

**LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS
EN EL PARTIDO DE GENERAL PUEYRREDÓN
(BUENOS AIRES – ARGENTINA)
EL CASO DE OBRAS SANITARIAS MAR DEL PLATA S.E.**

por
José L. CIONCHI, Luis A. MÉRIDA e Ignacio REDÍN

INDICE

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>PAG.</u>
<u>CAPITULO I:</u> INTRODUCCIÓN.....	2
<u>CAPITULO II:</u> CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA ESTUDIADA	6
<u>CAPITULO III:</u> EL HISTORIAL DE EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN MAR DEL PLATA HASTA 1992	14
<u>CAPITULO IV:</u> LA ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN APLICADA A PARTIR DE 1993	21
<u>CAPITULO V:</u> LAS RESPUESTAS DEL SISTEMA ACUÍFERO A LA NUEVA ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN	29
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	38

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza una revisión crítica de los distintos esquemas de explotación de los recursos hídricos subterráneos ejecutados desde los inicios del servicio de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Mar del Plata y se dan a conocer los resultados obtenidos por Obras Sanitarias Mar del Plata SE, a partir de 1993, con la aplicación de una nueva estrategia diseñada en la misma Empresa y que apunta fundamentalmente a un aprovechamiento sustentable de los acuíferos. Asimismo se dan a conocer los argumentos técnicos que sirvieron de marco conceptual para el diseño de la nueva estrategia de explotación.

Esta revisión crítica señalada se basó en la revisión de los informes preliminares (Cionchi,1994 ; Bocanegra et al,1997) , la nueva información disponible y la aplicación de técnicas de sistemas de información geográfica (GIS).A la luz de esta nueva visualización ha sido posible analizar el funcionamiento del acuífero de la ciudad de Mar del Plata y su explotación de una manera diferente. La utilización de estas nuevas metodologías permitió la realización de un monitoreo mas detallado. Con la incorporación del sistema de telemetría y telecontrol cuyo proyecto indicaba la utilización del mismo para la explotación racional de los recursos hídricos (Mérida,1998) y la implementación de la primera etapa con más de 150 perforaciones nos permite avanzar en las técnicas de remediación del sistema acuífero.

El servicio de agua corriente de la ciudad de Mar del Plata, comenzó a operarse en 1913, con la puesta en funcionamiento de los tres primeros pozos de extracción de agua 1, 2 y 11(fig. 3.1 y [3.3](#)) . Desde sus inicios, y hasta 1980, la operación del sistema estuvo a cargo de Obras Sanitarias de la Nación. En ese año, la Nación Argentina transfiere el servicio a la jurisdicción de la Provincia de Buenos Aires, la que, a su vez, en 1982 lo cede a la Municipalidad de General Pueyrredón, la que pone en la órbita del entonces Instituto Municipal de Desarrollo Urbano (IMDUR) la operación del mismo. Finalmente, en agosto de 1984, el Concejo Deliberante del Partido de General Pueyrredón, constituye Obras Sanitarias Mar del Plata SE, ente municipal descentralizado, el que hasta el presente, es el responsable del sistema sanitario y de la administración de los recursos hídricos.

Esta breve reseña histórica se da a conocer con el objetivo de que el lector pueda tener la ubicación temporal de los distintos momentos institucionales de la explotación.

Durante prácticamente 70 años, el servicio sanitario no dependió de decisiones locales, sino de organismos centralizados tanto de la órbita nacional como provincial, que debieron responder a distintos requerimientos de ampliaciones de las redes de abastecimiento de agua para atender el acelerado crecimiento urbano de la ciudad de Mar del Plata, así como el incremento de la población durante los meses estivales.

El gran desarrollo demográfico marplatense así como la afluencia de un gran número de turistas, durante la estación estival y muy probablemente, la falta de previsiones adecuadas al respecto, promovieron la ejecución de distintas políticas de explotación intensiva, y con los que, aparentemente, sólo se pretendía satisfacer las necesidades de provisión de agua potable a la ciudad, sobre todo en los momentos de mayor demanda.

La revisión detallada del historial de explotación nos ha permitido diferenciar dos períodos claramente diferenciables. El primero que se extiende desde los inicios de la explotación hasta el año 1992, y el segundo, desde 1993 hasta la actualidad.

En el primero y más prolongado, caracterizado esencialmente por una extracción intensiva (sobreexplotación), con el único objetivo de proveer de agua potable a Mar del Plata, sin una planificación previa, y sin programas de monitoreos que permitieran controlar la evolución de los acuíferos y el actual, que se pone en vigencia en 1993 y con el cual para corregir los numerosos desaciertos acumulados, se debió modificar diametralmente la filosofía de explotación, aplicando un esquema más racional, que posibilitara un aprovechamiento integral y más eficiente de los recursos hídricos subterráneos de la región.

1.1.- LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA **(Marco conceptual)**

La disponibilidad de agua “dulce” ha sido uno de los primeros problemas que el hombre debió resolver, desde los tiempos más remotos. Una rápida revisión de la historia de la humanidad nos permite comprobar fácilmente que la presencia de agua que asegurara el abastecimiento en cantidades necesarias para satisfacer las diversas actividades humanas ha sido a lo largo de la historia de la humanidad, uno de los factores decisivos para la localización de asentamientos urbanos. Si bien, en ese sentido, los cursos fluviales ejercieron un papel fundamental para el desarrollo económico y social, de las más importantes civilizaciones, también desde muy antiguo el hombre descubrió la existencia de las aguas subterráneas, como una fuente alternativa de aprovisionamiento, la que con el desarrollo del arte de cavar pozos se transformó en un importante recurso aprovechable, incluso, en no pocos casos con la necesidad de ejecutar obras de ingeniería espectaculares.

El agua subterránea, como fuente de aprovisionamiento para satisfacer las distintas necesidades humanas, sobre todo cuando posee las características de las de nuestra región, constituye un recurso con muy marcadas ventajas sobre el resto de las fuentes alternativas. Entre esas ventajas vale la pena mencionar: a) posee, en general una calidad natural adecuada para consumo humano, industrial y/o agropecuario, sin necesidad de tratamientos previos complejos y/o costosos, b) requiere un desarrollo del abastecimiento con un coste relativamente bajo, frente a las obras de regulación, captación y tratamientos de aguas superficiales, c) es una reserva segura, de alto valor estratégico, especialmente en casos de desastres y/o conflictos, d) la cantidad y calidad de los almacenamientos están menos afectadas por las variaciones climáticas, e) el tamaño relativamente grande de los almacenamientos asociados posibilitan realizar predicciones relativamente sencillas del comportamiento, frente a las potenciales acciones de desarrollo futuro, f) poseen una mayor protección natural frente a los procesos contaminantes accidentales o provocados, ya que permiten seguir disponiendo de agua adecuada, mientras se adoptan las medidas correctivas necesarias, g) el medio subterráneo es adverso para el desarrollo y/o supervivencia de microorganismos patógenos debido esencialmente a que la pequeñez de los canalículos por los que circula el agua permite sólo el paso de soluciones y/o coloides. Los gérmenes patógenos sólo sobreviven en niveles subsuperficiales y asociados a pozos contaminados (Custodio, 1994).

Pero las aguas subterráneas no son una panacea, y por supuesto no están exentas de problemas importantes, tanto de cantidad como de calidad, como de gestión y conocimiento (Custodio, 1994), por lo que, a pesar de poseer numerosos aspectos favorables que los tornan atractivas, asequibles, renovables y estratégicas como recurso para satisfacer el abastecimiento público, industrial, agropecuario, son también abundantes las circunstancias desfavorables que se generan con su explotación, circunstancias que en general no constituyen efectos negativos intrínsecos sino que en realidad son consecuencias conocidas, previsibles y evitables asociadas a la naturaleza de los acuíferos y de la misma extracción (Custodio, 1997)

La disponibilidad de agua subterránea ha sido y será, un factor esencial para el desarrollo económico y social de todas aquellas regiones que cuenten con este recurso natural, pero simultáneamente se hace inevitable la explotación sostenible de los mismos, no sólo para asegurar la satisfacción de las necesidades presentes, sino también para preservar el derecho de las futuras generaciones a satisfacer las suyas (W.C.E.D., 1987).

En el caso del agua, un elemento insustituible para la vida y esencial para la mayoría de las actividades humanas, el uso sostenible apunta a objetivos sociales y morales (Pérez Adan, 1992).

Pero si lo que se pretende es hacer un uso sostenible del agua, ineludiblemente debemos plantear la necesidad de una explotación racional, fundamentada técnicamente en una adecuada identificación y cuantificación detallada del balance de aguas (Custodio, 1997),

De todas formas, la explotación racional no es una cuestión para la cual exista una solución única, sino que, por el contrario presenta múltiples posibilidades e incluso en el momento de decidir la estrategia a aplicar, en general, no sólo hay que definir las más adecuadas a las circunstancias de un determinado momento y fundamentalmente considerando todos los conocimientos e información disponibles, sino que además requiere la realización de un seguimiento y monitoreo continuos de todas las variables que sirvieron de base para decidir la estrategia, a efectos de ir ejecutando las adecuaciones y ajustes progresivos a medida que vayan variando (Custodio, 1997).

En coincidencia con Custodio (1997) entendemos que la calificación de racional resulta la más adecuada para definir la explotación que hemos diseñado, sobre todo porque la racionalidad tiende a la optimización, y ésta no es sólo técnica e hidrológica, sino también económica, social, medioambiental y política. Asimismo la racionalidad implica un monitoreo continuo del comportamiento del acuífero como tal y de sus relaciones con el resto de los factores condicionantes, así como de las implicancias económicas, sociales y medioambientales. Esa racionalidad supone adecuaciones a la evolución y condiciones cambiantes.

En la explotación del agua subterránea, mediante pozos de bombeo, es necesario alterar el equilibrio natural del sistema acuífero, provocando una perturbación potenciométrica (depresión) para movilizar el agua hacia la captación. Cuando el

caudal de agua extraída es menor que la recarga que recibe el acuífero, el sistema se adecua a las nuevas condiciones evolucionando hacia un nuevo equilibrio, de modo que luego de un cierto tiempo, el volumen de agua extraído es compensado, por una disminución de las salidas naturales (manantiales, caudal de base de los ríos y arroyos, superficie evaporante de los lagos, humedales y zonas de vegetación freatófita, etc.), y por un consecuente incremento de la recarga (infiltración de agua fluvial, de lagunas, o del mar, cuando la extracción está muy próxima al sector costero) (Custodio, 1994).

Por el contrario, cuando los volúmenes extraídos superan a los que se reponen por recarga, se produce un progresivo “vaciado” del acuífero por consumo de reservas, en un proceso, que Custodio (1994) llama “minería del agua”, y que implica también una sobreexplotación en sentido estricto.

Si bien un continuado descenso de niveles es un indicativo de consumo de reservas de agua del sistema acuífero, no necesariamente implica que las extracciones sean mayores a los ingresos por recarga, por lo que en muchos casos las causas pueden estar vinculadas, entre otras cosas, a que el período transitorio entre el inicio de la extracción y el establecimiento de un nuevo estado de equilibrio aún no se haya completado, los distanciamientos entre los pozos, los caudales individuales de los mismos, etc.

Finalmente, con la explotación racional de un acuífero o sistema acuífero se pretende no sólo el uso sostenido y sostenible de los recursos de agua, en cuanto a caudal, sino que además se contribuye a la protección de la calidad natural del recurso (sobre todo si hay intrusión salina), a un uso más eficiente de los recursos energéticos (mayor consumo eléctrico en niveles de agua más profundos), de los recursos económicos (reemplazo de pozos salinizados o abandonados por improductivos y/o tendido de nuevas cañerías de conducción), etc.

CAPITULO II CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA ESTUDIADA

2.1.- Ubicación y Clima

El Partido de General Pueyrredón, se encuentra en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, entre los paralelos 37°41'55" y 38°14'47" sur y los meridianos 58° 02' 48" y 57° 31' 01" oeste. Posee una superficie de 1.453 km² y la población estable alcanzaría a más de 700.000 (Bocanegra et al., 1997). La ciudad de Mar del Plata es la cabecera del Distrito ([figura 2.1](#)), y en ella reside más del 90 % de la población total.

El clima de la región es de tipo "templado-húmedo", según el esquema de Köppen o del tipo "subhúmedo-húmedo, mesotermal, sin deficiencia de agua", de acuerdo con el método de Thornthwaite (en Burgos y Vidal, 1951).

