



**CONSEJO  
FEDERAL  
DE INVERSIONES**

**DYMAS**  
**Desarrollo y manejo de aguas subterráneas**  
Convenio  
Consejo Federal de Inversiones  
Provincia de Buenos Aires

# **Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires Zona Noreste**

José María SALA  
Mario Alberto HERNANDEZ

## **COLABORADORES:**

Climatología e Hidrometeorología:

Jaime Félix MANDEL  
José María RICOY  
Adolfo ROJO

Apoyo Logístico:

Mario Enrique BUCK  
Jorge Roque TOMAS  
Adrián VARGAS ARANIBAR  
Alfredo ARCE  
Horacio DE VICENZO  
Roberto F. LONGARZO  
Jorge PETRUCCELLI  
Jorge CILIO  
Carlos REY  
Jorge GONZALEZ

ISBN

Buenos Aires, 1993

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723  
IMPRESO EN ARGENTINA.

Todos los derechos reservados.  
© CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES.  
San Martín 871 - (1004) - Capital Federal.  
República Argentina.

SE PERMITE LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL  
SIEMPRE QUE SE MENCIONE LA FUENTE DE ORIGEN.

El Consejo Federal de Inversiones fue creado en 1959 por decisión política de las provincias argentinas. Animó este hecho la necesidad de cristalizar un espacio de reflexión y planeamiento de la realidad regional del país. Esta tarea debía concretarse desde una visión doctrinante comprometida con el afianzamiento del federalismo y la búsqueda del protagonismo de los hombre y mujeres, que desde los más diversos escenarios territoriales se esfuerzan por alcanzar un destino superior de vida.

El Consejo Federal de Inversiones constituye una experiencia creada, dirigida y sostenida con recursos de los propios estados provinciales miembros. Estas circunstancias le confieren al Organismo rasgos definidamente particulares. La coexistencia de identidades provinciales con realidades heterogéneas, y a veces contradictorias, constituye un estímulo para el desarrollo de un espíritu solidario reclamado no sólo por la necesidad de dar coherencia a su conducción política, sino también alentado por el requerimiento de trascender los intereses inmediatos y puntuales de cada provincia; afianzando de esta manera el principio de equidad y redistribución de los recursos movilizados en favor de las áreas de menor desarrollo relativo del país.

---

La consolidación de este organismo, además de promover la solidaridad de los estados provinciales, contribuye a crear las condiciones para mejorar las relaciones entre Provincias y el Estado Nacional. Diálogo todavía asignado por prácticas centralistas esterilizadoras de la creatividad y el potencial de desarrollo de las regiones.

Para la promoción del desarrollo regional, el Consejo Federal de Inversiones se vale de ciertos instrumentos fundamentales: la investigación básica, la cooperación técnica y la capacitación.

A través de estos instrumentos de promoción -impulsados con equipos profesionales y técnicos propios- el Consejo Federal de Inversiones concreta convenios con organismos nacionales e internacionales, potenciando de esta manera su capacidad de gestión y alimentando la cooperación e integración horizontal de equipos interprovinciales.

A través de sus diversas etapas el Consejo Federal de Inversiones ha concretado investigaciones básicas orien-

tadas a la exploración de áreas fundamentales de la problemática regional. En tal sentido se puede inventariar a modo de ejemplo la coordinación inter-jurisdiccional para relevar y sistematizar información estadística de base, diversas investigaciones sobre las condiciones de desenvolvimiento de las economías regionales, el análisis de los sistemas y estructuras sociales locales y las diversas dimensiones que caracterizan las condiciones de vida de la población.

Sería extenso detallar los contenidos de múltiples programas y proyectos de cooperación técnica, llevados adelante por el Organismo.

El desarrollo de cursos, jornadas y seminarios conforma otra de las líneas de acción valorizadas particularmente, ya que a través de estos eventos, se alienta el contacto y el intercambio de experiencia de los participantes provenientes de diversas jurisdicciones y unidades institucionales.

**Ing. Juan José Ciáccera**  
Secretario General

## **PROLOGO**

Entre las actividades que realiza el C.F.I. se ha desarrollado con notable expansión el estudio y evaluación de las fuentes de aguas subterráneas, tendiente a su aprovechamiento integral acorde con los principios sobre uso, conservación y manejo de los recursos naturales.

