo.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

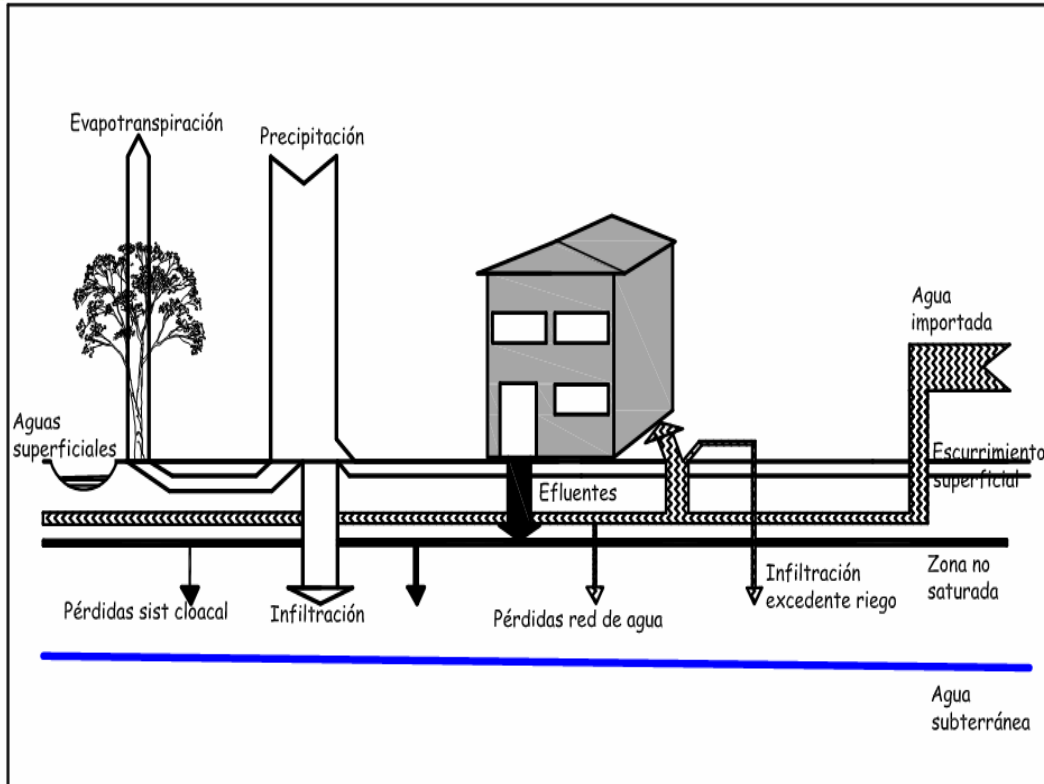


Figura 17. Modelo conceptual idealizado del funcionamiento de la recarga en zonas urbanas (tomado de Rossi, 2012)

4.3 Modelo de anegamiento/recarga del acuífero freático

De acuerdo al modelo propuesto hasta aquí, el crecimiento y la expansión urbana que ha experimentado la Ciudad de Buenos Aires, permitiría incluirla en la etapa de provisión de fuentes peri-urbanas. Casi no cuenta con perforaciones para abastecimiento industrial y definitivamente ninguna para provisión de agua de consumo humano. Solo en la localidad periférica de la ciudad existe explotación de agua subterránea (Florencio Varela, Berazategui, Moreno, Tigre, etc.), que en algunos casos se unen a la red y en otros, cuentan con su propia de distribución local. Entendemos que los problemas relacionados con el acuífero freático de la ciudad se debe a dos factores que denominaremos: “anegamiento freático” y “recuperación freática”.

Ambos son procesos relacionados entre si y en muchos casos difíciles de separar dado que suelen ser consecuencia uno de otro. Por anegamiento freático entendemos aquellos problemas donde la principal causa se relaciona con al circulación del flujo subterráneo a favor del gradiente hidráulico. La recuperación freática es el solo ascenso vertical de la columna saturada del acuífero libre. Al analizar el anegamiento/recuperación de las aguas subterráneas desde una perspectiva regional, se podría considerar, de acuerdo al análisis realizado en el mapa de áreas equipotenciales (Coriale *et. al.*, 2011), que el área urbana está sometida a un exceso en la recarga.

La situación se manifiesta como una problemática compleja que posee diversos aspectos concurrentes que pueden tener relación directa e indirecta con el anegamiento y/o recuperación piezométrica y que no han sido evaluados convenientemente, por ejemplo, la magnitud e intensidad de la afectación



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

consecuente y la potencial movilización de carga contaminante. Este exceso en la recarga que alimenta la freática podría atribuirse entre otras a las siguientes causas:

- ✓ La planta urbana de la ciudad cubre un área de 202 km². Sobre el área total puede considerarse que todas se encuentran pavimentadas, o sea el efecto de impermeabilización de las carpetas asfálticas debería ser significativo. Escasas y dispar infiltración potencial.
- ✓ Pérdidas en los sistemas de distribución de agua potable y en la red cloacal: la cobertura de cloacas es de, aproximadamente, un 30% y la cobertura de la red de aguas corrientes viejas es de un 30% aproximadamente y las nuevas un 10% aunque estas son muy escasas en la ciudad. Datos aportados en principio por la ex Aguas Argentinas (Hidroestructuras, 2001).
- ✓ Recarga neta elevada por aporte de las pérdidas de conducción de agua potable, cloacas, pluviales y arroyos entubados.

A estos factores debe además considerarse cuestiones Geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas e ingenieriles como por ejemplo:

- ✓ Variaciones laterales de la geología del acuífero freático, lo que determina que no debe considerarse un “todo lo mismo” sino realizar buenas correlaciones locales con la geología determinada por diversos autores.
- ✓ Una piezometría que, a escala regional manifiesta una dirección de flujo Oeste – Este, pero que en detalle o a escalas menores presenta líneas de flujo de circulación local que tienen mayor influencia en los procesos de anegamiento/recuperación feratimétrica.
- ✓ Tipo de suelos cuya aptitud geotécnica implicó obras de impermeabilización, uso de pantallas, pilotaje u otras que pueden funcionar de barreras impermeables a la dirección reflujos subterráneo.
- ✓ Megaobras que involucre excavaciones, túneles, entubados, carreteras u otras que pueden general algún tipo de endicamiento superficial e incluso subsuperficial.