El análisis de los datos pluviométricos de una decena de puntos de mediciones ubicados dentro del Partido de General Pueyrredón y zonas adyacentes, y cuyas ubicaciones pueden verse en el mapa de la [figura 2.2](#), ha permitido determinar que el período más lluvioso coincide en general con el primer trimestre del año, mientras que el más seco resulta esencialmente julio-agosto y en menor proporción agosto-setiembre. El verano y el otoño son, en general las estaciones con más lluvias, y contrariamente el invierno es la más seca (Cionchi, 1993 y 1997 y Redín, 1995)

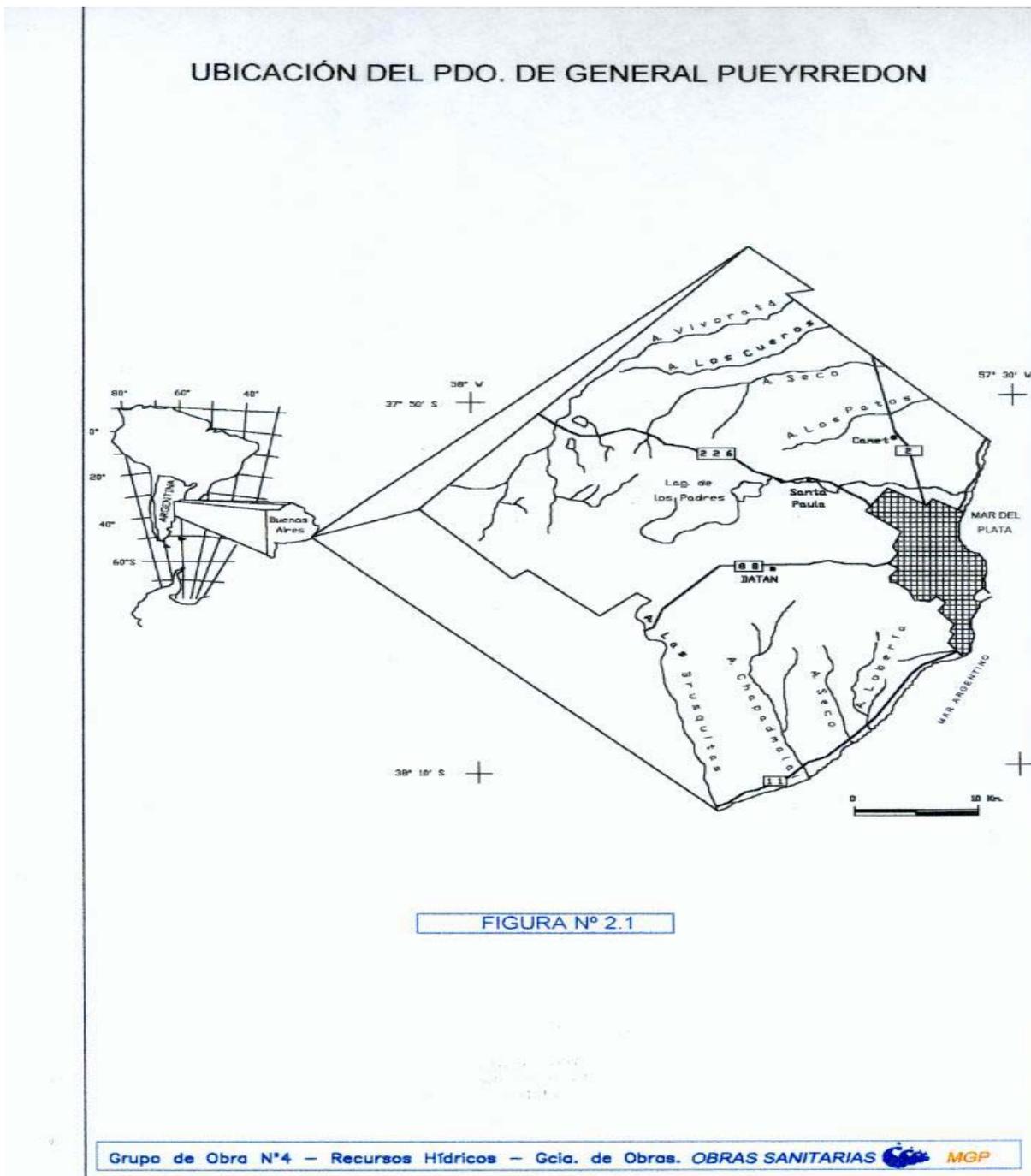
Mediante el análisis comparado de los valores pluviométricos registrados en las diez estaciones de la región, ha permitido comprobar (Cionchi, 1994 y 1997 y Redín, 1995) que en general, los módulos anuales muestran una clara tendencia a incrementarse. Si bien dicha tendencia, resulta indiscutible cuando se consideran períodos veinteñales, también se manifiesta, aunque con algunas irregularidades en los períodos decenales.

Así por ejemplo, en el caso de la Estación Mar del Plata-Mar del Plata Aero (S.M.N.), cuyo módulo histórico anual, período 1901-1994 es de 853 mm, presenta para el veinteño 1901-1920, una media de 752 mm, que se incrementa a lo largo del siglo para alcanzar en el período 1971-1990, un valor de 924 mm anuales. Idéntico comportamiento, aunque con períodos de registros menos prolongados presentan las Estaciones EEA-INTA (período 1928-1999) y Estancia La Serrana (período 1937-1999), entre otras.

En cuanto a los registros térmicos, sólo se cuenta con datos de las Estaciones Mar del Plata-Mar del Plata Aero y EEA-INTA de Balcarce y en general los registros muestran una cierta homogeneidad regional, con una media anual entre 13 y 14 °C, aunque con un muy leve decrecimiento desde el sector costero hacia el oeste, debido probablemente a la influencia del ambiente marino (Sala et al., 1979-1980; Cionchi, 1997)

Finalmente la resolución de los balances hídricos, para el período 1951-1990, mediante el método de Thornthwaite (en Burgos y Vidal, 1951), ha permitido estimar

que el “exceso” de agua, destinado a la recarga de los acuíferos variaría entre un mínimo de 152,7 mm y un máximo de 181,9 mm anuales. El primer valor correspondería al balance hídrico según los registros de la Estación Balcarce EEA-INTA y el restante a la Estación Mar del Plata-Mar del Plata Aero (Cionchi, 1997).



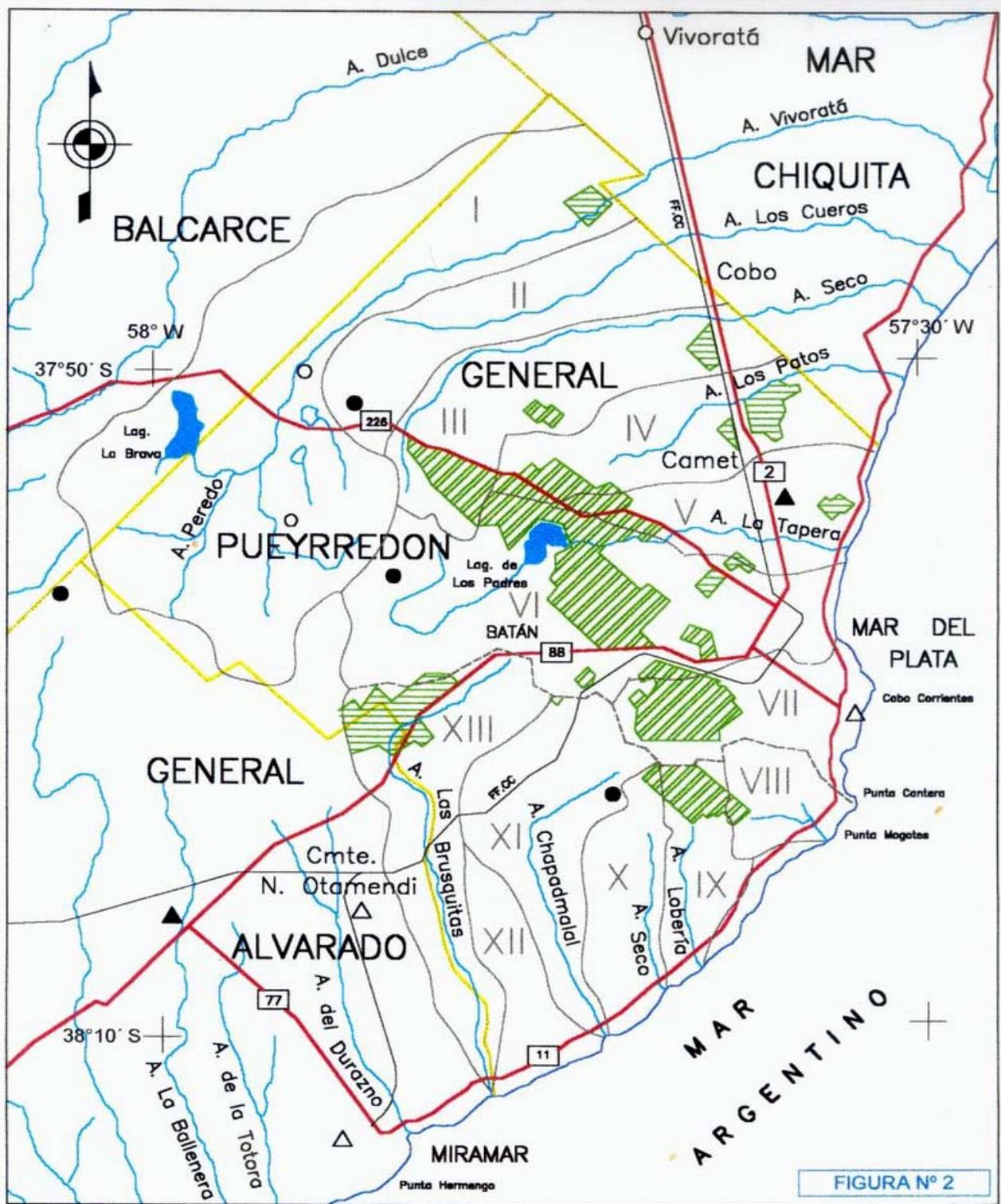
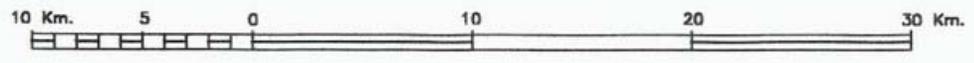


FIGURA N° 2

I.Redin, cart.



REFERENCIAS:

- Ruta
- Vías de Ferrocarril
- ~ Arroyo
- Límite de Partido

- △ ▲ a: Est. Meteorológica Oficial, b: Idem de consulta actual
- ● a: Est. Pluviométrica Privada, b: Idem de consulta actual
- ~ Límite Cuenca Hidrológica Subterránea (N° ref. tabla)
- ~ Divisoria Vertientes Norte y Sur
- ▨ ▧ Zona hortícola, a: neta, b: parcial

2.2.- Bosquejo Geológico - Geomorfológico

El Partido de General Pueyrredón, al igual que toda la región adyacente se caracteriza por una aparente sencillez estratigráfica. El reducido número de unidades reconocidas hasta el presente permite determinar la presencia de tres grandes unidades estratigráficas: *Basamento cristalino*, de edad precámbrica, los estratos marinos litorales eopaleozoicos de la *Formación Balcarce* (según Dalla Salda e Iñiguez, 1978) y el conjunto sedimentario atribuido al *Cenozoico*.

En el extremo sudoriental de las sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires en general y en el Partido de General Pueyrredón, en especial, el *Basamento cristalino* es de dificultoso reconocimiento, debido a que se encuentra cubierto y los escasos asomos corresponden a pequeños frentes de canteras en el flanco norte de las serranías. Se le atribuyen características similares al del conjunto serrano en general, aunque con un mayor grado de metamorfismo (Teruggi et al., 1962; Teruggi y Kilmurray, 1975).

Las sedimentitas eopaleozoicas de la *Formación Balcarce* (Dalla Salda e Iñiguez, 1978), se disponen en una franja que se extiende con dirección NNO-SSE. Aflora en asomos discontinuos conformando los núcleos de las colinas y elevaciones que definen la divisoria regional de aguas del Partido de General Pueyrredón. Constituyen un conjunto sedimentario que suprayace en discordancia erosiva al Basamento cristalino. Se trata de rocas ortocuarcíticas, con más del 98 % de cuarzo, de colores gris claro a blanco, con tonalidades rojizas, estratificadas, con cemento silíceo. Se disponen en estratos que muestran un buzamiento regional hacia el sud-sudoeste, con ángulos de 5° o menores. El espesor más frecuente de los estratos varía entre 0,30 y 1 metro, aunque los hay de mayor potencia. Entre las psamitas suelen aparecer delgadas intercalaciones (desde pocos milímetros hasta 30 cm o más) de pelitas, las que se presentan en niveles variables e identificadas como caolinita e illita-caolinita. (Teruggi y Kilmurray, 1975). La potencia de la *Formación Balcarce* varía entre 50 y 150 metros en sectores al límite centro oeste del Partido de General Pueyrredón y alcanza a más de 450 metros en el sector litoral de Punta Mogotes (Tapia, 1937).

Todo el conjunto está afectado por los sistemas de fracturas que caracterizan a las sierras Septentrionales y que en general permite definir las como “montañas de bloque”. Las fracturas son de alto grado, frecuentemente subverticales, coincidentes con el Dominio “C”, (Teruggi et al, 1974) atravesadas por fallas con orientación NE-SO que ha subdividido a las sierras en bloques aislados. La estructura general de las sierras ha constituido un fuerte control en la evolución y morfología del paisaje (Teruggi y Kilmurray, 1975).

Finalmente y cubriendo toda la región se disponen los *Sedimentos atribuidos al Cenozoico*, entre los que predominan limos “loessoides”, en parte arenosos finos a muy finos, de color pardo amarillento, de origen esencialmente eólicos, retrabajados y redepositados en un ambiente áeico, sobre un relieve relativamente bajo y llano, en condiciones climáticas cambiantes, aunque con un cierto predominio de clima seco y frío con intervalos algo más cálidos y húmedos (Teruggi et al., 1962; Teruggi y Kilmurray, 1975, 1980; Zárate y Fasano, 1984, 1989).

En la depositación de los sedimentos pampeanos tienen una significativa participación las cenizas volcánicas, las que, a juzgar por la mineralogía de las mismas, el área de aporte se localizaría en el piedemonte andino (Teruggi, 1957).

La región del sudeste de la Provincia de Buenos Aires se caracteriza por un relieve relativamente monótono, en el que sobresale un conjunto de sierras, cerros, cerrilladas y lomas de baja altura (en general menos de 250 metros por encima de la llanura circundante), que se disponen en una franja de ancho variable y que a semejanza de columna vertebral atraviesa el Partido de General Pueyrredón con rumbo noroeste-sudeste, constituye la divisoria regional de aguas, a partir de la cual se desarrollan dos vertientes a las que se las ha denominado: *septentrional* y *sur* respectivamente (ura 2.2).