La Colección Hidrología Subterránea de la Serie Investigaciones Aplicadas traduce en síntesis, los resultados obtenidos en los distintos trabajos de la disciplina encarados por esta Dirección, en la pretensión de difundir la gran variedad de casos que se tratan y los resultados obtenidos.

Dada la reducida difusión de las investigaciones hidrogeológicas, que se restringe a escasas y esforzadas reuniones de especialistas, y la inexistencia de publicaciones específicas, logrando con excepción espacios en revistas generales, la Colección propicia la edición de números especiales, en los que se traten temas vinculados con el agua subterránea.

En este caso se presenta un trabajo producido por el Convenio Desarrollo y Manejo de Aguas Subterráneas (DYMAS), que fuera celebrado entre el CFI y la provincia de Buenos Aires. Su importancia radica en el carácter regional del estudio, convirtiéndolo en fuente de consulta permanente, en especial para los profesionales que desarrollan su actividad en esa provincia.

**Ing. Susana B. de Blundi**  
*Directora de Cooperación Técnica*



El Convenio Desarrollo y Manejo de Aguas Subterráneas (DYMAS) dió como resultado un conjunto de informes técnicos de edición restringida y por lo tanto de difícil acceso. El trabajo "Contribución al Mapa Geohidrológico de la Provincia de Buenos Aires" fue finalizado en el año 1974, pero su vigencia es indiscutible, ya que constituye el único estudio regional del recurso hídrico subterráneo que abarque todo el ámbito de la provincia.

Sin embargo, la importancia del estudio no se vió reflejada en una difusión adecuada. Poco grupos de investigación cuentan con la información producida en este trabajo y muchas instituciones y profesionales de la disciplina lo requieren dada su trascendencia y vigencia en el tiempo.

Por esta razones, la Dirección de Cooperación Técnica del C.F.I. apoyó la propuesta de reeditar este trabajo e incluirlo en la Colección Hidrología Subterránea como un número especial, integrado por cinco volúmenes, tal como fuera editado originalmente, cada uno de los cuales corresponde a una de las zonas en las que se dividió la provincia, cuyos límites y denominaciones se indican en el mapa que acompaña a esta nota.

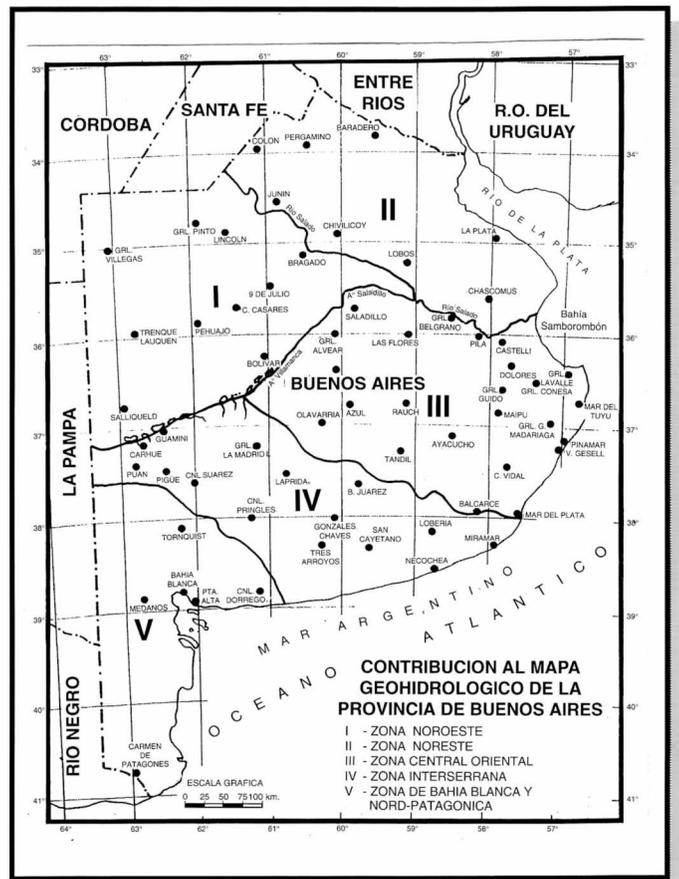
Quienes integramos el Comité de Edición llevamos a cabo las tareas de confección de textos y elaboración de mapas, gráficos, cuadros y figuras, regidos por el principio básico de mantener estrictamente el contenido original, salvo algunas modificaciones realizadas con el fin de uniformar la presentación de los cinco volúmenes.