La falta de información, falta de contemporaneidad, dispersión espacial y temporal, la ausencia de proyectos concretos de control y monitoreo de las variables físicas del sistema acuífero sumado a la variabilidad de la dinámica de la extracción por diversas causas antrópicas dificultan en gran medida una adecuada conceptualización del funcionamiento del sistema acuífero afectado. Por último, es de puntualizar que una adecuada gestión del sistema acuífero implica además de conocer y regular los factores antrópicos un conocimiento del funcionamiento hidrodinámico e hidroquímico a fin de una explotación ambientalmente racional y sustentable del mismo. Sin desmedro e otras causas posibles la figura 18 presenta un modelo posible de la situación de alimentación en la freática de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

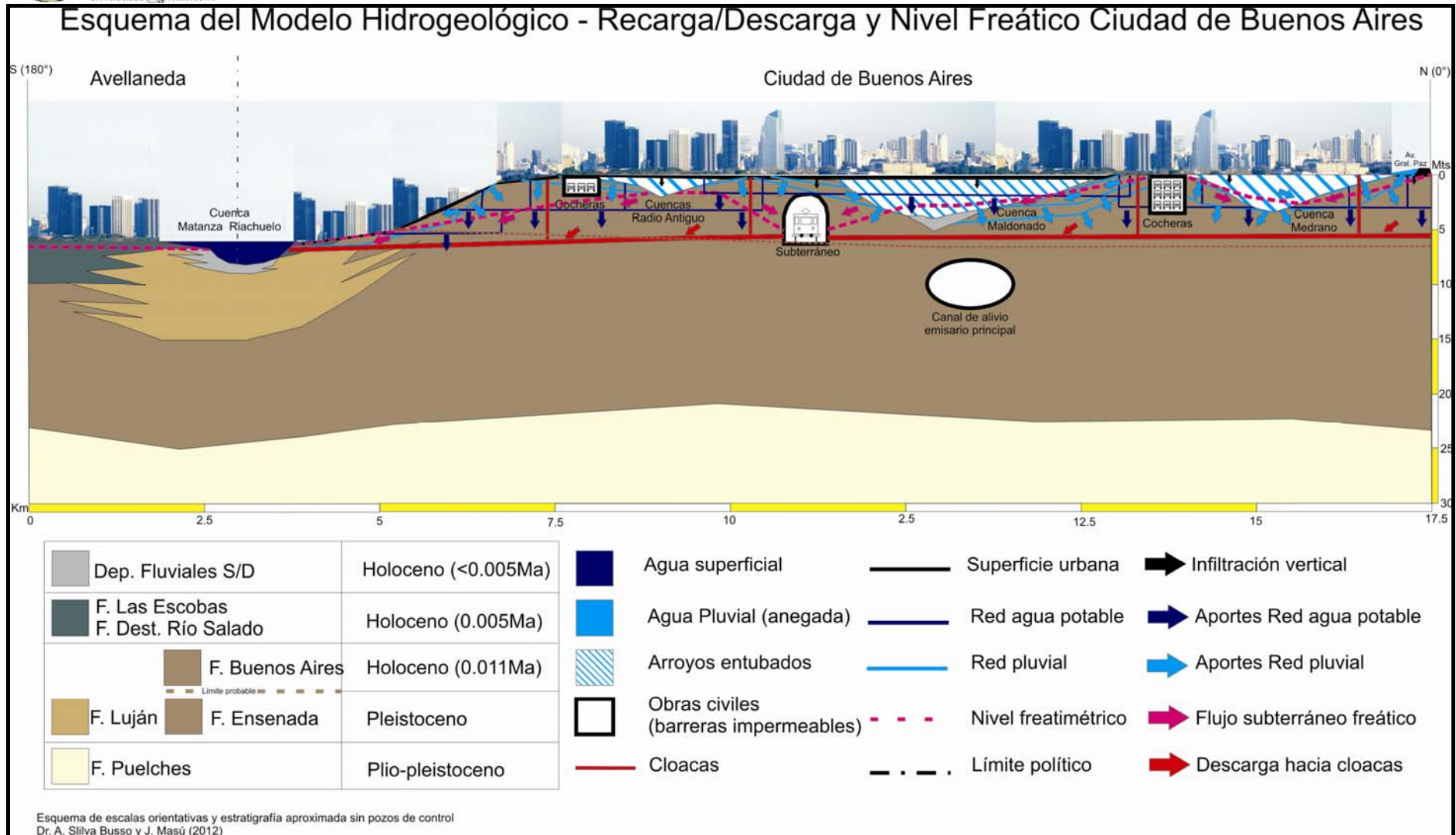


Figura 18. Modelo conceptual de la recarga en Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



5. ANÁLISIS PRELIMINAR DEL ANEGAMIENTO Y/O ASCENSO DEL NIVELES FREATIMÉTRICOS

5.1.- Relación entre reclamos y cuencas superficiales

La dimensión del problema de anegamiento y/o ascenso de niveles freáticos que pueden generar perjuicios en la propiedad e infraestructura de vecinos queda de manifiesto en la cantidad de reclamos vinculados con este proceso. La ciudad de Buenos Aires lleva registro de los reclamos y los mismos los podemos observar representados en la cartografía de la figura 19 (Anexo I).

Los reclamos se sintetizan separándose por circunscripción como se muestra en la tabla 2. Esto, si bien puede tener valor desde la gestión de la ciudad, no aporta información conclusiva sobre las causas del proceso el cual parece más relacionado con factores naturales hidrológicos, geotécnicos e ingenieriles.

COMUNAS	RECLAMOS
CGPC N° 10	232
CGPC N° 11	124
CGPC N° 9	40
CGPC N° 4	35
CGPC N° 13	23
CGPC N° 5	21
CGPC N° 6	21
CGPC N° 15	17
CGPC N° 2	14
CGPC N° 1	11
CGPC N° 3	11
CGPC N° 7	10
CGPC N° 14	10
CGPC N° 8	7
CGPC N° 12	1
TOTAL	577

Tabla 2. Reclamos a la fecha divididos por circunscripción

En el mismo mapa temático de la figura 14 se ha superpuesto los reclamos sobre la hidrología local de la ciudad. Se observa que existen cuencas donde la dispersión de reclamos no parece relacionarse con factores hidrológicos o geomorfológicos específicos como se observa en las cuencas de Radio Antiguo, Medrano y Boca Barracas. En las cuencas de Maldonado, Vega, Cildañez, Erezcano, Ochoa y Vega si parece haber relación entre la ubicación de los reclamos y las hidrología y geomorfología local.

Finalmente existen algunas cuencas con muy escasos reclamos como la del Puerto, Elia, Aporte Riachuelo, a pesar de encontrarse en zonas geomorfológicamente e hidrológicamente donde se esperaría niveles piezométricos altos. Esto no permite concluir en que el proceso no se manifiesta, indica más bien que ya sea por escasa urbanización o por el tipo de



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

construcción civil el proceso de anegamiento/recuperación no presenta daños de infraestructura significativos.

En términos generales la distribución presenta dos características para el proceso de Anegamiento/Recuperación freático uno vinculado a problemas de drenaje entre la relación agua superficial/subterránea en zonas de planicies de escorrentía e inundación. Este grupo lo definiremos como *Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas fluviales* refiriéndonos a este como un caso particular de problemática que requiere ciertos criterios de gestión.