En la *vertiente septentrional*, Sala *et al.* (1979-1980) diferenciaron tres ambientes geomórficos y cuyas principales características se sintetizan a continuación:

- a) ***Sierras***: Corresponde a las estribaciones sudorientales de Tandilia o Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires (como se las prefiere denominar actualmente). El cordón serrano se presenta con discontinuidades definidas por la existencia de valles y abras y hasta pequeños sectores llanos y algo ondulados que en general han permitido la definición de “grupos orográficos menores”, que reciben distintos nombres locales (La Peregrina, Las Mostazas, Los Padres, etc.) y que en conjunto se las conoce como *Sierras de Mar del Plata*. A partir de Sierras de Los Padres, en dirección sudeste, las elevaciones, exclusivamente de ortocuarcitas, van perdiendo altura y continúan como un conjunto de lomas y colinas bajas, cubiertas en algunos casos por una delgada capa de sedimentos cuaternarios, para terminar en Punta Mogotes, Punta Cantera, Cabo Corrientes-Punta Piedras y el Bloque de Punta Iglesia (Teruggi y Kilmurray, 1975).
- b) ***Lomadas***: Sala *et al.* (1979-1980) las describen como geoformas alargadas y redondeadas, adosadas al frente serrano nororiental y prácticamente integradas al mismo en buena parte del borde sur. Conforman, en general un relieve ondulado con pendientes medias de 3 a 4 %. En el sector occidental se extienden entre las isohipsas de 60 y hasta 120 metros, mientras que en el sudeste, sus alturas medias varían entre 12 y 80 metros sobre el nivel del mar. Hacia el este y nordeste, las Lomadas se van desdibujando y su presencia se hace mucho menos frecuente. El escaso potencial morfogenético que posee este ambiente determina un drenaje poco integrado en un relieve de valles apenas pronunciados, salvo en adyacencias al ambiente de Sierras, o con barrancas de 1 a 2 metros de altura en el tramo inferior, como en el caso del arroyo La Tapera: Los cauces son en general de escasa magnitud con fondos planos.
- c) ***Llanura***: Se extienden en el sector norte de la vertiente septentrional, sobre todo a partir del “interfluvio entre los arroyos La Tapera y Santa Elena. Las pendientes poseen gradientes poco significativos (0,2-0,3 %). En general los valles de este ambiente son muy poco pronunciados, con pequeñas barrancas a partir de la Autovía 2, en dirección hacia el este. Asimismo resulta destacable la presencia de numerosos bajos alargados y subredondeados que, en general se interconectan

en épocas de lluvias (Sala *et al.*, 1979-1980). Más recientemente, el ambiente ha sido redefinido por del Río *et al.* (1995) como *Llanura Fluvio-eólica*.

Para el caso de la *vertiente sur*, Kruse (1986), diferencia, desde el punto de vista morfológico un sector de *Sierras*, a las que caracteriza por sus formas tabulares, con un pequeño sector cuspidal relativamente plano, con pendientes de gradientes menores a 5 % y generalmente cubiertos por sedimentos cenozoicos. Un ambiente *Pedemontano*, en el que se destacan lomadas amplias, de formas algo irregulares, con escotaduras de distinta magnitud y cierto aislamiento, desarrolladas entre los 60 metros sobre el nivel del mar hasta los 140 metros sobre el nivel del mar y pendientes de muy escaso gradiente (0,2 %)

La red de drenaje se caracteriza por poseer textura gruesa, con una densidad de drenaje de aproximadamente 0,3 km/km². Los cauces son angostos (menos de 5 metros) y poco profundos, en algunos casos con bajos elongados en sus nacientes. Las divisorias son amplias, apenas diferenciables, excepto en la zona serrana. En forma saltuaria aparecen algunas pequeñas barrancas de muy baja altura. Las llanuras aluviales se encuentran poco desarrolladas y los flancos de valles son de poca expresión y están integrados por fajas paralelas al cauce, aunque con mayor amplitud en la margen derecha que en la izquierda (Massone *et al.*, 1993).

2.3.- Esquema Hidrogeológico Regional

La región se caracteriza por la presencia de las unidades hidrogeológicas *Basamento Impermeable* y *Complejo Clástico Permeable*, definidas por Sala (1975).

El *Basamento Impermeable* aflora esencialmente en coincidencia con las Sierras Septentrionales, en una franja de ancho variable con orientación ONO-ESE. Está conformado por rocas del Basamento cristalino (que en el ámbito del Partido de General Pueyrredón prácticamente no aflora) y las sedimentitas eopaleozoicas de la *Fm Balcarce* (Dalla Salda e Iñíguez, 1978), las que están constituidas por ortocuarcitas, altamente silicificadas, de granometría en general media a gruesa., con estratificación muy marcada con planos dispuestos horizontalmente.

Si bien en principio se trata de rocas acuífugas, poseen permeabilidad secundaria asociada a la existencia de un sistema de diaclasas integrado por tres juegos de fracturas de posición subvertical y rumbos NE-SO; NO-SE y E-O, interconectados parcialmente por un cuarto grupo subhorizontal, coincidente con los planos de estratificación (Mauriño *et al.*, 1981).

La unidad conforma un medio con una marcada anisotropía, con permeabilidades que localmente son de una gran variabilidad, desde valores significativamente bajos, que permiten considerarlo prácticamente impermeable, hasta valores tan altos que hacen posible reconocer la existencia de “flujo turbulento” en un medio supercapilar. Estas características obligan a que la valoración de la unidad deba realizarse en conjunto mediante la estimación de permeabilidades regionales (Kruse (1986)

Los valores de permeabilidad, determinados por Mauriño et al. (1981), en perforaciones realizadas en la Sierra de La Vigilancia, en un manto de ortocuarcitas de 130 metros de espesor, apoyado sobre el Basamento precámbrico gnéisico, dieron resultados variables entre 4×10^{-6} a 1×10^{-2} , los que sin duda son un reflejo del carácter anisotrópico de la unidad

Los antecedentes que se disponen acerca de las características hidrolíticas de esta unidad, indican que sus posibilidades acuíferas son muy escasas, por lo que no resulta, al menos por el momento, de interés desde el punto de vista productivo.

Con la denominación de *Complejo Clástico Permeable*, Sala (1975) define complejivamente a todos los sedimentos que suprayacen al *Basamento Impermeable*, en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires. El mismo autor diferencia dentro de la citada unidad las secciones: *Hipoparaniana*, *Paraniana* y *Epiparaniana*, que conformarían un único y complejo sistema multiunitario, desde el punto de vista hidráulico.

En la zona estudiada, la presencia de la sección *Hipoparaniana* no ha sido comprobada adecuadamente y sólo se dispone de referencias indirectas, como las obtenidas por Ruíz Huidobro (1975) en un pozo en la zona de Batán y que indicarían su “existencia” a “190 metros bajo boca de pozo”. Según el citado autor, la interpretación de los valores determinados mediante un perfilaje geoelectrico le permitirían inferir un conjunto de acuíferos confinados, de alta porosidad y portadores de agua dulce.

Ruíz Huidobro (1975), en el mismo pozo de Batán entre los 105 y los 190 metros bajo boca de pozo y en una segunda perforación ubicada en proximidades del actual Aeropuerto de Camet, entre los 105 y los 228 metros bajo boca de pozo, aunque en este último caso sin haber alcanzado la base, habría determinado, también mediante perfilajes geoelectricos la presencia de la sección *Paraniana*. Cabe aclarar que de ninguna de las dos secciones se dispone de información hidroquímica ni los respectivos comportamientos hidráulicos.

Contrariamente a lo que sucede con las dos secciones precedentes, la restante llamada *Epiparaniana*, es ampliamente conocida, disponiéndose de ella un importante cúmulo de información hidrogeológica e hidroquímica y es la que, desde los inicios de la explotación intensiva en 1913 ha cubierto las necesidades de agua de Mar del Plata y toda su región de influencia (Cionchi, 1991)

La sección *Epiparaniana*, constituye un complejo sedimentario de origen eólico y fluvioeólico, de composición muy variable aunque predominantemente pelítico, limos loessoides, en parte arcilloso a algo arenoso fino a muy fino, con abundante vidrio volcánico y carbonato de calcio desde pulverulento a capas de tosca distribuida en manchones irregulares y de diferentes grados de compactación. La secuencia, de edad pliolestocénica, es conocida complejivamente como “Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos”.

Sala (1975) define la Sección *Epiparaniana* como un “ambiente acuitado, de baja permeabilidad, dentro del cual se desarrollan lentes de mediana permeabilidad portadora de niveles acuíferos productivos”.

Las características hidrogeológicas de la sección *Epiparaniana* permiten considerarla como un acuífero multiunitario, con una marcada anisotropía vertical, debido a la presencia de términos de diferente permeabilidad relativa.

Sedimentológicamente presenta características superficiales diferenciables según el ambiente en el que se la estudie. Así por ejemplo, en el ambiente de las Lomas predominan depósitos de origen eólico, de muy buena permeabilidad, constituidos por arenas medianas a finas con escasos limos, mientras que en las zonas llanas, los sedimentos son más finos, esencialmente limos loessoides, arcillosos y arenas finas con un aumento importante en las zonas bajas de la proporción de arcillas, con lo que la permeabilidad relativa de estos sectores es mucho menor.

Si bien se trata de una unidad con marcadas anisotropías locales, sobre todo en sentido vertical, en su conjunto y especialmente a escala regional se comporta como homogénea. Los niveles superiores, de origen predominantemente eólico, muestran una mayor participación de arenas finas, las que incrementan, proporcionalmente la permeabilidad promedio, y por ende la capacidad de infiltración, facilitando el ingreso a los niveles más profundos

Los espesores de la sección *Epiparaniana* varían desde unos 70 metros en el sector céntrico de Mar del Plata hasta alrededor de 100 metros en los sectores rurales de la vertiente septentrional. La permeabilidad media se ha estimado en 10-15 m/día. Los valores de transmisibilidad resultan muy variables. Los determinados en los pozos más antiguos del área urbana marplatense varían entre 450 m²/día a 650 m²/día, mientras que en los sectores rurales se han determinado valores de más de 1400 m²/día, sobre todo en los alrededores del Parque Industrial y la ruta provincial 88, en algunas perforaciones a la vera de la Autovía 2 y en el sector Quintas El Casal, en el límite con el Partido de Mar Chiquita. Asimismo, los coeficientes de almacenamiento varían desde 10⁻⁴ sobre la Av. Fortunato de La Plaza (sector sur de la ciudad de Mar del Plata) hasta 10⁻² en proximidades del Autódromo (sobre la ruta provincia 88).

La recarga del sistema acuífero se produce en forma autóctona a expensas de los excedentes de lluvias del ciclo hidrológico de la región.

CAPITULO III

EL HISTORIAL DE EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN MAR DEL PLATA HASTA 1992

En nuestra zona, los primeros asentamientos, anteriores a la fundación de Mar del Plata, surgieron a orillas de cuerpos de aguas superficiales, como en el caso de la Reducción del Pilar en Laguna de Los Padres y el pequeño puerto pesquero, de fines del siglo XIX, de Punta Iglesia, a orillas del arroyo de Las Chacras. Sin embargo los mencionados cuerpos de agua, como los restantes de la región del sudeste de la provincia de Buenos Aires no son de la importancia o magnitud suficiente como para sostener el desarrollo de centros urbanos debido, esencialmente a los insignificantes caudales.

Estas circunstancias hicieron que desde los inicios del asentamiento urbano marplatense, los recursos hídricos subterráneos constituyeran la principal fuente de aprovisionamiento de agua potable y que mas tarde se transformaran en un factor fundamental para el desarrollo económico y social de la zona tanto en lo que se refiere a las actividades industriales como agropecuarias, especialmente las que dependen en gran medida del riego. Los pobladores, a fines del siglo XIX y principios del siglo XX se abastecían recurriendo a molinos de viento, motobombardadores a petróleo o arietes hidráulicos a viento. Además en las grandes residencias se disponía de aljibes alimentados por los desagües de los techos y aprovechando las lluvias y de esa forma poder contar con una reserva adicional (Gómez Crespo y Covas, 1982).

La instalación del agua corriente, con la puesta en servicio de 3 pozos (los Nos 1 y 2 ubicados en Plaza Mitre y el N° 11 en Falucho y Dorrego), en el año 1913 (fig. 3.1) constituye el momento a partir del cual las modificaciones del medio natural se aceleran y es de ese hecho en que debería haberse planteado la necesidad de manejar en forma racional y más conservativa el recurso subterráneo y especialmente por las particulares características que muestran Mar del Plata y su región de influencia, y entre las que se destacan: a) el notable incremento poblacional durante los meses de verano, así como el elevado incremento de la población estable, con aproximadamente unos 20.000 a 25.000 habitantes por año en las últimas 5 décadas (Bocanegra et al., 1997); b) la inexistencia de cursos superficiales importantes como fuente alternativa para la provisión de agua; c) la configuración geológica y rasgos estructurales que facilitan la intrusión de agua salobre desde el mar y d) la posición costera del núcleo urbano que aumenta el riesgo de salinización del acuífero, sobre todo cuando se produce la sobreexplotación de los acuíferos (Bocanegra et al., 1985).

Este conjunto de circunstancias y sobre todo el desarrollo demográfico así como el incremento poblacional durante la estación estival, promovieron la ejecución de distintas políticas de explotación intensiva, sin ningún tipo de planificación ni de

monitoreo que sólo apuntaban a satisfacer las necesidades de provisión de agua

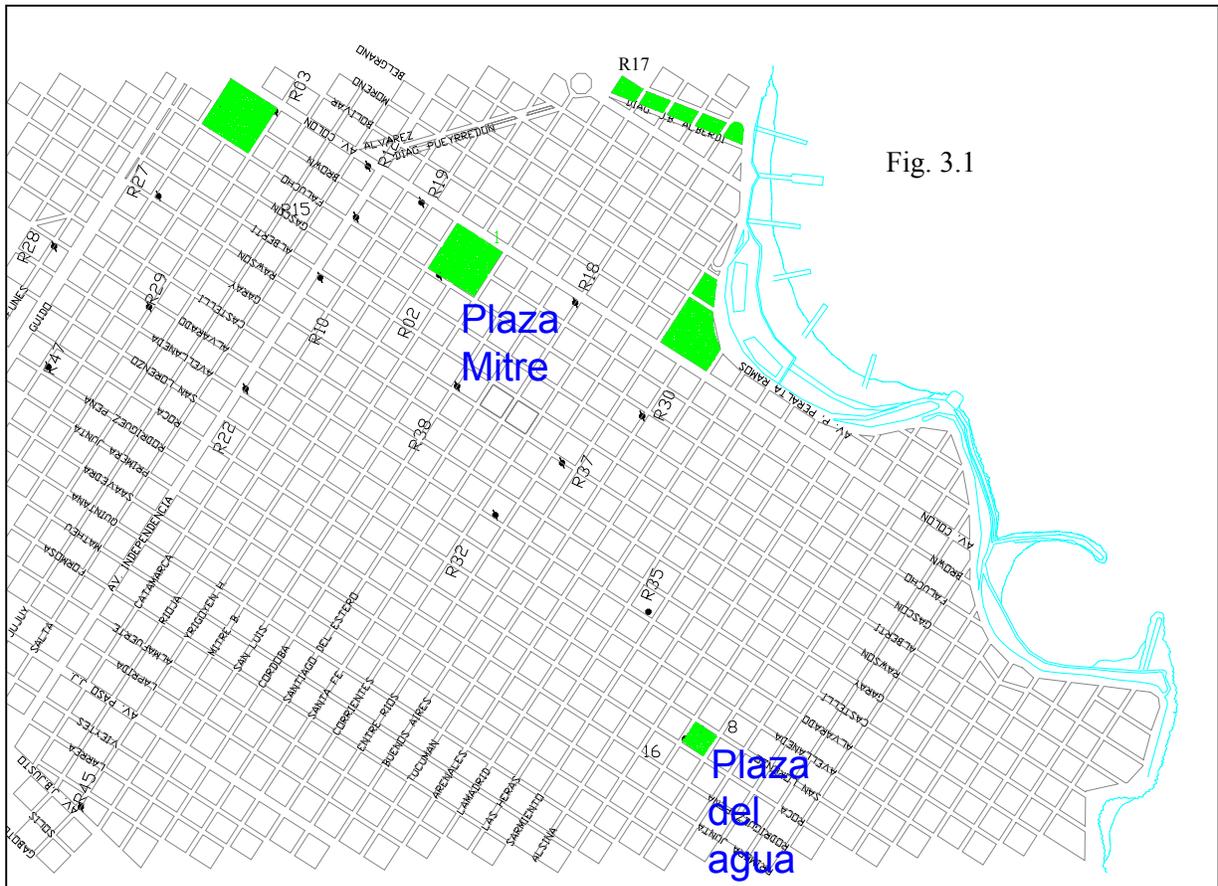


Fig. 3.1

potable a la ciudad de Mar del Plata y que hasta el año 1992 sólo lograron producir un significativo y peligroso proceso de degradación del sistema acuífero (Cionchi, 1991, 1994).