Los Mapas Temáticos, en el original a escala 1:500.000, se reelaboraron en 1:1.100.000 por ser éste un tamaño adecuado para la publicación y por considerar que esta modificación no resulta fundamental y no implica pérdida de la información contenida en los mismos. Los gráficos y cuadros se procesaron en computadora y el resto de las figuras se dibujaron copiando el original o bien su reducción.

En algunos casos se presentaron inconvenientes en la recopilación del material, especialmente en el volumen correspondiente a la Zona Central Oriental en el que faltan figuras que en la edición original fueron tomadas de bibliografía antecedente, debidamente citada en el texto y por lo tanto accesible para quien quiera recurrir a ella.

La gestión de reedición contó con la participación de Edgardo Mannino en la tarea de dibujo cartográfico, de Ana María Ali en la confección de texto, de Daniel Ramirez y Alejandro Vizcaíno en las correcciones y de Olga Martínez Flores en apoyo administrativo.

**Alicia Rapaccini**  
**Boris Calvetty Amboni**  
**Ricardo González Arzac**



**PRINCIPALES ASPECTOS  
DEL AGUA  
SUBTERRANEA  
A TENER EN CUENTA  
EN EL DESARROLLO  
REGIONAL**

- El agua subterránea debe ser considerada en todo plan de desarrollo de la zona, por haber sido y ser en él un factor fundamental.
- La mayor parte de la región es abastecida por aguas subterráneas, siendo su principal destino el uso humano e industrial.
- Hay un área de explotación intensiva en coincidencia con los conglomerados urbanos e industriales litorales, y otra menos evidenciada en las zonas rurales.
- La concentración e intensidad de la explotación ha originado un alarmante deterioro acelerado de los acuíferos, al que debe añadirse el producido por la contaminación bacteriológica y química provocada por efluentes domésticos e industriales.
- El ritmo de demanda de agua es mayor que el de provisión por servicios.
- La creciente expansión demográfico-industrial prevé un incremento notable en la demanda futura y, consecuentemente, una magnificación del deterioro actual. La progresiva implantación del riego complementario en el área, aumentará de la misma forma los problemas de no tomarse previsiones trascendentes.
- Debe llegarse a la práctica de un uso conjuntivo conciente, además de plantearse otras prácticas de manejo, especialmente en lo que hace al control de los abastos y al destino de los efluentes industriales.

## INDICE GENERAL

	<i>Página</i>
1. INTRODUCCION	11
2. MORFOLOGIA	11
3. CLIMATOLOGIA Y BALANCE HIDROLOGICO	14
3.1. Características climáticas generales	
3.2. Precipitación	
3.3. Evapotranspiración	
3.4. Balance Hidrológico	
4. HIDROGEOLOGIA	17
4.1. Hidrogeología de subsuelo	
4.1.1. Hidroestratigrafía	
4.1.2. Estructura y tectónica	
4.2. Hidrogeología de superficie	
5. AGUAS SUPERFICIALES	21
6. AGUA SUBTERRANEA	23
6.1. Características generales	
6.2. Características físicas	
6.2.1. Subacuífero Epipelche	
6.2.2. Subacuífero Puelche	
6.2.3. Subacuífero Hipopuelche	
6.3. Hidroquímica	
6.4. Modelo conceptual	
6.5. Evaluación de reservas	
6.6. Uso del agua	
7. CONCLUSIONES	31
8. RECOMENDACIONES	33
9. LISTA BIBLIOGRAFICA	35

## **LISTA DE MAPAS, FIGURAS, GRAFICOS Y CUADROS**

MAPA N° 1	Mapa de Ubicación de la Zona y Estado de los Trabajos
MAPA N° 2	Mapa Isopáquico - Arenas Puelches
MAPA N° 3	Mapa Paleomorfológico de techo y base de las Arenas Puelches
FIGURA N° 4	Perfil Junín - San Nicolás
FIGURA N° 5	Perfil Ea La Juanita - Palermo
FIGURA N° 6	Columna Hidrogeológica
MAPA N° 7	Mapa Isofreático - Subacuífero Epipuelche
MAPA N° 8	Mapa Isopiécico - Subacuífero Puelche
MAPA N° 9	Mapa de Salinidad - Subacuífero Epipuelche - Capa Freática
MAPA N° 10	Mapa de Cloruros - Subacuífero Epipuelche - Capa Freática
MAPA N° 11	Mapa de Sulfatos
MAPA N° 12	Mapa de Isoconas - Subacuífero Puelche
MAPA N° 13	Mapa de Cloruros - Subacuífero Puelche
MAPA N° 14	Mapa de Sulfatos - Subacuífero Puelche
GRAFICO 1	Precipitación media mensual
GRAFICO 2	Variación media mensual de temperatura media

## 1. INTRODUCCION

La Zona Noreste correspondiente a la división de ambientes hidrogeológicos realizada por el Programa DYMAS para la Provincia de Buenos Aires involucra una superficie de 51.540 km<sup>2</sup> extendida en el sector comprendido entre los ríos Paraná, de la Plata y Salado.