Un segundo grupo es aquel en el cual el proceso de Anegamiento/Recuperación freático está vinculado a zonas de la planicie de llanura donde el problema aparece más individualizado o sujeto a causas muy locales. Este grupo lo definiremos como *Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas interfluviales* refiriéndonos a este como un caso particular de problemática que requiere ciertos criterios de gestión.

Dada las características urbanas de la ciudad y debido a que el uso de la tierra es un hecho consumado, es decir nos es posible relocalizar barrios o viviendas fuera de las planicies de inundación naturales, es difícil proponer otro método de mitigación que no consista en el empleo de bombeos del acuífero libre y/o semilibre de la región.

En este contexto se pueden emplear dos modalidades tecnológicas, el bombeo de pozos convencionales o pozos verticales y el bombeo en redes de drenajes horizontales.

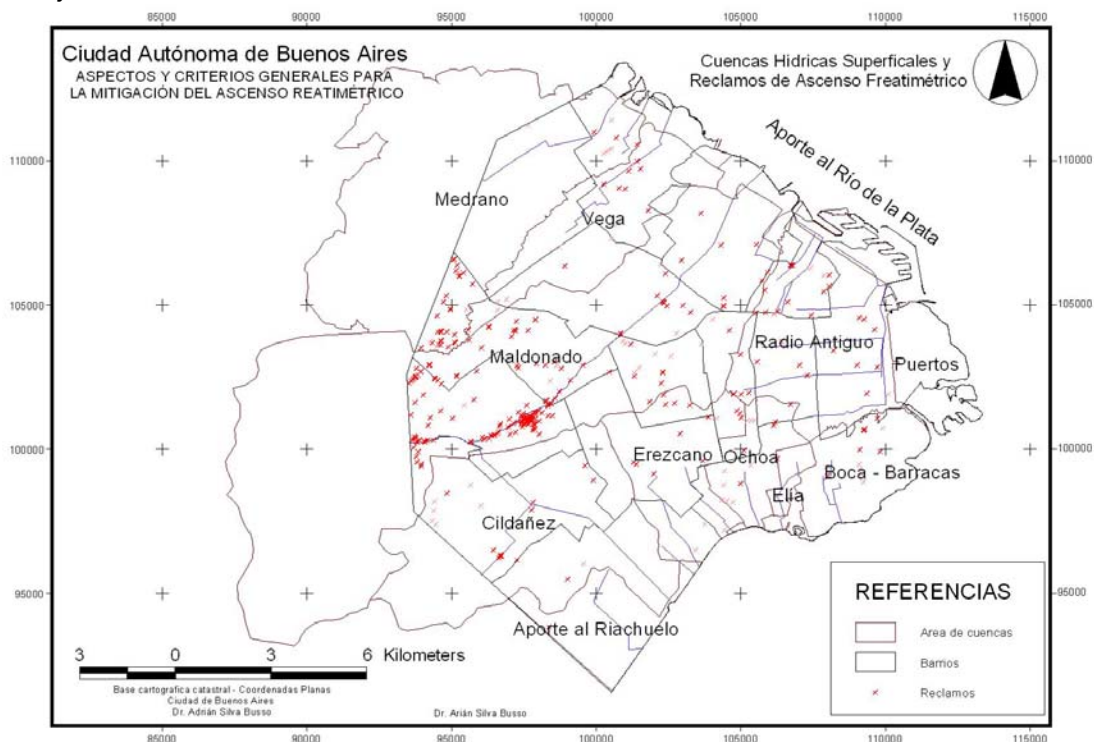


Figura 19. Ubicación de los reclamos y relación con la hidrología local

Los métodos de extracción son mecánicos, el primero de ellos es de más bajo costo y depresiones más profundas y áreas más reducidas en tanto que el segundo es de mayor costo con depresiones más someras pero cubre mayor superficie de abatimiento. Su aplicación depende de cada caso en particular. El primero de ellos se adapta mejor a zonas intensamente



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

urbanizadas y problemas regionales, en tanto el segundo se adapta mejor a zonas semi-urbanizadas y problemas locales.

En todos los casos el acuífero que se sometería a bombeo es el Acuífero Pampeano o Postpampeano y debe evitarse el abatimiento desde el Acuífero Puelches. Este último solo en algunos casos puede bombearse para reducir la presión del mismo y evitar el ingreso de agua desde este a al sobre impuesto sobre todo en las zonas de planicie de inundación. Al respecto de uso del abatimiento hidráulico como alternativa se deben considerar los siguientes inconvenientes generales:

- ✓ La información y estudios hidráulicos sobre acuíferos en la región son muy pobres, el Acuífero Puelches posee más información debido a su interés en la explotación del recurso, pero a la información hidráulica del Acuífero Pampeano o Postpampeano objeto prioritario de abatimiento es nula o casi nula.
- ✓ En muchos sitios la aplicación de soluciones individuales o parciales no solucionará el problema en conjunto y deben implementarse soluciones integrales más regionales.
- ✓ Dada las características de la recarga urbana deben de atenderse muy especialmente la evacuación del agua para que la misma no alimente nuevamente al acuífero aguas en otras zonas trasladando el problema en lugar se solucionarlo.
- ✓ La necesidad de monitoreo es permanente y deberá de instalarse un sistema de alerta adecuado a este fin.

Sobre la base de estos considerandos se enumerar los criterios generales para cada zona propuesta.

5.2 Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas fluviales

Este grupo es probablemente el que contiene el mayor porcentaje de reclamos en la ciudad. La figura 20 presenta la ubicación de los reclamos en relación con las zonas de planicie de escorrentía e inundación que constituye el área máxima posible de inundación de la ciudad. Como se observa un gran número de reclamos se ubican en esta región siguiendo las áreas vinculadas los principales arroyos. El caso más emblemático es la cuenca del Arroyo Maldonado en su cuenca media y alta.

A priori la causa del anegamiento/recuperación de la freática puede deberse a dificultades en la circulación de flujo subterráneo, que como ya se dijo previamente, dada las escalas de trabajo y la red de monitoreo actual no permite mayor detalle ni verificación. No obstante, esta hipótesis se basa en que el acuífero alimentado por infiltración y pérdidas en la red pluvial o de abastecimiento en periodos de precipitaciones importantes encuentra dificultades para descargar sus aguas en los arroyos entubados de la ciudad.

Estas dificultades pueden relacionarse con la propia urbanización que crea barreras impermeables locales que complejizan el drenaje subterráneo provocando anegamientos sobre todo en las zonas naturales de descarga. Esta región puede ser mitigada con el empleo de baterías de bombeo y abatimiento pero debe tenerse en cuenta dos factores decisivos:



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- ✓ Aplicación de abatimiento de forma regionalizada (no soluciones parciales), es decir un campo de abatimiento siguiendo rasgos hidrológicos o geomorfológicos.
- ✓ Una rápida y adecuada evacuación de las aguas extraídas, es decir que no pueden ser volcadas nuevamente al sistema pluvial o cloacal si no se conoce su influencia local o si se sospecha que nuevamente puede alimentar el acuífero libre o semilibre.