En el año 1942 se abandonaron los dos primeros pozos (17 y 31) por salinización (fig3.1). En ese momento se contaba con un total de 34 perforaciones en servicio distribuidas, sobre todo en el sector urbano de la ciudad de Mar del Plata. Cuatro años más tarde se radiaron, por la misma causa tres nuevos pozos (5, 18 y 30). El principal motivo que se utilizaba para decidir el abandono de un pozo salinizado, era el contenido de cloruros (se establecía como límite 2 gr/litro de cloruros), aunque en muchas ocasiones los insistentes reclamos de los usuarios del sistema obligaba a radiarlo anticipadamente.

Desde mediados de este siglo se han llevado a cabo diversos estudios tendientes a hallar soluciones para el problema del abastecimiento de agua de Mar del Plata (Groeber, 1954; Ruíz Huidobro, 1975; Ruíz Huidobro y Tofalo, 1975, Sala *et al.* 1979-1980, Cionchi, 1991 y 1994), coincidiendo todos ellos en la urgente necesidad de modificar el esquema de explotación intensiva por otros más adecuados y fundamentalmente adaptados a las posibilidades del sistema acuífero.

Hace ya más de 45 años desde que Groeber (1954), alertó acerca del peligro de la sobreexplotación desmedida y destacó la existencia de una zona de niveles freáticos inferiores al nivel del mar, coincidentes con el sector urbano más poblado. Asimismo recomendó desplazar la captación hacia el norte de la ciudad, disponiendo las perforaciones a lo largo de la ruta N° 2 (hoy Autovía 2). Dichas obras se comenzaron a ejecutar a principios de la década de 1970.

Algunos años más tarde, Ruíz Huidobro (1975) y Ruíz Huidobro y Tofalo (1975) consideraron que esta depresión de los niveles por sobrebombeo, conjuntamente con los “rasgos geológico-estructurales (fallas y diaclasas) que afectan a las cuarcitas que conforman el Basamento” constituyen las causas principales de la intrusión marina. Al momento de estos dos informes, el total de pozos salinizados y abandonados era de 30, y en el año 1976, se radiaron de servicio las últimas 3 perforaciones por esta causa. En la [tabla 3.1](#) se puede ver la evolución del número de pozos en servicio y los abandonados por salinización (fig. 3.1).

Una década más tarde, Bocanegra *et al.* (1985), a partir del mapa de isovariaciones de niveles isopiézicos para el período 1953-1983 determinan que en el sector al sur de la Av. Independencia, se habrían registrado recuperaciones en la profundidad del agua de hasta 10 metros, mientras que al norte de la citada arteria, por el contrario, las depresiones alcanzaban a 20 metros. Observaron además que en dicho período, el sector portuario era el más afectado con una profundización en los niveles estáticos de hasta 27 metros.

Con posterioridad, en un informe interno de Obras Sanitarias Mar del Plata SE (Cionchi, 1991), se advierte que la posición de la isopieza cero, indicadora de la posición en que el nivel de las aguas subterráneas igualan el nivel medio del mar había migrado hacia el noreste a una tasa de 120-130 metros/año, desde mediados de siglo, sobre la traza de la Av. Libertad. Asimismo en el mismo informe se determina que, la ampliación de la red de explotación con la inauguración del Sistema Acueducto Norte había producido, a partir de la mitad de la década de 1970 una migración de la isopieza cero hacia el noroeste sobre la traza de la ruta provincial N° 2 (hoy Autovía Buenos Aires-Mar del Plata).

Finalmente los resultados obtenidos en la campaña de niveles piezométricos realizada en el período marzo-junio de 1992 (Cionchi, 1994), permitió comprobar que la isopieza cero había sufrido una significativa expansión, alcanzando su máximo desarrollo en todo el historial de explotación.

Fue justamente esta última situación la que obligó a adoptar medidas correctivas urgentes que en principio consistieron en una drástica reducción del número de pozos en bombeo, sacando de servicio especialmente a aquellos que se encontraran más próximo al litoral marítimo, monitorear su evolución y diseñar una política de explotación más racional que la ejecutada hasta ese momento.

3.1.- La evolución de los niveles piezométricos en el período 1950-1992

Para poder tener una visión más completa y apreciar más adecuadamente el desarrollo del cono de depresión de Mar del Plata, se ha considerado conveniente revisar la evolución de los niveles piezométricos desde el año 1950 hasta el año 1999. Lamentablemente, no se cuenta en Obras Sanitarias Mar del Plata SE, con suficiente información anterior a la fecha antedicha, por lo que nos vemos obligados a comenzar el análisis a partir de mediados del siglo XX.

En las figuras 3.2 hasta 3.16, agregadas al presente trabajo se muestran todos los mapas piezométricos que fue posible reconstruir, usando la información disponible en Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

La simple observación de los mapas nos permiten comprobar el progresivo deterioro del sistema acuífero, indicado por un creciente y significativo descenso de los niveles (profundización de los niveles estáticos-adelgazamiento del espesor saturado) y la expansión de la isopieza cero, la que en el año 1950 ([fig.3.2 y 3.3](#)) ya se encontraba a una distancia de aproximadamente 2400 metros del litoral marino (Av. Luro) , en el sector norte, mientras que hacia el oeste la expansión había superado la calle Pampa. También para esa época comenzó a insinuarse un sector elongado en dirección sudoeste de la isopieza cero que atravesó en este año la Av. Juan J. Paso ,mientras que la isopieza de 5 metros por debajo del nivel del mar sobrepasó la calle Tucumán al SE, San Lorenzo al SO, Guido al O, 9 de Julio al NE ,tocando el basamento impermeable en el bloque de Santa Cecilia y acercándose a unos 700 m. de la costa . Para ese año, la zona portuaria todavía mostraba niveles piezométricos por encima del nivel del mar ([fig.3.2 y 3.3](#)).

En el año 1955 ([fig. 3.4](#)) la expansión de la isopieza cero sobrepasa, con elongaciones en dirección al oeste la Av. Jara, hacia el noroeste la calle Necochea y al sur la calle Rosales. En la zona del Puerto, en ese año ya comienza a insinuarse el inicio de la perturbación potenciométrica. A su vez se observa en la componente vertical una significativa profundización en dirección SO, con valores de más de 5 metros por debajo del nivel del mar, extendiéndose en forma de canal desde la Av. Colon, al NE hasta la Av. Juan B. Justo en el SO.

En 1959 ([fig. 3.5](#)) se observa una notable expansión de la isopieza de -5m. , los que para ese momento ya conformaban un único cono de depresión desde el centro de la ciudad hasta el Puerto, que hacia el oeste alcanzaba la calle Uruguay, hacia el sudoeste atravesaba el ejido urbano. Asimismo comienzan a insinuarse varios sectores con valores de más de 10 metros por debajo del nivel del mar en :Av. Colon y Av. Independencia al NO, en cercanías de Av. Juan B. Justo, Hernandarias, Av. Canosa y de las Olimpíadas hacia el sudoeste, y dos sectores en la zona portuaria delimitado por las calles Calabria, Santa Cecilia, Triunvirato y Bouchard el primero ,y otro menor con centro en O. De Zárate y Alvear. Se observa además una notable y generalizada expansión de la isopieza cero y la de 5 metros por debajo del nivel del mar. En el sector portuario, por la cercanía del Basamento cuarcítico la curva se deformó en forma oblonga en dirección NE-SO con eje en la calle Korn, evidenciando una cierta aislación regional del acuífero.

En el año 1962 ([fig. 3.6](#)), el acuífero presenta un generalizado incremento del deterioro, el que se acentúa en los años 1966 ([fig. 3.7](#)) y 1969 ,especialmente en el sector portuario, donde el cono de depresión alcanza profundidades de más de

20 metros bajo el nivel del mar ([fig. 3.8](#)). En estos períodos se registra, además una notable expansión de la isopieza cero.

Analizando el comportamiento de la isopieza 0 durante el período 1950-1969 observamos cuatro direcciones preponderantes de avance ([fig. 3.8.a](#)) O, S, NO-NNO y N. En la dirección O registró un avance de 3200 m. desde la calle Pampa hasta la Av. Alio. Hacia el S atravesó la Av. Mario Bravo recorriendo unos 3700 m. Sin lugar a duda las direcciones más afectada fueron la NO-NNO retrocediendo los niveles naturales formando un arco que atravesó el Arroyo La Tapera.

Por otra parte el menor avance hacia el sur de la isopieza cero podría deberse a la presencia del Basamento Impermeable y a la influencia de la explotación, que probablemente coadyuvaron en ese sentido ([fig. 3.5 y 3.6](#)). De la simple observación de la configuración (o de la disposición) de las curvas de isopropiedades del agua en el borde oriental del cono de depresión en la zona portuaria, permite inferir la probable presencia, a escasa profundidad de un umbral de Basamento Impermeable, que se extendería desde el bloque elevado del Cementerio de La Loma (aproximadamente desde las Avenidas Juan B. Justo y Alem) hasta el de Punta Cantera-Punta Mogotes. Este umbral habría “protegido el

acuífero retardando e incluso impidiendo el ingreso de la cuña salina en el sector portuario, donde a pesar de la gran profundización de los niveles de agua (de más de 27 metros bajo el nivel del mar), en los pozos no se detectaron signos de salinización y la mayor parte de los pozos abandonados en dicho sector están vinculados a elevados tenores de nitratos o baja productividad (sobre todo por el escaso espesor saturado). Pozos muy próximos al litoral marino mostraban en 1997 contenidos promedio de cloruros inferiores a 140 mg/litro, mientras que el valor promedio es de algo menos que 100 mg/litro.

En 1973 ([fig. 3.9](#)) persiste la tendencia de los años anteriores, encontrándose la isopieza cero desplazada a unos 1500m. al norte del arroyo La Tapera en promedio y a unos 300 m. sobre la ruta N°2 (actual Autovía 2 Buenos Aires/Mar del Plata).

En el año 1978 ([fig. 3.10](#)), se observa un leve mejoramiento generalizado en la componente vertical en un amplio sector entre la Av. Luro y calle Formosa, indicado por una recuperación de niveles relativamente importante, debido tal vez a las respuestas del acuífero ante la serie de abandonos de más de 30 pozos (ver [tabla 3.1](#)), por salinización, que debió implementarse en este período hasta 1976. Es así que se aprecia una recuperación de los niveles en la zona de Campo de los

Deportes (pozos 33, 34, 40 y 44) y en el Sector Portuario, especialmente para las isopiezas de -5 y -10 metros.

En cuanto al desplazamiento de la isopieza cero, aun no se percibe un mejoramiento neto en su expansión areal ya que si analizamos la tendencia de esta durante el período 1950-1978 ([fig. 3.10.a](#)) observamos que hasta 1962 avanzó en dirección Oeste unos 2.000 m. y en el período 1962 a 1978 hizo lo propio en unos 2800 m. En el primer período indicado el avance anual promedio fue de 150 m., mientras que en el segundo fue de 175m. En cuanto al avance hacia el norte y noroeste la misma avanzó en el primer período unos 5000 m. (400m/año) y en el segundo período en unos 3000 m.(180 m/año) en una alineación final paralela a la ruta N°2. La velocidad de desplazamiento en sentido N en el período 1950-1978 fue mas del doble que la considerada en dirección O.

En el año 1981 ([fig. 3.11 y 3.11.a](#)) continúa el decrecimiento de la profundización del cono de depresión en el sector portuario, pero contrariamente se observa en el resto de la zona urbana y sobre todo a lo largo de la traza de la ruta N° 2 una expansión de la isopieza cero en un corredor de unos 1.000 m. atravesando el límite norte de la cuenca subterránea del Arroyo La Tapera. Además se profundiza el cono de depresión, tanto en Av. Luro en dirección NO como en Av. Independencia en dirección SO, como en adyacencias al Arroyo La tapera (pozos 76,102,103 y 104). En oposición, en la zona céntrica se observa una recuperación apreciable de los niveles, formándose una cuña desde el basamento impermeable principal hasta el morro de Santa Cecilia y en punta en las calles Avellaneda y Dorrego.

En 1983 ([fig. 3.12](#)) se observa que el pequeño “domo”, que por recuperación de los niveles se había empezado a insinuar en el año 1981, en la zona de Roca y Guemes (actual Plaza del Agua), se ha mantenido. Sin embargo no sucede lo mismo con el Sector Portuario, en donde han disminuido los niveles apreciablemente. Además el esquema de explotación utilizado provocó un avance de la isopieza de cero hacia el O unos 1000 m. (pozo 132).