Dotada de caracteres geohidrológicos distintivos, ha sido dividida en dos subzonas de acuerdo al estado de los estudios (Mapa N° 1). Una de ellas corresponde al área donde realizara estudios el ex-comité EASNE (Estudios Aguas Subterráneas Noreste - convenio CFI-PBA), con aproximadamente 22.000 km<sup>2</sup>, que posee información elaborada a distintas escalas (1:50.000, 1:100.000 y 1:500.000) sobre relevamientos de campo a escala 1:50.000 y 1:25.000, registro periódico en estaciones piezométricas e hidroquímicas, trabajos especiales sobre anteproyectos emergentes de los estudios básicos y análisis y pronósticos en áreas críticas piloto mediante el empleo de modelo matemático.

La otra sub-zona, que incluye el resto del área, se halla en etapa de diagnosis habiéndose relevado hasta el momento mas de 4.000 km<sup>2</sup> con una sola comisión de campo, incorporándose últimamente una segunda. Los datos básicos obtenidos están siendo elaborados a medida que avanzan las tareas de campo. Esta elaboración primaria ha permitido incorporar nuevos conocimientos que en general satisfacen las hipótesis planteadas oportunamente para la primera subzona.

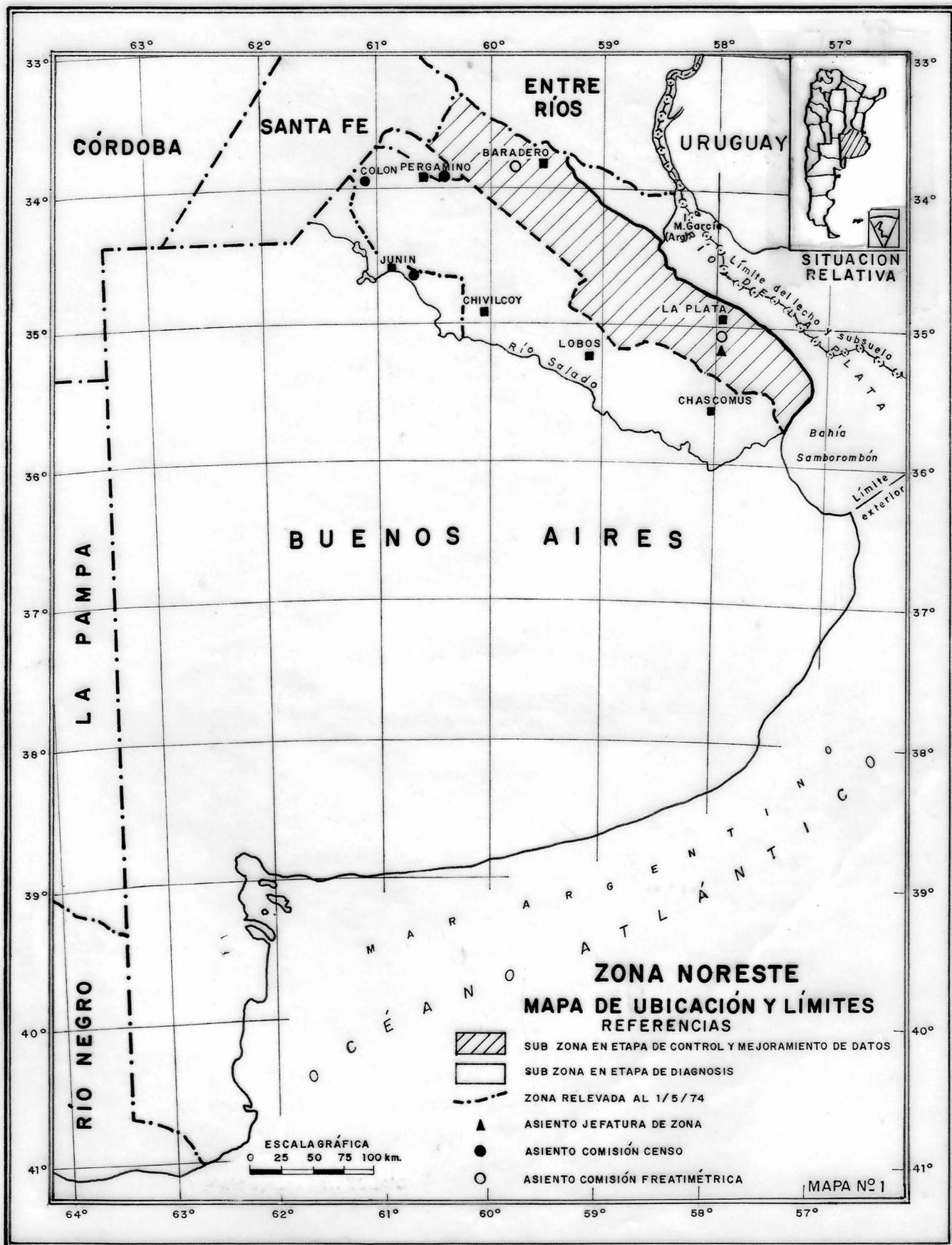
En este informe se han tratado de sintetizar las características resultantes de los estudios realizados durante la vigencia del ex-EASNE, las emergentes de los trabajos en la sub-zona en etapa de diagnosis y nuevos antecedentes recopilados para la totalidad del área, de modo de ofrecer un panorama regional ajustado, ilustrado con cartografía hidrogeológica, hidrodinámica e hidroquímica.