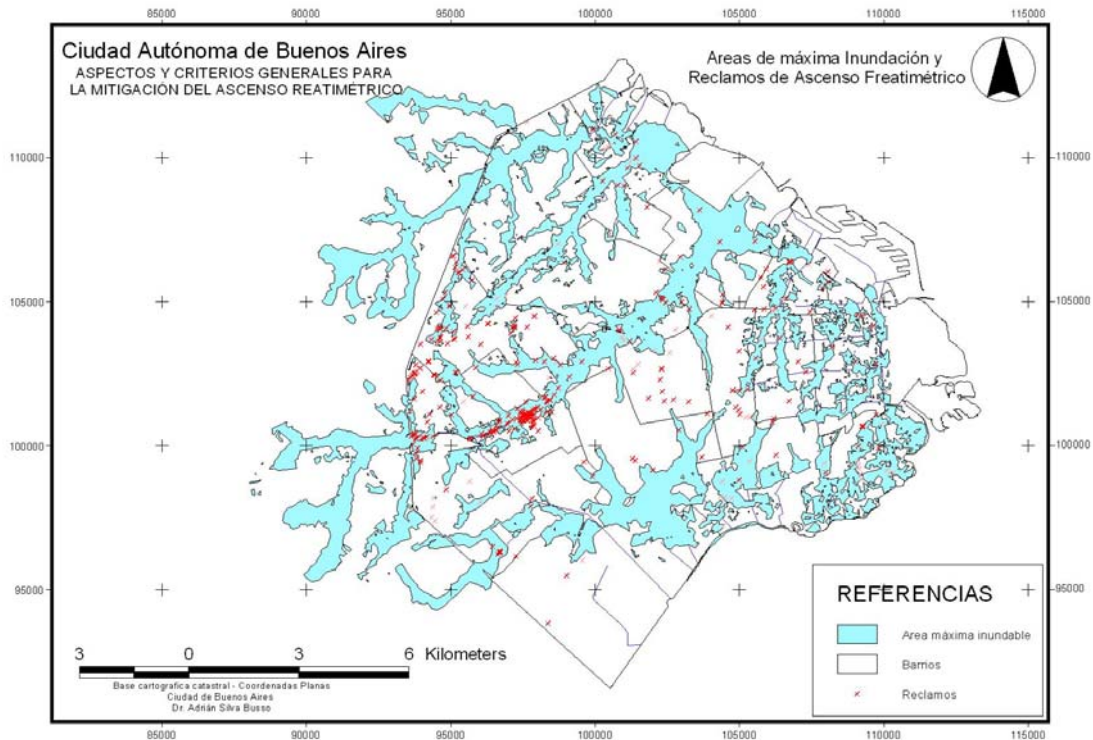


Figura 20. Ubicación de los reclamos y relación con las zonas de máxima inundación relacionadas con las planicies de inundación y escorrentía.

Dada la intensa urbanización local el sistema menos complejo es el empleo de pozos de abatimiento convencionales que por coalescencia lateral de conos depriman la zona en conjunto. Esto puede complementarse con algunos pozos al Acuífero Puelches para reducir la posibilidad de ingreso de agua subyacente. En todo caso esta solución requerirá de:

- ✓ Red de monitoreo más detallada y piezometría en detalle del área de abatimiento.
- ✓ Estudio geológico que permita identificar claramente los niveles de aporte locales
- ✓ Estudio hidrogeológico en detalle que involucre datos hidráulicos locales (no extrapolados de otros sitio) de la zona de abatimiento.
- ✓ Datos de evolución de la freaticimetría con detalle diario al menos durante 2 años en varios puntos de interés hidrogeológico.
- ✓ Modelización numérica del abatimiento y estudio de escenarios y alternativas más eficientes de la distribución futuros pozos de bombeo.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- ✓ Construcción de pozos de abatimiento y seguimiento de los mismos durante al menos un año para validar el modelo propuesto.

Un caso especial de atención requiere las zonas relacionadas con anegamiento por precipitación local y por sudestadas. El caso de anegamientos por precipitaciones locales y su relación con los reclamos puede verse en la figura 21. Aquí lo consideraremos un caso particular dado que el anegamiento es esporádico y de corta duración y se desconoce si la cantidad de agua infiltrada en estos eventos es capaz de generar un anegamiento del flujo subterráneo. Es escasa la cantidad de reclamos en estas zonas y es probable que atienda a problemas muy localizados que podría solucionar con un adecuado drenaje del agua pluvial o alguna obra civil de alcance local. Este problema alcanza cierta importancia en la zona oeste en el límite perimetral de la ciudad en zonas circundantes a la Av. Gral. Paz (ver figura 18).

Encontrar una hipótesis que justifique esta asociación es difícil sobre la base de la información disponible, no obstante, parece que una parte de la traza de la Avenida Gral. Paz disecta el eje de una afluyente del Arroyo Medrano interrumpiendo la escorrentía natural y endicando el agua de precipitaciones. Un resultado posible es que el agua pluvial al no encontrar salida en su cuenca lentamente infiltre y/o la red pluvial la redireccione al Arroyo Maldonado lo que provoca un aporte de agua suplementario a una zona con dificultades de drenaje subterráneo ya manifiestas.

En este caso las soluciones posibles deben estudiarse en detalle pero atenderá sin duda a una solución hidrogeológica, geotécnica e ingenieril en conjunto. Finalmente, los episodios de sudestada anegan parte de la ciudad como lo muestra la figura 22 donde los reclamos son muy escasos.