En 1985 ([fig. 3.13](#)) se conserva el mejoramiento indicado para el sector céntrico, donde incluso el “domo” se ha expandido hacia el noroeste angostando la isopieza de -5m. Mientras tanto en el NE la isopieza cero se contrajo en dirección N, recuperando nivel en unos 1100 m.

En el período marzo-junio de 1992, los datos disponibles nos muestran una significativa expansión de la isopieza cero ([fig. 3.14, 3.15 y 3.15.b](#)), la que alcanza su máximo desarrollo en el historial de explotación. En ese momento, prácticamente todos los pozos operados por Obras Sanitarias Mar del Plata SE, ubicados a lo largo de la ruta N° 2 y en un amplísimo sector de la zona de La Trinidad-El Sosiego, mostraban niveles estáticos por debajo del nivel del mar, llegando a unos escasos 200 m. del límite Sur de la cuenca subterránea del Arroyo Los Patos. Hacia el noroeste de la zona urbana, la isopieza cero se ubicaba en la calle Portugal (proximidades de la Av. Errea). En Pueblo Camet, el cono de depresión registraban valores de más de 5 metros por debajo del nivel del mar (pozos 163, 164 y 165). Asimismo en una ancha franja, desarrollada entre la

Av. Constitución y ruta N° 2 y el Puerto se registraron niveles con valores de más de 10 metros por debajo del nivel del mar.

Ante esta situación fue necesario, como medida preventiva, tomar la drástica decisión de sacar temporariamente de servicio los pozos de la zona de La Trinidad-El Sosiego, sobre todo porque este sector se encontraba muy comprometido no sólo por su cercanía al mar, sino también porque el “domo” de agua dulce que lo separaba de la costa se había reducido notablemente en espesor (menos de 3 metros). La decisión produjo resultados inmediatos y satisfactorios. En una nueva campaña de niveles, realizada en noviembre-diciembre de 1992 ([fig. 3.15](#)) se constató que, si bien la situación general había mejorado poco, se había logrado revertir la expansión de la isopieza cero en la zona de La Trinidad-El Sosiego.

Análisis general:

Si nos remitimos al avance de la isopieza cero , desde 1950 hasta el primer semestre de 1992 ([fig. 3.16](#)) se comprueba que la misma recorrió unos 13 km. hasta casi el límite del partido, y peligrosamente se extendía hacia el NE.

La situación a fines de 1992 mostraba un mejoramiento circunstancial en el extremo Norte ([fig. 3.15.b](#)), pero históricamente había avanzado desde 1981 ([fig. 3.15.b](#)) unos 3200 m. en dirección Norte, en una franja de unos 1600m de ancho. , mientras que hacia el SO se produjo un avance significativamente menor de unos 1300 m. La diferencia indicada obedece a que la política de explotación se basó en la utilización intensiva del Acueducto Norte como eje de desarrollo de la explotación , tomando solo parcialmente a la Vertiente Norte como fuente de captación.

Hasta 1981 en la zona céntrica, la isopieza cero ([fig. 3.11.a](#)) mejoró notablemente, disponiéndose entre los bloques del basamento impermeable hacia 1985. En el período 1985-1992 se mantuvo estable. Probablemente esta situación de estabilidad obedece a la explotación de los pozos 8 y 16 ([fig. 3.1](#)) que se utilizaron para mantener el nivel del acuífero constante en este periodo. En 1994 ([fig. 5.1](#)) se amplía hacia el SO , como veremos mas adelante .

CAPITULO IV

LA ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN APLICADA

A PARTIR DE 1993

La estrategia de producción diseñada por Obras Sanitarias Mar del Plata SE, y cuyo desarrollo detallado revisaremos a continuación, se basa como se anticipó en un informe preliminar (Bocanegra et al, 1997) en dos conceptos fundamentales: a) el balance de caudales por cuenca hidrológica en explotación y b) adecuación de los bombeos a los caudales críticos. Asimismo se adoptaron otras medidas adicionales, como ampliar el distanciamiento entre los pozos, las que si bien no eran de aplicación inmediata, resultaba necesario preverlas para el futuro ya que requería una inversión en infraestructura (perforaciones, impulsiones y acueductos) de gran magnitud.

Para el diseño de la nueva estrategia de explotación, se realizaron diversas acciones previas, tales como: 1) definir las distintas cuencas hidrológicas del Partido de General Pueyrredón, 2) calcular, resolver y analizar los balances hídricos, para determinar la recarga de los acuíferos en cada una de ellas, 3) establecer los volúmenes anuales que se extraían para el abastecimiento de la ciudad, 4) calcular los volúmenes de agua que anualmente, debían reservarse para las restantes actividades, sobre todo la destinada al riego, 5) recopilación y análisis de los resultados obtenidos en todos los ensayos de bombeo, sobre todo los de caudal variable disponibles en Obras Sanitarias Mar del Plata SE y 6) la realización de unos 50 ensayos de bombeo, en especial en aquellos pozos de los que no se poseían datos o que si bien se disponían resultaban muy antiguos.

4.1.- BALANCE DE CAUDALES POR CUENCA HIDROLÓGICA

Mediante la resolución de los respectivos balances hídricos, se calcula el agua que, a partir de las precipitaciones se recarga anualmente en cada una de las cuencas hidrológicas del Partido de General Pueyrredón. A ese valor de recarga anual (y que denominaremos *Oferta Global de Agua del Sistema Acuífero*) se le restan los volúmenes de agua que en las citadas cuencas deben reservarse para el riego suplementario y el volumen resultante (es decir recarga menos riego) es el potencialmente disponible para la explotación con destinado al abastecimiento de los centros urbanos.

En síntesis, la metodología consiste fundamentalmente en considerar potencialmente explotables sólo aquellos volúmenes que anualmente se recargan en cada una de las cuencas hidrológicas, descartándose toda posibilidad de extraer más agua que la que el sistema acuífero dispone para extraer.

A continuación describiremos brevemente la metodología de cálculo de la oferta global del sistema acuífero, y se brindará un breve análisis de las principales

demandas a las que está sometido, para finalmente determinar las reservas disponibles que se destinaran al abastecimiento urbano en cada una de las cuencas hidrológicas subterráneas, variables fundamentales, no sólo para diseñar y ejecutar una extracción racional y sostenible, sino fundamentalmente para elaborar estrategias de desarrollo urbano más adecuadas.

4.1.1.- Oferta de agua del sistema acuífero

La zona del sudeste de la provincia de Buenos Aires dispone, como ya se adelantó, de una única fuente de aprovisionamiento de agua potable, el agua subterránea, debido a la inexistencia de cursos superficiales de importancia y de la imposibilidad, al menos en el futuro inmediato de aprovechar otras fuentes alternativas no tradicionales.

4.1.1.1.- Balance hídrico de la región

La recarga del sistema acuífero de la zona se produce en forma autóctona a partir de las lluvias y la porción de agua que contribuye a la misma puede estimarse, con un grado aceptable de confiabilidad a partir de la resolución de balances hídricos simplificados, en los que se toman como variables esenciales: la *precipitación*, la *evapotranspiración*, el *escurrimiento fluvial* y el *caudal o escurrimiento subterráneo*, inter-relacionados según la siguiente ecuación:

$$P = \text{Evapot} + \text{Esc. Fluvial} + \text{Esc. Subter.} \quad (1)$$

Donde:

- P = precipitación media anual en mm.
- Evapot. = Evapotranspiración real media anual en mm.
- Esc. Fluvial = Escurrimiento fluvial media anual en mm.
- Esc. Subter. = Escurrimiento subterráneo medio anual en mm.

A principios de 1993 se calculó la ecuación (1) del balance hídrico de la región con el objeto de determinar la recarga global del sistema acuífero. Si bien, para ello se revisaron todos los antecedentes disponibles en la empresa (Groeber, 1954; Sala et al., 1979-1980; Cionchi et al., 1982; Martínez, 1984 y Kruse, 1986; registros de la Estación EEA-INTA de Balcarce y de establecimientos agropecuarios), se decidió tomar como variables para la resolución del balance hídrico la serie registrada para el período 1901-1987 en la Estación Mar del Plata Aero (Cionchi, 1993), y los resultados obtenidos para el cálculo de la recarga son los que se muestran en la [tabla 4.1.](#)

Precipitaciones: De acuerdo con lo expresado, el módulo anual de precipitaciones usado para la resolución del balance hídrico de la región, es el registrado en el período 1901-1987 por la Estación Mar del Plata-Mar del Plata Aero, que es de 852 mm anuales (Cionchi, 1993).

Evapotranspiración: No existen de la zona antecedentes de investigaciones que hayan alcanzado resultados comprobables en el campo, referidos a esta tan importante variable, de fundamental incidencia en la evaluación de las disponibilidades de agua en el sistema acuífero. Sin embargo, se admiten como válidas (Sala et al., 1979-1980, Cionchi et al., 1982, entre otros), algunas interpretaciones realizadas a partir de extrapolaciones de metodologías de cálculo, esencialmente la de Thornthwaite (en Burgos y Vidal, 1951) y que han demostrado un cierto éxito en el noreste de la provincia de Buenos Aires (E.A.S.N.E., 1972)

Para un intervalo de tiempo muy breve, Garay y Suero (1974), compararon valores de evapotranspiración potencial, calculados mediante diversos métodos, relacionándolos con las demandas de riego de la papa en la zona de la Estación EEA-INTA de Balcarce.

Más recientemente, Kruse y Rojo (1985), analizando la evolución de los conos de depresión del área marplatense, llegan a la conclusión que el método de Thornthwaite resulta verdaderamente “pesimista” en cuanto a las reales disponibilidades de agua al estimar valores “exagerados” de evapotranspiración, subestimando consecuentemente los excesos de lluvia que por infiltración recargan los acuíferos. Asimismo, sostienen que la aplicación de otros métodos, como los usados por Garay y Suero (1974) no resultarían satisfactorios a escala regional, ya que por los resultados obtenidos, mostrarían la inexistencia de excesos de agua con posibilidades de infiltrarse, con lo que no sólo se deberían haber desarrollado conos de depresión con diámetros mayores a los que muestran en la realidad, sino que además no sería sencillo explicar el origen de toda el agua extraída desde 1913 para abastecer a la ciudad de Mar del Plata y satisfacer la demanda de las restantes actividades, en especial la agropecuarias.

Para la situación analizada en este trabajo la determinación de la evapotranspiración (potencial y real), se realizó recurriendo al método empírico de Thornthwaite, ya que si bien subestima las disponibilidades, constituye una aproximación adecuada y aceptable para estudios regionales en los que se pretende planificar una extracción racional de agua subterránea (Cionchi, 1993).

Escorrentamiento fluvial: Este factor se considera, en el área de Mar del Plata y sus adyacencias, poco significativo, ya que en general, los cursos fluviales de la comarca son de escaso caudal y no drenarían más del 1 % del total de las lluvias medias (Cionchi, 1993) aunque quizás pueda considerarse como una excepción el arroyo Vivoratá, con un valor aproximado del 4 % (Sala et al., 1979-1980).

Infiltración: Teniendo en cuenta las características físicas de los terrenos de la región se ha considerado (Cionchi, 1993) a la velocidad de infiltración, relacionada directamente con la recarga de las aguas subterráneas como un parámetro poco variable.

La resolución de la ecuación (1), considerando los parámetros evapotranspiración comentados y los asumidos para el escurrimiento fluvial, permitió establecer que los "excesos" de agua, de acuerdo con los variables determinadas para el período 1901-1987 para la recarga del sistema acuífero serían algo superiores a los 110 milímetros anuales (Cionchi, 1993).

De todas formas, en el citado informe (Cionchi, 1993) en coincidencia con Kruse y Rojo (1986) se consideró razonable, descartar por igual valores de infiltración tan bajos como el indicado, porque de haberse producidos deberían haber provocado una expansión del cono de depresión mucho mayor que la que muestra en la realidad, así como los estimados por métodos más optimistas como los de Turc y Coutagne, que sobrestiman la infiltración y los calculados por Garay y Suero (1974), que en el otro extremo suponen la inexistencia de agua para recarga y admitir, con un cierto grado de certeza que los valores determinados por el método de Thornthwaite deberían tomarse como valores umbrales, es decir lo mínimo con lo que las lluvias contribuirían a la recarga del sistema anualmente.

Kruse y Rojo (1986) sostienen que los valores que resultarían más coherente con la evolución real del cono de depresión debería variar entre un mínimo de 150 mm/año y un máximo de 180 mm/año, los que si bien resultarían adecuado con las conclusiones a las que se ha arribado más arriba, a efectos de disponer de un mayor margen de seguridad en una primera instancia se decidió tomar como límite máximo 170 mm anuales, como se muestra en la [tabla 4.1](#) (Cionchi, 1993)

4.1.2.- Análisis de las principales demandas

En general puede asumirse, con un aceptable grado de certeza que las mayores demandas que debe soportar el sistema acuífero la conforman esencialmente: a) *el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Mar del Plata y Batán* y b) *el riego destinado a las explotaciones agrícolas intensivas, especialmente aquellas de carácter permanente*, las que por su concentración en diversos puntos del Distrito producen un impacto más significativo sobre los niveles acuíferos subterráneos.

4.1.2.1.- Explotación para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Mar del Plata

El abastecimiento de la actual red de distribución de agua potable de la ciudad de Mar del Plata y Batán, se realiza a partir de la explotación del agua subterránea de la vertiente norte del Partido de General Pueyrredón ([figura 2.2](#)).

A los efectos de poder establecer un balance de caudales, dentro del marco natural de funcionamiento de los acuíferos, se han tomado como base, para la evaluación de los volúmenes a las cuencas hidrológicas afectadas por las distintas obras de captación ([figura 2.2](#)).

El total extraído en la vertiente norte alcanzaba, en 1992 a 101,8 Hm³ anuales, y el detalle por cuenca se indica en la [tabla 4.1](#).

Con respecto a la vertiente sur, vale la pena aclarar que la misma se encuentra prácticamente inexplorada por OSSE, ya que para el año 1992 sólo se encuentran en servicio parcial 5 pozos en sector de Colonia Chapadmalal y destinados esencialmente al abastecimiento del complejo turístico homónimo. Los volúmenes totales a ese año se estimaban en menos de 0,7 Hm³ anuales.