La escala utilizada es 1:500.000<sup>1</sup> acorde con el carácter general y regional del informe.

## 2. MORFOLOGIA

El ambiente Noreste se caracteriza morfológicamente

<sup>1</sup> 1:1.000.000 en esta edición



por un relieve de llanura bastante suave con inclinaciones regionales de muy escasa pendiente hacia el sistema Paraná-de la Plata y el río Salado. En la necesidad de adoptar un esquema simple que permita a la vez una caracterización regional y una vinculación con los fenómenos del ciclo hidrológico se ha optado por el enfoque propuesto por Frenguelli (15), (16) , que cumple perfectamente con ambos cometidos.

Pueden distinguirse así dos ambientes mayores, por él denominados **pampa baja** y **pampa deprimida**. El primero incluye las cuencas de ríos y arroyos que tributan hacia los ríos Paraná y de la Plata.

Posee un relieve más marcado que la restante, principalmente en el sector noroeste, desdibujándose progresivamente hacia el río de la Plata. Las formas dominantes son los elementos de valle fluvial labrados en depósitos en su mayor parte eolológicos. Dentro de esta unidad mayor, Frenguelli distingue dos menores a las que llama **terrazza alta** y **terrazza baja**. Si bien esta terminología no es correcta desde el punto de vista morfogenético y aún descriptivo, ambas unidades son bien marcadas y diferenciables, además de corresponderse con rasgos hidrodinámicos e hidroquímicos determinantes en lo que respecta a las aguas subterráneas. La **terrazza alta** es la más vasta presentando las mayores pendientes y alturas. La **terrazza baja** está restringida a la zona litoral del estuario del Plata y a las planicies de inundación de los cursos principales. Las pendientes son mínimas con alturas que no sobrepasan los 10 metros sobre el 0 (cero) del Instituto Geográfico Militar (IGM).

La **pampa deprimida** se corresponde con las cuencas de los ríos Salado y Samborombón. Ocupa una amplia depresión que en el área de la Zona Noreste presenta pendientes mínimas (hasta 0,1 m/km). De gran desarrollo longitudinal atraviesa la provincia con arrumbamiento general noroeste-sudeste, desde el límite con la provincia de Santa Fé hasta la Bahía de Samborombón, correspondiéndose en su porción terminal continental con la amplia escotadura de la bahía. Aportes más recientes al conocimiento de esta unidad (35) no son lo suficientemente ajustados, por lo menos para los fines del estudio hidrogeológico, de modo que su consideración, por otro lado sumamente importante como ambiente de tal tipo, se basa en el cuadro preliminarmente trazado por Frenguelli.