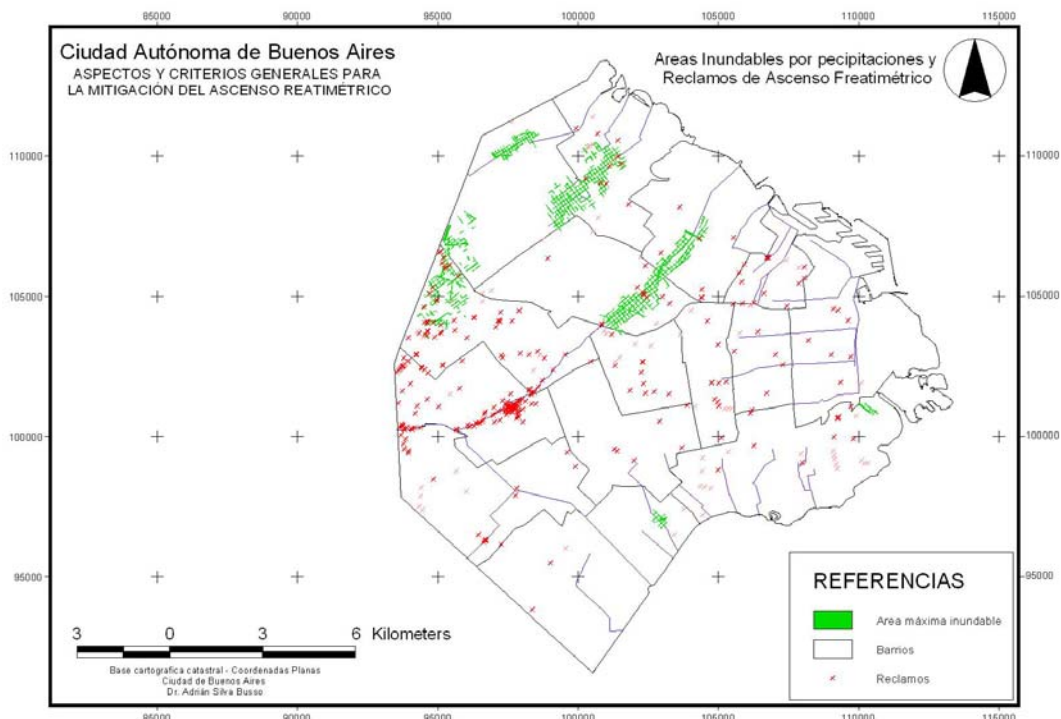


Figura 21. Ubicación de los reclamos y relación con las zonas inundadas por precipitaciones locales.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

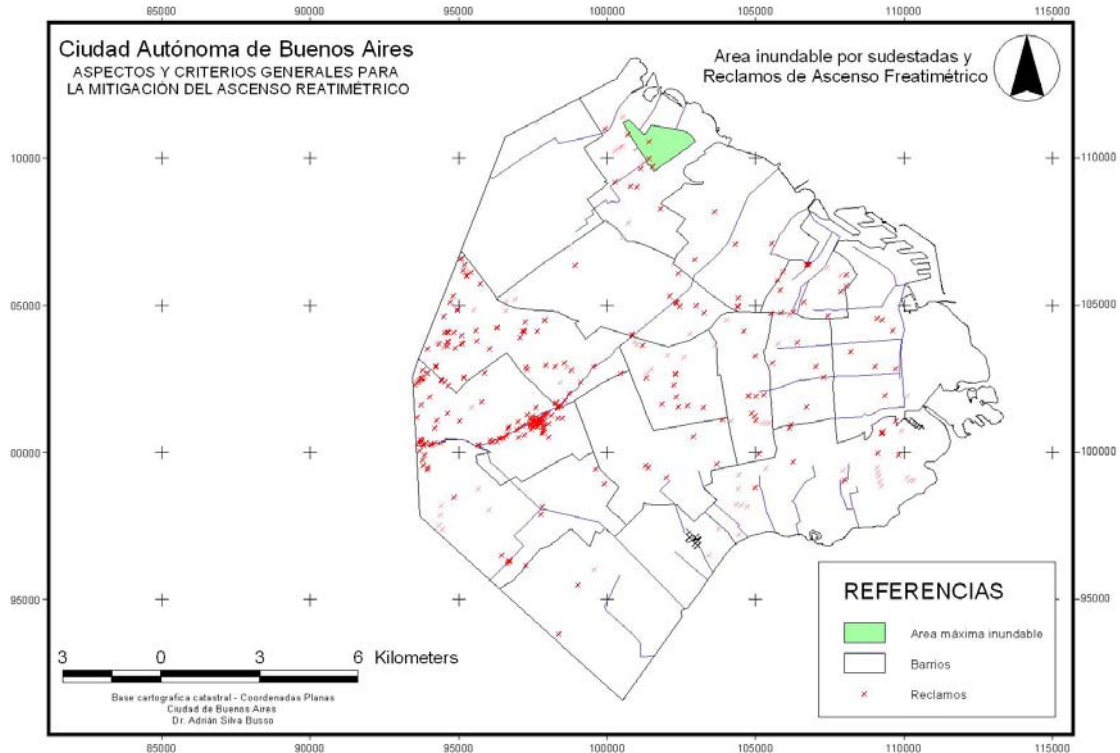


Figura 22. Ubicación de los reclamos y relación con las zonas inundadas por sudestadas.

Muy probablemente los reclamos coincidan con los días en que se manifiesta el fenómeno en una zona donde los niveles freáticos suelen ser altos y en sedimentos donde la infiltración es lenta dada su baja permeabilidad. Aquí se podría recurrir a bombeos locales tanto en sistemas tradicionales como horizontales en función de posibilidades técnicas y costos.

5.3. Problemas de Anegamiento Subterráneo en zonas interfluviales

Los problemas de anegamiento/recuperación que se han incluido en esta clasificación corresponden con los reclamos realizados en las zonas ubicadas fuera de las planicies de inundación, es decir en la planicie ondulada de la ciudad. En estos casos la causa principal dominante puede ser la recuperación freática dado que la dispersión de los reclamos indicaría que no parece haber una causa común fisiográfica para los mismos.

Este grupo es probablemente el que contiene el menor porcentaje de reclamos en la ciudad. La figura 23 presenta la ubicación de los reclamos en relación con las zonas de planicie ondulada de la ciudad. Como se observa, los reclamos se ubican en esta región de forma dispersa no siguiendo un patrón fisiográfico o específico de fácil determinación, pudiendo bien tratarse de problemas locales relacionados con factores ingenieriles o geotécnicos.

Dada la intensa urbanización local de estas áreas el sistema menos complejo es el empleo de pozos de abatimiento convencionales que por coalescencia lateral de conos depriman la zona en conjunto peor de aplicación localizada.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología
silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