4.1.2.2.- Riego para explotaciones agrícolas intensivas

El Partido de General Pueyrredón, y en especial los alrededores de Mar del Plata, concentran una importante producción de hortalizas de especies muy variadas, entre las que se destacan por la superficie que ocupan, los sembradíos de lechuga y zanahoria. Los núcleos principales se encuentran en los Parajes de Laguna-Sierras de Los Padres, Parque y Valle Hermoso, San Francisco-Batán, El Pino, La Peregrina, Camet, Cementerio Parque-Quintas de Peralta Ramos, “muchos de los cuales poseen límites imprecisos y algunos de ellos se los conoce bajo distintos nombres (López Camelo, 1991).

En la [figura 2.2](#) se muestra la distribución todos los sectores destinados total o parcialmente a la horticultura. La distribución, así como las extensiones han sido determinadas sobre la base de la información que nos suministró el Ing. Andrés López Camelo (com.epist.) de la Estación EEA-INTA de Balcarce, y para quien dejamos expresa constancia de agradecimiento por su valiosa colaboración. Asimismo y como puede verse en la [figura 2.2](#) se distinguen, de acuerdo con lo informado por el Ing. López Camelo (com. epist.), dos tipos principales de explotaciones: a) *Las dedicadas plenamente a la horticultura* y b) *Las destinadas parcialmente a la horticultura*. De estas últimas se ha estimado al solo efecto del cálculo de la demanda de agua para riego, que únicamente la mitad de la superficie estaría destinada a la horticultura, estimación que, si bien podría resultar exagerada, nos permite contar con límites de seguridad en cuanto a las reservas disponibles de agua, así como las requeridas para el riego suplementario.

La sumatoria de ambos tipos de explotaciones, permite estimar que en el Partido de General Pueyrredón el área total destinada plenamente a la horticultura alcanzaría a 140,50 km², los que de acuerdo con los datos aportados por López Camelo (1991), se distribuirían de la siguiente forma: 122,70 km² en la vertiente norte y 17,80 km² en la vertiente sur.

Finalmente, si bien la papa es, como lo expresa López Camelo (1991), el cultivo extensivo de mayor importancia, no es típicamente explotado en las quintas y su consideración es excluida, por lo general, de los estudios sobre el área hortícola. De todas formas, según el Ing. López Camelo (com. epist.), cubriría unos 100 km² adicionales. Sin embargo, vale la pena advertir que la superficie asignada, en este trabajo a la horticultura (140,50 km²) resultaría en cierta forma sobrestimada, ya que en las áreas delimitadas por el Ing. López Camelo no habrían sido excluidos aquellos sectores de los establecimientos destinados a vivienda, galpones, caminos principales y secundarios, tanto públicos como privados, ni los bajos no explotables. En consecuencia podría considerarse, con un margen e error aceptable que la mayor parte de los cultivos de papa estarían incluidos y que en esencia no afectaría el cálculo de las reservas disponibles para riego dentro de la superficie total asignada a la horticultura.

4.1.2.2.1.- Requerimientos de agua para riego

Según López Camelo (1991), el volumen de agua requerido para satisfacer la demanda de riego de las 15 especies más importantes es de unos 5,2 hm³ anuales, valor éste que ascendería a 5,8 hm³ si se tienen en cuenta las irregularidades que muestra en el ciclo hidrológico anual la distribución de las lluvias en los últimos 10 días de diciembre. Asimismo, el citado autor consigna que, como la eficiencia de los sistemas de riego más utilizados en la zona es de 80 %, el volumen requerido alcanzaría a unos 7,25 hm³ anuales.

Si tenemos en cuenta que López Camelo (1991), realiza el cálculo para unas 60 km² (el total de la superficie cultivada en el Partido de General Pueyrredón en ese momento), esto significa que en definitiva se requerían unos 0.12 hm³/km² (7.25 hm³/60 km²), que en términos pluviométricos representan unos 120 mm anuales, valor éste algo inferior a los 150 mm anuales (distribuidos en 6 riegos de 25 mm) determinado por Garay y Suero (1974).

De todas formas en los cálculos de las disponibilidades de agua para explotar, Obras Sanitarias Mar del Plata SE, y como un criterio de mayor seguridad, adopta el valor de 150 mm anuales para definir las reservas destinadas al riego.

Asimismo y atento a que el riego es, en definitiva un fenómeno “pluvial”, corresponde considerar que un porcentaje del total del agua suministrada se infiltra en el terreno, por lo que se lo contabiliza como una reposición de reservas, por lo que el valor final para el cálculo de agua efectivamente requerida resultaría igual a 127,5 mm anuales, valor que de todas formas sigue siendo algo mayor que el determinado por López Camelo (1991).

En consecuencia se estima que los requerimientos de las explotaciones agrícolas intensivas para el riego suplementario en el Partido de General Pueyrredón alcanzarían a 17.9 Hm³ anuales, los que se repartirían en 15.6 Hm³ para la vertiente septentrional y 2.3 Hm³ para vertiente sur.

4.1.2.3.- Otras extracciones

En este rubro estarían incluidos, esencialmente aquellos caudales destinados a las distintas industrias que para sus procesos de producción utilizan pozos propios, así como todos los pozos domiciliarios de las residencias ubicadas en sectores que no cuentan con servicio de agua corriente. Con respecto a los primeros, se considera que frente a las dos demandas principales analizadas, resultan relativamente insignificantes, por lo que, al menos en este momento su omisión no afectará el resultado final, mientras que los volúmenes extraídos por los pozos domiciliarios no se contabilizan ya que de extenderse el servicio oficial de redes de distribución, los mismos serán suministrados por Obras Sanitarias Mar del Plata SE y a partir de los mismos recursos que hoy utilizan individualmente.

4.1.3.- Cálculo de Reservas Globales Disponibles por Cuenca Hidrológica

La estimación de las reservas globales disponibles por cuenca hidrológica subterránea se realizó aplicando la ecuación (2) que se indica a continuación:

$$\text{RGD} = \text{R} - (\text{EAP} + \text{ERS} + \text{OE}) \quad (2)$$

Donde:

RGD = Reservas Globales Disponibles en $\text{Hm}^3/\text{año}$

R = Recarga Global anual en $\text{Hm}^3/\text{año}$

EAP = Extracción de agua para el suministro de agua potable (OSSE) en $\text{Hm}^3/\text{año}$

OE = Otras extracciones en $\text{Hm}^3/\text{año}$

Los resultados obtenidos, y que se sintetizan en la [tabla 4.1](#), permitieron comprobar que algunas cuencas hidrológicas subterráneas, mostraban marcados déficits de agua, destacándose, por su elevado volumen el de los arroyos Los Patos-Santa Elena-Camet (Cionchi, 1993)

4.2.- ADECUACIONES DE LOS BOMBEO A LOS CAUDALES CRÍTICOS

Se definió como *caudal crítico*, al máximo caudal explotable en cada pozo, sin superar las posibilidades de aporte que naturalmente posee el acuífero en las adyacencias del pozo. Esta metodología de explotación permite, a nuestro juicio, no sólo mantener el equilibrio “aporte-extracción”, evitando una exagerada profundización del cono de depresión sino que también posibilita la economía

integral del sistema de extracción tanto en lo que se refiere al recurso hídrico, como en los costos de explotación (energía eléctrica, mantenimiento electromecánico, etc.).

El método consiste esencialmente en la realización de ensayos de caudal variable, midiendo la profundidad del nivel agua para cada uno de los caudales bombeados. Los ensayos de caudal variable se realizaron bombeando 3 a 5 umbrales (o “paros de caudal”), en los que se mantiene constante la extracción en cada uno de ellos. Los tiempos de bombeo en cada uno de los umbrales se extienden hasta obtener la estabilización de los correspondientes niveles del agua. En general en la región, los tiempos de bombeo en cada umbral varían entre 60 y 120 minutos.

Una vez obtenida la información de cada ensayo, se construye un gráfico (lineal) con los valores de depresión (nivel dinámico menos nivel estático), en la ordenada, versus los respectivos caudales, en la abscisa ([figura 4.1](#))

Como se observa en la curva de la [figura 4.1](#), los pares de valores se alinean en dos rectas de diferentes pendientes y se considera como caudal crítico a aquel valor en el que se produce el primer incremento de la pendiente de la curva. En otras palabras, el caudal crítico sería el mayor valor de caudal de la serie de mayores caudales específicos del pozo.

En la [figura 4.1](#) se muestran, a modo de ejemplo algunos de los gráficos realizados a partir de los respectivos ensayos de bombeo en pozos de Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

4.3.- OTRAS MEDIDAS PARA EL DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Asimismo, a partir de parámetros como transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento disponibles, se estimaron los radios de influencia en las distintas áreas de captación del Partido de General Pueyrredón, con lo que se decidió aumentar el distanciamiento entre los pozos, que históricamente era de unos 400 metros antes de 1990, ampliándolo para las nuevas perforaciones a realizar a 600-700 metros, con el objeto de reducir la interferencia entre los conos de depresión individuales, causante de los descensos adicionales de los niveles del agua, que no sólo provocan una mayor expansión de la perturbación potenciométrica, sino que también reducen la eficiencia de los equipos de bombeo, lo que en definitiva se traduce en un mayor consumo de energía eléctrica y consecuentemente en un incremento del costo del agua extraída (Cionchi, 1994).

Complementariamente se inicio un programa de control de fugas en acueductos, impulsiones y perforaciones (Mérida, 1995b).

CAPITULO V

LAS RESPUESTAS DEL SISTEMA ACUÍFERO A LA NUEVA ESTRATEGIA DE EXPLOTACIÓN

A la luz de los resultados obtenidos, a partir de 1993 se comenzó a aplicar, en forma paulatina o parcial, la nueva metodología, descrita más arriba, adecuando la extracción individual y por cuenca hidrológica a los parámetros de explotación calculados hasta ese momento.

Un análisis detallado de la evolución del sistema acuífero desde el momento en que se inició la aplicación de la nueva estrategia de explotación nos permite diferenciar dos períodos en los que se observan algunas características particulares. El primero comprende desde comienzos de 1993 a fines de 1996 y el restante desde principios de 1997 hasta la actualidad.

A fines de 1996 se realizó una revisión de las variables de diseño aplicadas, para monitorear su comportamiento frente a la realidad de las nuevas condiciones.

5.1.- PERÍODO 1993-1996

Este primer período del proceso de adecuación de la explotación se inició con un total de 183 pozos disponibles para el servicio ([tabla 3.1](#)). El balance de caudales por cuenca hidrológica, en el que se basó el diseño de esta primera fase, es el calculado sobre la base de las variables hidrometeorológicas del período 1901-1987 de la Estación Mar del Plata Aero (Cionchi, 1993), modificadas para la determinación de las reservas de agua subterráneas disponibles para una extracción sostenible, adhiriendo a las conclusiones de Kruse y Rojo (1985) y cuyos resultados se muestran en la [tabla 4.1](#).

A modo de ejemplo, se agregan como [tablas 5.1](#) y [5.2](#) los esquemas de producción diseñados a partir de los balances de caudales de dos de las cuencas subterráneas en explotación con los caudales máximos (críticos) recomendados para cada pozo.

La simple observación de la [tabla 4.1](#), permite comprobar que, cuando se comparan las reservas globales de agua subterránea, disponibles en el Partido de General Pueyrredón y en especial en la vertiente septentrional, las mismas superan ampliamente los requerimientos de las principales actividades sociales y económicas, sin embargo, cuando el análisis del balance de caudales se hace individualmente por cuenca hidrológica se advierten marcados déficits de agua, aún en los supuestos de recarga más optimistas, es decir 170 mm anuales.

Determinados los déficits en los balances de caudales de cada una de las cuencas hidrológicas subterráneas se implementaron 3 líneas de acción principales: 1) La

adecuación de caudales de extracción a los caudales críticos; 2) Se intensificaron los planes de reparación y control de fugas en las cañerías de impulsión y redes troncales (Mérida, 1995b) y 3) Construcción de nuevas captaciones distribuidas en las cuencas con superávit de reservas y adoptando el nuevo distanciamiento entre pozos (600-700 metros).

Esto obligó a formular una política global de expansión de los sistema de acueductos, para cumplir con este fin.

Los planes de construcción de nuevos acueductos tales como el Sistema acueducto Norte (etapas 0, I, II y III), tenían como objetivos la explotación racional del acuífero, con el reemplazo de perforaciones o reducción de caudales (Mérida, 1989).

Estas nuevas captaciones, construídas a este fin, permitieron ir compensando la reducción de los volúmenes de extracción que se fue operando a medida que se adecuaba el sistema a las nuevas variables (caudales críticos y reducción de los déficits en los balances de caudales de las cuencas hidrológicas). En el período 1993-1996 se construyeron 33 nuevas perforaciones ([tabla 3.1](#)).

Como consecuencia de la aplicación de la nueva estrategia de explotación, el sistema acuífero comenzó a reaccionar favorablemente con recuperaciones muy significativas, no sólo evidenciada por la retracción de la isopieza cero, sino también por la notable reducción de la profundidad del cono de depresión (Cionchi, 1994).

La respuesta favorable del sistema, se había comenzado a visualizar a fines del año 1992, cuando se constató que, con la salida temporaria de servicio de unos 25 pozos, ubicados en las zonas este-noreste del Partido y aledaños sobre la Ruta N° 2, en sólo 5 meses, la isopieza cero se había desplazado mas de 1500 metros hacia el Oeste, alejándose del litoral marítimo ([fig. 3.15.b](#)), circunstancia comentada en el Capítulo 3. Además en algunos sectores se obtuvieron recuperaciones de más de 5 metros en la profundidad de los niveles de agua (Cionchi, 1994).

El avance sostenido, en la aplicación de la nueva estrategia, permitió al sistema acuífero, continuar con el proceso de recuperación. Así en el primer semestre de 1994 ([fig.5.1](#)), se constató una importante retracción de la isopieza cero, con respecto al primer semestre de 1992 ([fig. 5.2](#)), por un desplazamiento de 2800-3000 metros hacia el sur sobre la traza de la Ruta N° 2 y una recuperación de las profundidades del nivel de agua de más de 5 metros, en contraste con el período anterior. En el sector urbano céntrico y en el de los Barrios del sur y sudeste de la ciudad (Avenidas Mario Bravo, J.J. Paso y Polonia y el área portuaria) a su vez se comprobaron importantes recuperaciones sobre todo en las profundidades de los niveles de agua de entre 5 y 10 metros en comparación con marzo de 1992.

La campaña de niveles del 1er semestre de 1995 ([fig. 5.3](#)) muestra importantes recuperaciones del sistema acuífero tanto en las profundidades del nivel del agua como en el área de expansión de la isopieza cero. Asimismo se observa ([fig. 5.3 y](#)

[5.4](#)) que la isopieza cero aparece seccionada en varios sectores menores, proceso que ya se insinuaba en los resultados del monitoreo del año 1994.

Las recuperaciones más destacables aparecen en los sectores céntricos de la ciudad de Mar del Plata y en el área urbana del sur, sobre todo en adyacencias del Puerto de Mar del Plata. Si analizamos los años 1992, 1994 y 1995 observamos tres líneas preferenciales de recuperación ([fig. 5.4](#)), revirtiéndose el proceso de minería del agua. En este periodo la totalidad de la zona urbana entre las tres figuras irregulares que conforman la isopieza cero pasan a tener valores superiores al nivel del mar. En el área norte y noreste del Partido se observa el avance hacia el sur, desde el límite con el Partido de Mar Chiquita de la curva de niveles superiores a los 5 metros sobre el nivel del mar.

Debido a esta situación favorable, en este periodo se inicia un plan de recuperación de pozos radiados que consiste en la adecuación de sus impulsiones para que contribuyan a los grandes acueductos o a las cisternas principales, y de esa forma aprovechar más eficientemente los recursos de agua disponibles en virtud de las importantes recuperaciones en los niveles piezométricos, los que en algunos casos generan inconvenientes en instalaciones subterráneas, tales como anegamiento de sótanos, nivel del freático en similitud con los servicios de agua, etc., (Mérida, 1995a). En general, el agua de los pozos que se están rehabilitando presenta deficiencias en su calidad química (altos nitratos y/o salinidad media), pero al mezclarlos en los acueductos o grandes cisternas, se produce una dilución suficiente que permite obtener un producto adecuado.

En este periodo se rehabilitaron 10 perforaciones, 7 en 1995 y 3 en 1996. Del total, seis están ubicadas en la zona portuaria y cuatro en la zona céntrica. Cabe destacar que entre los pozos rehabilitados, se encuentra, casi como un símbolo el Pozo N° 1, que había sido abandonado en 1954.

En la siguiente campaña, los datos obtenidos muestran un leve retroceso en el proceso de recuperación ([fig. 5.5 y 5.6](#)), indicado esencialmente por una expansión superficial de la isopieza cero, sobre todo a lo largo de la Ruta N° 2 (600 m), desde la Av. Colón y hasta unos 1200 metros al norte del Aeropuerto de Mar del Plata, aunque las profundidades se mantuvieron, en general dentro de los rangos del año 1995.

El retroceso podría explicarse en parte, por la puesta en servicio de las 10 perforaciones rehabilitadas en el período.

5.2.- PERÍODO 1997 A LA ACTUALIDAD

Para este período se revisaron, a fines de 1996 los resultados del balance hídrico (Cionchi, 1997), adoptando un criterio distinto al que sirvió como fundamento para la determinación de las reservas disponibles en la etapa precedente. Asimismo, se decidió que en la adecuación anual de la estrategia de explotación, debían

considerarse además, de los parámetros utilizados hasta el momento, la evolución de las isovariaciones de los niveles piezométricos.

Entre otras acciones se procedió a actualizar los respectivos balances hídricos de la región (Cionchi, 1997), incluyendo el análisis detallado de todas las variables hidrometeorológicas disponibles de la región.

A raíz del citado análisis, se consideró más razonable recalcular los balances hídricos tomando sólo los registros meteorológicos correspondientes al período 1951-1990 de la Estaciones Mar del Plata-Mar del Plata Aero y Balcarce EEA-INTA, porque los mismos reflejan más adecuadamente la evolución de las precipitaciones medias anuales de todas las localidades (oficiales y privadas) disponibles (Redín, 1995; Cionchi, 1997)

Teniendo en cuenta las conclusiones del mencionado informe (Cionchi, 1997), se asumieron, como variables de cálculo, los valores de “exceso” de agua para infiltración siguientes: 152,71 mm y 181,92 mm anuales. El primero, que se corresponde con los registros de Balcarce EEA-INTA (período 1951-1990) se lo considera como el valor umbral o mínimo y el restante, que refleja la media anual de igual período de la Estación Mar del Plata-Mar del Plata Aero, como máximo posible. De todas formas vale la pena destacar que los valores asumidos coinciden razonablemente con los sugeridos por Kruse y Rojo (1985) y fueron calculados por el método de Thornthwaite, descrito más arriba, sobre todo por brindar un mayor margen de seguridad en cuanto a los volúmenes disponibles para extracción (Cionchi, 1997).

En la [tabla 5.3](#) se sintetizan los volúmenes de agua que, a partir de las lluvias recargan anualmente el sistema acuífero, así como la resolución de las respectivas ecuaciones de balance para cada una de las cuencas hidrológicas.

En esta segunda fase, que se inició con 201 pozos disponibles en servicio ([tabla 3.1](#)), se realiza una adecuación del sistema a las nuevas variables determinadas. Asimismo, entre los años 1997 y 1999 se incorporaron 39 nuevos pozos, con las mismas características y objetivos que los de la fase anterior, restando todavía por utilizar una perforación de la II etapa del Sistema Acueducto Norte . Durante el presente año se incorporarán 15 nuevas captaciones, (de las cuales ya se han construido 5), no sólo para abastecer el gran crecimiento que presentan las redes domiciliarias, sino también para avanzar en el control de los déficits que aún persisten en algunas cuencas hidrológicas ([tabla 5.3](#)). Ocho de ellas, completan la última etapa del Sistema Acueducto Norte (Mérida, 1989).

En el año 1997 ([fig. 5.7](#)), una nueva campaña de medición de control de niveles de agua, permitió comprobar que se comenzaba a delinear un cono de depresión relativamente elongado y continuo a lo largo de la Ruta N° 2, desde Alvarado y la Av. Champagnat hasta el límite sur de la cuenca hidrológica subterránea del Arroyo Los Patos, en el sector noreste del Partido de General Pueyrredón. Por

otra parte, en el área urbana aledaña al Puerto marplatense se observa una leve recuperación en los valores de profundidad del acuífero ([fig. 5.8](#)).

La campaña de niveles del año 1998 ([fig. 5.9](#)) permitió comprobar por un lado un sensible mejoramiento del sistema acuífero en el extremo austral del mismo retrayéndose en unos 2300 m la isopieza cero, retrayéndose de tal forma que del original de 1997, se conformaron dos pequeños conos mucho menores que el precedente, uno con eje sobre la Av. F. De la Plaza, y el otro delimitado por las Av. Polonia, F. De la Plaza, Juan B. Justo y Vertiz y por el otro una contracción generalizada de unos 400 m de la isopieza cero en la zona central del cono de depresión ([fig. 5.10](#)).

Por otra parte la comparación de los niveles piezométricos del año 1998 con el año precedente permitió delimitar los sectores en los que luego de un año de extracción se produjeron variaciones ([fig. 5.11](#)). En este último plano se observa que los niveles muestran una recuperación general, destacándose los sectores sur del cono, con isovariaciones positivas de hasta casi 5 metros y el borde centro-oeste y norte donde los niveles ascendieron más de 6 metros con respecto al año 1997. Mientras que, sólo se observan profundizaciones de niveles de menos de 2 metros en un pequeño sector al sudoeste de Pueblo Camet.

Debido a la utilización de sistemas de posicionamiento global (GPS), software de mapeo automático y GIS (sistemas de información georeferenciados) se pudo determinar con mayor precisión la densidad necesaria de puntos de monitoreo y es así que en la campaña 1999 de medición de niveles estáticos se controlaron, además de las perforaciones que Obras Sanitarias posee para el abastecimiento público, más de 100 pozos de apoyo, frente a los 35-40 que se medían en años anteriores. De esta centena de puntos, la mitad de ellos, están ubicados en el flanco oriental del cono de depresión, alejado unos 2000 metros de la costa.

En esta última campaña disponible de niveles piezométricos ([fig. 5.12](#)), se verificó una disminución de los pequeños conos australes y una retracción de unos 1500 m hacia el sudoeste en el sector norte. ([fig. 5.13](#)). Se puede observar las isovariaciones para este período en la [figura 5.14](#).

Con el fin de analizar el comportamiento dinámico del acuífero en los últimos tres años; 1997, 1998 y 1999 se confeccionó la [fig. 5.15](#), en la cual podemos observar que la isopieza cero se mantuvo en promedio estable en el flanco O, hacia el NE se redujo sensiblemente en casi 1000 m. Se ha calculado la disminución porcentual de la isopieza cero, tomando 1997 como base la que se indica en tabla 5.4.

Tabla 5.4

Año	Area Norte	Area SO	Area SE	Area Total	%de reducción
1997	47875791	9491571	0	57367362	0
1998	39847688	1319069	652791	41819548	27
1999	36038428	1557590	281894	37877912	34

El hecho que se haya reducido un 34% el área total de la isopieza cero en el trienio es en sí significativa, pero aun mas los es si recordamos, tal cual lo indicado en el artículo 5.1 la rehabilitación de 10 perforaciones radiadas en 1995 y 1996

Con el mismo criterio se recalcularon y graficaron las isopiezas para el trienio en cuestión ([fig. 5.16](#), [5.17 y 5.18](#)) con distintos intervalos de acuerdo a la sensibilidad de las distintas zonas. A este fin se adoptó intervalo de dos metros en el rango de isopiezas de -2 a -4m y 2 a 34 m, otro de 1 m para los rangos de -4 a -6 y 1 a 2 m, y finalmente uno de medio metro para el rango de 1 a -1m.

Analizando en las [fig. 5.16, 5.17 y 5.18](#) el comportamiento de la isopieza de 2 m, se puede ver el avance de la misma en dirección norte y sur, una desde el límite NE del partido y la otra desde Cabo Corrientes. En 1997 ([fig. 5.16](#)) ya se visualiza este avance atravesando el límite del partido por el NE y la Av. Libertad por el SO. En 1998 ([fig. 5.17](#)) se formaba un domo circular por el NE y una lengua por el SO que se extiende desde la Av. Libertad hasta la calle Rio Negro con un domo lateral adjunto. Para 1999 ([fig. 5.18](#)) se forma un brazo en direcciones NO y N de importantes dimensiones, mientras que la rama sur cambia de dirección hacia el O. Igual análisis podemos realizar para la isopieza de 1 metro, visualizando que tiende a unirse, en el periodo considerado.

En 1999 ([fig. 5.18](#)) este mecanismo de recuperación logra envolver la isopieza cero en forma total.

En una retrospectiva de la explotación podemos observar que el marco de la zona de explotación actual delimitado por las coordenadas 5788000 a 5816000 y 6440000 a 6456000 del sistema coordinado Gauss-Kruger ([fig. 3.2](#)). corresponde a aproximadamente el 12 % del área en relación al de 1950.

En la [fig. 5.19](#) se observa que la isopieza cero se encontraba en la zona céntrica, ocupando un área de unos 9 km² y su flanco oriental lo conformaban el Basamento Impermeable y el mar. En 1999, en cambio, la isopieza cero, con un área total de unos 38 km², presenta una migración en tres direcciones principales (oeste-sudoeste, sur y nor-noroeste) hacia posiciones más mediterráneas o "continentales". Las dos primeras (oeste-sudoeste y sur) muestran desplazamientos de unos 3500 y 2500 metros respectivamente, mientras que la restante lo hace un promedio de 1000 metros en el sector urbano y unos 2000 metros en la zona rural, en todos los casos alejándose del litoral marítimo.

El baricentro principal del cono de depresión de 1999, se desplazó, con respecto al del 1950 unos 7 km hacia el nor-noroeste.

La situación de 1950 era, por la cercanía del mar, sumamente desfavorable para la explotación del acuífero, como luego quedó demostrado durante los 50 años posteriores.

Por otro lado, cuando se analiza la situación de los últimos 3 años, se comprueba que, a pesar que la superficie de la isopieza cero es de casi cuatro veces la correspondiente a 1950, se considera que el riesgo de intrusión salina se encuentra controlado adecuadamente y que el proceso de avance se ha revertido. En la actualidad, este proceso está evolucionando a posiciones de equilibrio que permiten vislumbrar un régimen de carácter sostenible, de acuerdo a la filosofía presentada en el Capítulo 1.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los criterios y estrategias de explotación de los recursos hídricos subterráneos del Partido de General Pueyrredón y las consecuencias asociadas, nos permiten caracterizar 2 etapas o períodos claramente diferenciables:

1) Período 1913 a 1992

Este *primer período*, es el más prolongado, se extiende desde los inicios del servicio sanitario, en 1913 hasta fines de 1992. Se caracteriza esencialmente por una política de extracción intensiva (sobreexplotación), desarrollada, evidentemente, sin ningún tipo de planificación previa, ni programas de monitoreo que posibilitaran constatar la evolución de los acuíferos y aparentemente con el único objetivo de satisfacer las necesidades de provisión de agua potable, sobre todo en los momentos de mayor demanda (meses de verano), de una ciudad como Mar del Plata con un gran desarrollo demográfico y un marcado crecimiento estacional de la población.

La filosofía de explotación descrita provocó una profunda perturbación en el sistema acuífero, que puso en notable riesgo amplios sectores del mismo, al promover el avance de la cuña salina, debido a un progresivo “vaciado” del acuífero mediante el proceso, que Custodio (1997) llama “minería del agua”.

Los administradores de ese momento, a pesar que disponían de informes en los que se definían claramente las graves consecuencias que ese criterio de explotación estaba produciendo en el sistema acuífero, sólo se limitaban a abandonar los pozos salinizados, reemplazándolos con nuevas captaciones, las que lamentablemente eran operadas con las mismas variables de funcionamiento y con lo que se agregaban nuevos avances de la cuña salina.