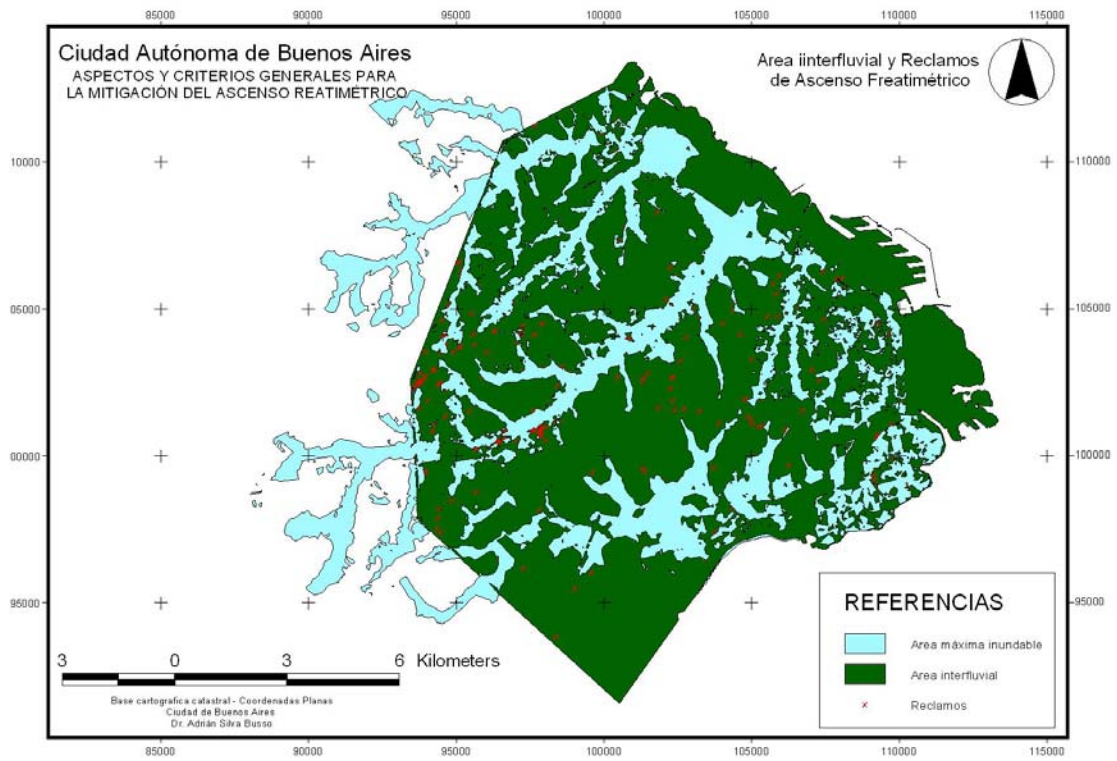


Figura 23. Ubicación de los reclamos y relación con las zonas de planicie de llanura.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

6.-CONCLUSIONES

Tal vez la principal conclusión de este estudio, es la ausencia de una información suficientemente detallada para dar una explicación satisfactoria a los procesos de anegamiento y/o recuperación freática en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Si bien a una escala regional y en función de la información existente, tanto dentro como fuera del perímetro porteño, se puede comprender las diferentes causas de los procesos mencionados y es posible tener una relativamente adecuada y actualizada visión regional.

No obstante, al intentar comprender los procesos a una escala local que permita recomendar acciones concretas o planes específicos de mitigación encontramos el inconveniente de falta de información detallada, redes freáticas muy dispersas en el espacio y tiempo, escasas o nula información hidráulica que permita explicar el funcionamiento acuífero, completa ignorancia de los mecanismos reales de recarga y su magnitud local (y regional también), desconocimiento de las verdaderas pérdidas de conducción de redes de agua potable y pluviales.

Además de poca información geotécnica, falta de relevamiento de algunos aspectos ingenieriles que pueden ser de utilidad local. Todo esto en una circunstancia de aplicación de recetas o métodos que se dan por probos sin más análisis que su aplicación en sitios radicalmente diferentes o soluciones parciales e individuales de vecinos o empresas que si bien pueden solucionar su contingencia se desconoce su efecto en el entorno.

En este contexto este estudio solo concluye en mencionar algunos aspectos que, a una escala regional, parecen asociarse. En primer lugar se sugiere considerar el proceso como el efecto combinado de recuperación y anegamiento del nivel freático y separar aquellos problemas de anegamiento subterráneo en zonas fluviales relacionando los reclamos con las áreas de inundación naturales de los principales arroyos, y de forma subordinada con las áreas de anegamiento pluvial y de sudestadas. A priori, la causa del anegamiento/recuperación de la superficie freática puede deberse a dificultades en la circulación de flujo subterráneo. No obstante, esta hipótesis se basa en que el acuífero alimentado por infiltración y pérdidas en la red pluvial o de abastecimiento en periodos de precipitaciones importantes encuentra dificultades para descargar sus aguas en los arroyos entubados de la ciudad.

Por otro lado problemas de anegamiento subterráneo en zonas interfluviales que incluye zonas con reclamos realizados en las zonas ubicadas fuera de las planicies de inundación, es decir en la planicie ondulada de la ciudad. En estos casos la causa principal dominante puede ser la recuperación freática dado que la dispersión de los reclamos indicaría que no parece haber una causa común fisiográfica para los mismos. Dada la intensa urbanización local de estas áreas el sistema menos complejo es el empleo de pozos de abatimiento convencionales que por coalescencia lateral de conos depriman la zona en conjunto pero de aplicación localizada.

Debe considerarse que las recomendaciones sugeridas a continuación son solo una primera aproximación al estudio de mitigación de estos procesos y que aún existen importantes incertidumbres sobre el funcionamiento



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

hidráulico de los acuíferos en la ciudad, aspecto clave para cualquier plan adecuado de gestión/mitigación.



7.- RECOMENDACIÓN

Este estudio, sobre la base de la información disponible, solo puede recomendar aspectos y criterios generales para la mitigación del ascenso freático, pero para la confección de un plan de acción deben considerarse aún otros objetivos previos.

Esto plantea a nivel regional dos grandes zonas para el abordaje de esta problemática urbana en las cuales se puede mencionar algunos criterios que pueden guiar las recomendaciones como se detallan en la tabla 3.

	Zonas Fluviales	Zonas Interfluviales
Proceso dominante	Anegamiento y recuperación subordinada	Recuperación y Anegamiento subordinado
Alcance de Afectación	Regional	Local
Tipo Mitigación	Bombos verticales en batería	Bombos verticales y drenes horizontales
Alcance de la Gestión	Municipal (compartida municipio y propietarios)	Individual (propietarios)

Tabla 3. Resumen de los criterios de abordaje para un futuro plan de gestión/mitigación

Propuestas para la elaboración de un diagnóstico de apoyo a planes de monitoreo y gestión.

Para alcanzar los objetivos de un plan adecuado de mitigación y gestión, como primera instancia, se debería anexar mayor cantidad de freáticos a la red de monitoreo actual con el fin de aumentar la densidad de datos. La cantidad de freáticos necesarios serían los suficientes para alcanzar la densidad de 1 freático/km², y la ubicación de los mismos debería ser tal que formen una grilla de distribución homogénea dentro de los límites geográficos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Además no debe descartarse la construcción de freáticos más intensos donde la complejidad de problema lo requiera.