2) Período 1993 a la actualidad

El *segundo período*, que se encuentra en vigencia desde los primeros meses de 1993, fue diseñado con criterios de explotación diametralmente opuestos a los del período anterior, como lo demuestra el hecho que su objetivo esencial es propender una extracción racional y sostenible de los recursos hídricos

subterráneos. El método, que se diseñó totalmente en Obras Sanitarias Mar del Plata SE, tiene en cuenta, fundamentalmente las posibilidades potenciales de explotación contemplando el carácter finito de los recursos hídricos, variable ésta con la que se establecen, como límites máximo de la cantidad de agua a extraer, los volúmenes que anualmente se reponen en el sistema acuífero, a partir de las lluvias.

Asimismo se adopta como criterio de explotación individual en cada pozo, el *caudal crítico*, determinado en los respectivos ensayos de bombeos. Este criterio, junto al de incrementar el distanciamiento entre las captaciones, hacen posible reducir los descensos de los niveles de agua y la interferencia entre los radios de influencia de los pozos durante la extracción, con lo cual se evita la excesiva profundización del cono de depresión.

Este nuevo criterio de explotación permitió neutralizar el avance la cuña salina y comenzar un proceso de retroceso, hasta que en 1995 se logró revertir definitivamente la evolución negativa del sistema.

Dentro de este período de gestión racional, creemos conveniente establecer, dos fases en las que, si bien el marco conceptual sigue siendo el mismo, presentan diferencias, desde el punto de vista operativo, generadas por las adecuaciones de las variables de explotación a la luz de los resultados obtenidos como consecuencia de las respuestas del sistema acuífero.

La *primera fase*, comprende los años 1993 a 1996 y puede caracterizarse como de prueba y ajuste continuo. Esta fase incluyó el diseño de metodologías que no sólo redujeran la velocidad de avance de la cuña salina (balance de caudales, caudales críticos, etc.), sino también la elaboración de proyectos y la ejecución de obras complementarias (control de fugas, nuevas captaciones, etc.) que contribuyeran a ese objetivo, y simultáneamente permitieran continuar con el abastecimiento de agua a la ciudad de Mar del Plata, con la infraestructura disponible en el momento y la programación de que obras se debían realizar para avanzar en este sentido.

La *segunda fase*, desarrollada desde 1997, se caracteriza porque pueden realizarse adecuaciones más precisas, a la luz de toda la información aportada por el historial de producción revisado y los resultados aportados por la fase anterior.

En esa última fase se incorporaron nuevos criterios como el control anual de las isovariaciones de niveles del agua determinadas con la comparación de las situaciones piezométricas de años consecutivos. Esta información nos permite realizar propuestas anuales de explotación, adecuando las variables de extracción a las respuestas del acuífero, frente a las perturbaciones generadas en el ciclo anual anterior. Asimismo, nos facilita planificar con la suficiente anticipación, los impactos que provocarán las obras proyectadas.

En definitiva, la nueva metodología de explotación nos ha permitido no sólo superar un problema preocupante y de larga data, como lo es la degradación, hasta el nivel de la inutilidad de los recursos hídricos subterráneos del Partido de General Pueyrredón y de los cuales en los últimos años de la década de 1970, se llegó a anunciar conclusiones apocalípticas, como “que Mar del Plata se quedaría sin agua en 10 o 15 años más” (es decir, debería haberse cumplido en 1990 o 1995). Sin embargo utilizando la metodología descripta con un análisis poblacional acorde a la situación particular de Gral. Pueyrredón (Mérida,1993) permite extrapolar situaciones donde se puede demostrar que los recursos naturales pueden y deben ser aprovechados, con la única condición que se lo haga racionalmente.

Atento a los resultados obtenidos, creemos necesario recomendar la continuidad y profundización de la actual estrategia de explotación, mejorando el detalle de las campañas de control y monitoreo, continuando con la incorporación de nuevas captaciones, para atender al crecimiento de la demanda (por expansión de la red de distribución), que posibiliten el aprovechamiento de los recursos hídricos de aquellas cuencas que posean reservas explotables. En este último sentido es imperativo no olvidar que la programación de las nuevas obras de captación debe preceder en años a la necesidad de su utilización, tal cual lo implementado por OSSE en el último decenio.

Finalmente, considerando el carácter esencial que el agua posee para las actividades humanas, creemos que todo proyecto de desarrollo urbanístico o económico, debe adecuarse a las reales posibilidades de los recursos hídricos, para lo cual debe contarse con un conocimiento detallado de las reservas disponibles, no sólo para asegurar el éxito de la propuesta sino además para no volver a poner en peligro la sustentabilidad de la explotación.

Mar del Plata; 14 de julio de 2000

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BOCANEGRA, E., J.L. CIONCHI, J.L. FASANO, M.L. OSTERRIETH y E.J. SCHNACK. 1985. Geología ambiental del área urbana marplatense, Provincia de Buenos Aires. Caracterización preliminar. ***I Jorn. Geol. Bonaer.*** (Tandil, 1985), Actas: 663-682. Bahía Blanca, 1989.
- BOCANEGRA, E., H.E. MASSONE y J.L. CIONCHI. 1997. Sustentabilidad y gestión de recursos hídricos subterráneos. Mar del Plata como caso de estudio. ***I Cong. Nac. De Hidrogeol.***, Actas: 433-443. Bahía Blanca.
- BURGOS, J.J. y A.L. VIDAL. 1951. Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite. ***Rev. Meteoros***, N° 1(1): 3-32. Buenos Aires.
- CIONCHI, J.L.. 1991. Estado actual de los recursos hídricos subterráneos en la vertiente septentrional del partido de general Pueyrredón (Bs. Aires) (Informe preliminar). ***Obras Sanitarias Mar del Plata SE***, informe técnico inédito. Mar del Plata, 17 págs.
- CIONCHI, J.L.. 1993. Estimación de las reservas de aguas subterráneas disponibles en el Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires). ***Obras Sanitarias Mar del Plata SE***, Informe OSSE – RH. 1/93. Informe Inédito, Mar del Plata, 15 págs.
- CIONCHI, J.L.. 1994. Estado del cono de depresión en la zona de explotación de OSSE. ***Obras Sanitarias Mar del Plata SE***, informe técnico inédito. Mar del Plata, 19 págs.
- CIONCHI, J.L.. 1997. Las reservas de agua subterránea disponibles en el Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires). ***Obras Sanitarias Mar del Plata SE***. Informe Inédito MGP – OSSE 1/97. Mar del Plata, 15 págs.
- CIONCHI, J.L., E.J. SCHANACK, J.R. ALVAREZ, E. BOCANEGRA, J. BOGLIANO y J.L. DEL RÍO. 1982. Caracterización hidrogeológica y física-ambiental preliminar de la Laguna de Los Padres, Partido de General Pueyrredón, Prov. De Buenos Aires. ***Convenio MGP-UNMDP***. Informe Inédito. Mar del Plata, 44 págs.
- CUSTODIO, E.. 1994. Gestión y protección de acuíferos. En ***Seminario Hispano-Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea***, Actas: 225-244. Mar del Plata.

- CUSTODIO, E.. 1997. Explotación racional de las aguas subterráneas. **I Cong. Nac. De Hidrogeología**. Actas: 1-33. Bahía Blanca.
- DALLA SALDA, L. Y M. IÑÍGUEZ. 1978. "La Tinta", Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. **VII Cong. Geol. Arg.**, Actas 1: 539-550. Buenos Aires.
- DEL RÍO, J.L., H. MASSONE y J.L. CIONCHI. 1995. Mapa Geomorfológico. En Del Río, J.L., M.J. Bó, J. Martínez Arca y M.V. Bernasconi (editores) Carta Ambiental del Partido de General Pueyrredón, Tomo 1: 33-40. Mar del Plata
- E.A.S.N.E.. 1972. Contribución al estudio hidrogeológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. **E.A.S.N.E.**, (Consejo Federal de Inversiones – Provincia de Buenos Aires). Publicación C.F.I. Serie Técnica N° 24. Buenos Aires.
- GARAY, E. y E. SUERO. 1974. Recopilación y análisis preliminar de información relacionada con la evapotranspiración y riego de papa en Balcarce. **INTA-EERA**. Informe Inédito. Balcarce, 2 págs.
- GÓMEZ CRESPO, R.A. y R. COVAS. 1982. Arquitectura marplatense. El Pintoresquismo. **Inst. Arg. De Inv. De Hist. De la Arq. y del Urbanismo**, Resistencia (Chaco), 199 págs.
- GROEBER, P.F.C.. 1954. Geología e hidrogeología de Mar del Plata en relación con el problema de abastecimiento de agua potable a la población urbana. **Museo Mun. De Cs. Nat. Y Trad.**, Rev., 1 (2): 5-25. Mar del Plata.
- KRUSE, E.. 1986. Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilía. Cuencas de los Arroyos Vivoratá, Las Brusquitas y El Durazno. **Asoc. Geol. Arg.**, Rev. XLI (3-4): 367-384. Buenos Aires.
- KRUSE, E. Y A. ROJO. 1985. Interpretación de los conos de depresión de Mar del Plata (Buenos Aires). Primer análisis. **I Jorn. Geol. Bonaer.**, Actas: 421-430. (Tandil, 1985). Bahía Blanca 1989.
- LÓPEZ CAMELO, A.. 1991. El área hortícola de Mar del Plata. **INTA**. Informe Inédito, Balcarce, págs.
- MARTÍNEZ, S.. 1984. Características geohidrológicas de la cuenca del arroyo La Tapera. Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires). **Fac. de Cs. Naturales (UNLP)**. Trabajo de Licenciatura. Inédito. La Plata, págs.
- MASSONE, H.E., J.L. DEL RÍO, D. FAJARDO, J.L. CIONCHI, D.E. MARTÍNEZ y E. BOCANEGRA. 1993. Los residuos sólidos domiciliarios del Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires) desde una perspectiva geológico-ambiental. Parte I: Aplicación de la cartografía geocientífica a la

- selección de los sitios de disposición final. **XII Cong. Geol. Arg.**, Actas VI: 303-310. Mendoza.
- MAURIÑO, V., O VARDE y R. SCANAVINO. 1981. Investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas para el proyecto de una central hidroeléctrica de acumulación por bombeo. **VIII Cong. Geol. Arg.**, Actas II: 45-66. Buenos Aires.
 - MÉRIDA, L.A.. 1989. Proyecto Sistema Acueducto Norte Memoria Técnica. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito. Mar del Plata.
 - MÉRIDA, L.A.. 1993. Informe preliminar de actualización sobre el estudio de factibilidad de la disposición en el mar de los efluentes cloacales de la ciudad de Mar del Plata. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito. Mar del Plata.
 - MÉRIDA, L.A.. 1995a. Red de carga de agua con fines no potables, derivación de caudales remanentes a grandes conductos y venta de agua potable en bloque. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito. Mar del Plata, 6 páginas.
 - MÉRIDA, L.A.. 1995b. Informe I,II y III, 37 pag., III- Control de fugas, mantenimiento de válvulas ,etc. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito. Mar del Plata, 12 páginas.
 - MÉRIDA, L.A.. 1998. Proyecto de telemetría y comando. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito. Mar del Plata.
 - REDIN, I.. 1995. Hidrometeorología y resolución de balances hídricos en el Partido de General Pueyrredón. **Obras Sanitarias Mar del Plata SE**, Informe inédito R.H. 1/95. Mar del Plata 18 páginas.
 - RUÍZ HUIDOBRO, O.. 1975. Informe final referente convenio O.S.N.-Facultad de Cs. Exactas y Naturales (U.B.A.). Informe Inédito. Buenos Aires.
 - RUÍZ HUIDOBRO, O. y O.R. TOFALO. 1975. La intrusión de agua de mar en acuíferos litorales. Su control en Mar del Plata (República Argentina). **VI Cong. Geol. Arg.**, Actas: 515-523. Buenos Aires.
 - SALA, J.M.. 1975. Recursos Hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). VI Cong. Geol. Arg.. Relatorio: 169-194. Buenos Aires.
 - SALA, J.M., M. HERNÁNDEZ, N. GONZÁLEZ, E. KRUSE y A. ROJO. 1979-1980. Investigación geohidrológica aplicada en el área de Mar del Plata. Convenio O.S.N.-Univ. Nac. De La Plata. Informe inédito. La Plata, 4 fascículos.
 - TAPIA, A.. 1937. Las cavernas de Ojo de Agua y Las Hachas. **Direc. Nac. De Geol. Y Minería**. Boletín N° 43. Buenos Aires.

- TERUGGI, M.E.. 1957. The nature and origin of Argentina loess. **Jour. Of Sed. Petrol.**, Vol. 27 (3): 322-332.
- TERUGGI, M.E. y J. KILMURRAY. 1975. Tandilia. En Geología de la Provincia de Buenos Aires. **VI Cong. Geol. Arg.**, Relatorio: 55-77. Buenos Aires
- TERUGGI, M.E. y J. KILMURRAY. 1980. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. **II Simp. Geol. Reg. Arg.**, Tomo II: 919-965. Acad. Nac. de Ciencias. Córdoba.
- TERUGGI, M.E., J.KILMURRAY y L. DALLA SALDA. 1973. Los dominios tectónicos de la región de Tandil. **Soc. Cient. Arg.**, Anales, C: 81-94. Buenos Aires.
- TERUGGI, M.E., J. KILMURRAY y L. DALLA SALDA. 1974. Los dominios tectónicos de la región de Balcarce. **Asoc. Geol. Arg.**, Rev. XIX (3): 265-276. Buenos Aires.
- TERUGGI, M.E., V. MAURIÑO y T. LIMOUSIN. 1962. Geología de la porción oriental de las Sierras de Tandil. **I Jorn. Geol. Arg.**, Actas II:359- Buenos Aires.
- WCED. 1987. Our common future. **World Commission on Environment and Development**. Oxford Univ. Press. Oxford. Gran Bretaña.
- ZÁRATE, M.A. y J.L. FASANO. 1984. Características de la sedimentación pleistocénica en la zona de Chapadmalal, provincia de Buenos Aires: significado de los paleosuelos y costras calcáreas. **IX Cong. Geol. Arg.**, Actas 4: 57-75. Buenos Aires.
- ZÁRATE, M.A. y J.L. FASANO. 1989. The Plio-Pleistocene record of the Central Eastern Pampas, Buenos Aires province, Argentina. The Chapadmalal case study. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology.**, Vol. 72: 27-52. Elsevier Sci. Publishers, Amsterdam.