- Es fundamental la obtención y análisis de la información hídrica existente, piezometría de años anteriores en el área porteña y los partidos circundantes. Obtener, en principio, una freaticimetría anual regional que incluya calidades de agua (aniones y cationes mayoritarios especialmente).
- Obtener información sobre caudales de arroyos, redes pluviométricas, pérdidas de conducción de agua potable.
- Mejora en la cobertura de información piezométrica y química en zonas definitivamente altas y bajas (áreas de recarga y descarga).
- Estudios específicos de hidráulica de acuíferos, sobre todo el acuífero libre.
- Determinación y ajuste de indicadores indirectos que reflejen el consumo de agua y su variación temporal.
- Estudio de las relaciones excesos lluvia vs. ascenso agua subterránea y realizar un balance ajustado a las características de la región.
- Cálculos de volúmenes de infiltración neta o recarga neta por serie de precipitaciones y otros factores que sean considerables.
- Determinación de zonas de diferente afectación, origen y características.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- Estimación de afectación de las áreas con sedimentos del postpampeano por utilización antrópica y posible afloramiento de los niveles piezométricos más profundos.
- Chequeo de medidas de mitigación particulares encuestadas para ajustar los valores de agua extraída actualmente sin gestión alguna.
- Determinación de puntos representativos y factibles de realizar en otra etapa posterior ensayos por bombeo.
- Relevamiento de las principales obras de interferencia por entubamiento de arroyos y estimación del efecto sobre la posible elevación local de las napas.
- Recopilación de datos y mediciones selectivas del estado de situación de las napas en los Partidos circundantes, su relación hidrogeológica-hidroquímica regional, y con el ciclo hidrológico.
- Planteo de un pre-modelo conceptual de funcionamiento regional y evolución del sistema acuífero subterráneo que sirva como base a un modelo matemático.
- Incorporación de los datos hidrogeológicos obtenidos a una base de datos diseñada para el prediagnóstico y alerta de napas.
- Debería entrenarse personal calificado y específicamente comprometido en esta tarea.
- Confección de una cartografía temática con herramientas de SIG que sirva de apoyo a todas las tareas técnicas y de gestión mencionadas. Esto permitirá el análisis de cruces entre distintas variables y relaciones espaciales.

Finalmente y alcanzado una densidad de información regional y local adecuada será posible confeccionar planes de mitigación y gestión eficientes y sostenibles en el tiempo.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

8- BIBLIOGRAFÍA

- AMEGHINO, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Actas VI, Córdoba.
- AUGE M., M. HERNANDEZ Y L. HERNANDEZ, 2002. Actualización del Conocimiento Acuífero del Acuífero Puelches en la Prov. de Buenos Aires. XXXII IAH & ALHSUD International Congress. Groundwater and Human Development, Mar del Plata, Argentina.
- AUGE, M.P. Y HERNANDEZ, M., 1983. "Características geohidrológicas de un acuífero semi confinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las llanuras dilatadas" Hidrogeología de las Grandes Llanuras, Actas del Coloquio de Olavarría. II 1019:1042, UNESCO-CANAPHI, Buenos Aires.
- BLARASIN, M; CABRERA, A Y FELIZZIA, J. 2002. "Evaluación geohidrológica del área afectada por ascenso del nivel freático en la ciudad de Río Cuarto. Córdoba. Argentina" Groundwater and Human development. Bocanegra, E, Martínez, D, Massone, H (Eds). ISBN 988-544-063-9
- CAPPANINI, D., 1966. Suelos de la Zona Litoral Estuárica Comprendida entre la Ciudad de Buenos Aires al norte y La Plata al sur., Publicación del INTA,. Buenos Aires, Argentina
- CODIGNOTTO, J. O., 1990 a. Acreción en el Río de la Plata superior. Simposio Internacional sobre Costas. La Plata, 19-20 noviembre. Res. 13.
- CODIGNOTTO, J. O., BEROS, C. A. Y TREBINO, L. G., 1987. Nuevo método cronoestratigráfico, Morfocronología en secuencia deposicional cordoniforme. Asociación Geológica Argentina, Rev. 42(3-4): 462-468.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI-EASNE), 1972. Contribución al Estudio Geohidrológico de la Región NE en la Prov. de Buenos Aires. Serie Técnica 24., Buenos Aires, Argentina.
- CORIALE C., L. SOLÍS, J. MASÚ, M. ROSJKIND, C. MOYANO, C. REY, M.DENTE Y S. FLORES, 2010. Caracterización Hidrogeológica y Ambiental de la Napa Freática en la Ciudad de Buenos Aires, Informe Técnico, Insitituto Nacional del Agua (Inédito).
- DALLA SALDA, L. 1999. Basamento Granítico – Metamórfico de Tandilia y Martín García. Cratón del Río de la Plata, SEGEMAR, Geología Argentina, Anales 29 (4):97-100, Buenos Aires, Argentina.
- DOERING, A., 1882. Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio A. Roca. Entrega 3, 3a. parte, Geología: 295-530, Ostwald y Martínez, Buenos Aires
- d'ORBIGNY, A., 1842. Voyage dans l'Amérique Meridionale, exécuté pendant les années 1826-1833. 3, Géologie, Paris, Strassbourg
- ETCHEVEHERE, P., 1975. "Suelos." EN: VI Cong. Geol. Arg. Relatorio. 219-229. Asoc. Geol. Arg. Bahía Blanca.
- FERREIRO, V., 1987: Lineamientos generales y regionales para un plan maestro de ordenamiento hídrico del territorio bonaerense. M.O.S.P. La Plata.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- FERREIRO, V., 1989: "Cartografía temática con base geomorfológica. Mapa de riesgo hídrico." EN: V Curso Internacional de Hidrología General con énfasis en Hidrología Subterránea-Con aspectos ambientales -. Buenos Aires.
- FIDALGO, F., 1983: "Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca del río Salado y en la Pampa Ondulada." EN: Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. CONAPHI. Tomo 2:1045-1067. Olavarría. Argentina.
- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F. O. Y PASCUAL, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires, 103-138. Bahía Blanca.
- FIGINI, A., 1992: "Edades ^{14}C de sedimentos marinos holocénicos de la Prov. de Buenos Aires." EN: 3as Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas. 147-151. La Plata.
- FRENGUELLI, J., (1950): "Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires." EN: Rev. LEMIT. Serie II, No. 33. La Plata.
- FUCKS, E.Y F. DE FRANCESCO, 2001. Características Ambientales de la Cuenca del Arroyo de la Cruz y del Sector Inferior del río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina. III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenamiento de Territorio, Actas en CD ISBN 987-544-003-5, Mar de Plata, Argentina.
- HIDROESTRUCTURAS, 2001. Situación de las Napas en el Conurbano Bonaerense y Factores Responsables Naturales y Antrópicos (PREDIAGNOSTICO FEBRERO 2002), Informe Técnico. Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- GATTI, D., 2003. "Elementos Hidroestratigráficos para la protección de Acuíferos en el área del Conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires". Beca de Iniciación del Instituto Nacional del Agua.
- GONZALEZ BONORINO, F., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Asociación Geológica Argentina, Rev. Tomo 20 (1): 67-148. Buenos Aires.
- GROEBER, G. 1961. Contribución al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores. *Anales Comisión de Investigaciones Científicas*, Provincia de Buenos Aires, 2: 9-54.
- HERNÁNDEZ, M. A., 1975. "Efectos de la Sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. Rep. Argentina". II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. La geología en el Desarrollo de los Pueblos.
- HERNÁNDEZ, M.A, 1978. "Reconocimiento Hidrodinámico e hidroquímico de la interfase Agua Dulce- Agua Salada en las aguas subterráneas del estuario del Plata". (Partidos de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires). VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén , Actas II: 273-285.
- HERRERA, C., 1993. Evolución Holocena en Sectores de la Costa Bonaerense del Estuario del Río de la Plata. Tesis de Licenciatura Dpto. de Geología FCEyN, Universidad Buenos Aires (Inédita).
- I.N.T.A., 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (escala 1:500.000). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- Nacional de Tecnología Agropecuaria, CIRN - Instituto de Evaluación de Tierras. Buenos Aires, 1989.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (INGM), 1965. Perfiles de Perforaciones, Periodo 1916-1925. Ministerio de Economía de la Nación, Secretaria de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. Instituto Nacional de Geología y Minería. Publicación 152.
- IRIONDO M., 1980. Esquema Evolutivo del Delta del Paraná durante el Holoceno. Simposio sobre Problemas Geológicos del Litoral Atlántico Bonaerense. Resúmenes Pág. 73-88. Comisión de Investigaciones Científicas de Mar del Plata
- LERNER, D.N. 2002. "Identifying and quantifying urban recharge: a review". Hydrogeological Journal, 10 (1); 143-152.
- MORRIS, BL; LAWRENCE, ARL; CHILTON, PJ; ADAMS, B; CALOW, RC; CLINCK, BA. 2003. "Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and option for management. Early Warning and Assessment Report Series, RS 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- NABEL P., M. C. CAMILIÓN, G. MACHADO, A. SPIEGELMAM, I. L. MORMENEO, 1993. Magneto y Litoestratigrafía de los Sedimentos Pampeanos en los alrededores de Baradero. Revista de la Asociación Geológica Argentina, RAGA 48(3/4):193-206
- NICOLLI, H. B., T. O'CONNOR, J. SURUNO, M. L. KOUKHARSKY, M.A. GOMEZ PERAL, L. M. BERTINI, I. M. COHEN, L. I. CORRADI, O. A. BALEANI, E.G ABRIL, 1985. Geoquímica del Arsénico y otros Oligoelementos en Aguas Subterráneas de la Llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea 71, Córdoba, Argentina.
- OLIVARES, O., (1999): "Geoinformática aplicada a estudios ambientales de acuíferos en el Conurbano Bonaerense." Informe de avance correspondiente a Beca de estudio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Inédito. La Plata.
- PARKER G. Y MARCOLINI S., 1992. Geomorfología del Delta del Paraná y su extensión hacia el Río de la Plata, RAGA, N°47 Pág. 243-249.
- PARKER, G., CAVALLOTTO, J. L., MARCOLINI, S., VIOLANTE, R. A., PATERLINI, C. M. Y COSTA, P., 1990. Tendencias evolutivas futuras de la línea de costa del noreste bonaerense. International Symposium on Quaternary Shorelines. La Plata. Abstracts, 55:56.
- PATERLINI M., PARKER G, COSTA I., 1992. Afloramientos de las Arenas Puelches en el Río de la Plata Superior. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas Tomo II, pag 213-219.
- ROSSI, A. 2012. Aspectos de la Contaminación con Nitratos en el Agua Subterránea de la Ciudad de Concordia. Universidad Tecnológica Nacional Regional Concordia. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental (Inédito).
- SALA, J.M. y AUGE, M. (1970)- "Algunas Características Geohidrológicas del Noreste de la Prov. de Bs. As." Actas IV Jorn. Geol. Arg. 321-336. Bs. As.
- SALA, J.M.; GONZALEZ, N. y KRUSE, E. 1983. Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs. As. Coloquio Internacional Sobre Hidrología de



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, Olavarría, Argentina.
- SANTA CRUZ J. N., A. SILVA BUSO, S. AMATO, M. GUARINO, D. VILLEGAS, M. CERNADS, 1996 Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en la región metropolitana de la República Argentina. Agua em revista, CPRM, Brasil, Año 2, Vol. 1 Pág. 48-57.
- SANTA CRUZ J. N. y A. SILVA BUSO, 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., Santa Fe, Argentina. Actas, Tomo I, Pág. 461-471
- SANTA CRUZ J. y A SILVA BUSO. 2002. Elementos Hidrodinámicos para la Explotación Sostenible de Acuíferos en Cordones de Dunas en la Provincia de Buenos Aires Argentina. Boletín Geológico Minero, IGME, AIH, UNESCO, Madrid, España Vol 112, N°4, Pág.: 97-105.
- SANTA CRUZ, J Y SILVA BUSO, A., 1996. Disponibilidad del Agua Subterránea para Riego Complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe, PROSAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Argentina (Inédito)
- SANTA CRUZ, J., 1972. Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Tomo: XXVII, N°1, Pág. 1-62, Argentina.
- SEOANE BORRACER N., 2003. Actualización de la Hidroestratigrafía del Conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires. Instituto Nacional del Agua. Informe de Beca. (Inédito)
- SILVA BUSO A Y GATTI D., 2007. Sección Hidrología e Hidrogeología, Atlas Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/>.
- SILVA BUSO A., CAROL E., SEOANE N. Y GATTI D. 2003. Informe Hidrogeológico del *Estudio para el diagnóstico del ascenso de las napas subterráneas en el Conurbano Bonaerense y Ciudad Autónoma de Buenos Aires* Convenio INA-ETOSS, (Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios).
- SILVA BUSO, ADRIÁN A Y ROUILLER G. 2007. "Relación entre la Distribución de Nitratos y la Recuperación Piezométrica en el Conurbano Bonaerense". V Congreso Hidrogeológico y IV Simposio Iberoamericano sobre temas actuales en Hidrogeología, Paraná 16 -19 de Octubre del 2007, Entre Ríos, Argentina. En Actas Tomo I pag: 65-76.
- SOLDANO, F., 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial Argentina. 264 p. Buenos Aires.
- VARAS ROSANA, SILVA BUSO ADRIÁN Y AMATO SERGIO., 2011. Geometría de los Depósitos Sedimentarios del Acuífero Puelches en la Región Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Entre el 18 al 21 de Octubre del 2011., Salta, Argentina.
- VIGO, J., 1970. Historia y leyenda de la Virgen del Luján. Todo es Historia. N° 44: p. 8-16. Buenos Aires.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología

silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

- VIOLANTE, R. A., PARKER, G., CAVALLOTTO, J. R. y MARCOLINI, S., 1992. La secuencia depositacional del Holoceno en el "Río" de la Plata y plataforma del noreste bonaerense. IV Reunión Argentina de Sedimentología, Actas I: 275-282. La Plata.
- YANG, Y, LERNER, ND; BARRETT, MH; TELLAM, JH. 1999. "Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham. UK" *Environ Geology* 38(3): 183-198
- YRIGOYEN, M. R., 1992. Geografía y geología de Buenos Aires y su alrededores. *Rev. Buenos Aires nos cuenta*. Septiembre 1992, 4-18. Buenos Aires.



Dr. Adrián Silva Busso
Consultor - Geología e Hidrogeología
silvabusso@yahoo.com.ar
silvabusso@hotmail.com
silvabusso@gmail.com

ANEXO I. Cartografía Temática