Esta amplia depresión extremadamente llana y con drenaje deficiente, se yuxtapone a la otra gran unidad (**pampa baja**) por medio de una suave flexura más marcada hacia el noroeste. Por su amplia planicie divaga principalmente el río Salado, concurrendo al drenaje regional el río Samborombón que desagua independientemente aunque con una cuasi-coalescencia terminal que evidencia la escasa competencia de ambos colectores. El tercio inferior de la unidad se caracteriza por dos elementos morfológicos de suma importancia: la presencia de lagunas y espejos palustres, generalmente alineados como si conformasen relictos de un drenaje otrora más desarrollado, concurrente al río Salado. Estos cuerpos conservan cierta independencia produciéndose en épocas muy lluviosas una conexión por derrame a través de suaves cañadas casi imperceptibles. El otro elemento es el alineamiento cordoniforme que bordea la escotadura de la Bahía de Samborombón (medanos, conchillas y coquinas) coincidente con antiguos cordones litorales. Este microrelieve local se prolonga muy tenuemente hacia el noroeste a lo largo del litoral platense aunque en forma muy discontinua y solamente evidente por suaves lomas elongadas que concluyen en la zona de Los Talas.

Sin entrar en consideraciones morfogenéticas más distantes del cometido primordial del informe, puede simplificarse aún el cuadro planteado.

De esta manera pueden reconocerse tres subdivisiones mayores:

a) **Llanura alta**: de escasa pendiente se ubica en las divisorias principales y a veces en las secundarias de los ríos y arroyos de régimen Paraná-del Plata y en la divisoria con los cursos del Salado y Samborombón. Es arealmente representativa en todo el ambiente, más desarrollada hacia el noroeste donde incluso puede localizarse en interfluvios de segundo orden de la cuenca del Salado. La red de drenaje es incipiente pudiendo encontrarse incluidos bañados y lagunas sumamente playas.

b) **Llanura intermedia**: continuación de la anterior se caracteriza por un aumento de los gradientes topográficos con perfiles típicamente convexos. Se superpone un drenaje con cursos intermitentes y perennes, desapareciendo los espejos de agua estancos. Su expresión más clara se advierte hacia el noroeste como resultado del ya

descripto pronunciamiento del relieve en ese cuadrante. En cambio adquiere mayor desarrollo areal en el sector nororiental.

c) **Llanura baja:** Abarca el resto del área involucrando las descritas como terraza baja, los cauces mayores de los ríos y arroyos principales y la amplia depresión de la cuenca del Salado, a excepción de los interfluvios de sus sectores medio y superior. Dos elementos se incluyen como microfactores locales en este ambiente: los cordones litorales y los médanos del sector occidental, que actúan como diques naturales desde el punto de vista geohidrológico.

Las pendientes son extremadamente bajas apareciendo cuerpos de agua estancos, muchas veces desconexos, amplios planos anegables e incluso la playa litoral de la Bahía de Samborombón.

Este panorama simple y regional basado en los criterios de Frenguelli, adquiere su mayor importancia aplicada en razón de su íntima conexión con la hidrogeología superficial, la mecánica de flujo subterráneo y las condiciones hidroquímicas, como se verá más adelante.

Los parámetros geomórficos que se han medido y calculado a escala de reconocimiento para la mayoría de las cuencas incluidas en la zona, no son reproducidos en este informe por haber sido ya dados a conocer en trabajos anteriores (12) (26), solamente se menciona con carácter de conclusión global, que del análisis de la variación de los parámetros surge una tendencia, aunque no marcada, a la disminución de las posibilidades de infiltración superficial noroeste a sudeste evidenciada por la variación de los distintos factores concurrentes.

## 3. CLIMATOLOGIA Y BALANCE HIDROLOGICO

### 3.1. Características climáticas generales

La zona Noreste ofrece un panorama climático caracterizado por una gran homogeneidad, coincidente con la uniformidad de los caracteres fisiográficos y morfológicos.

La observación de los registros hidrometeorológicos permite fácilmente tal aseveración e incluso la elaboración realizada para clasificar climáticamente la región, determina cualquiera sea la metodología utilizada, un mismo tipo climático (12).

De acuerdo a Thornthwaite el clima sería **subhúmedo-húmedo** con pequeña deficiencia de agua; tomando en cuenta la eficiencia térmica correspondería a un **tipo B'2**, es decir **semifrío con tendencia a templado** (5).

Tomando en cuenta la clasificación climática de Köppen (5) la zona se incluiría dentro del tipo **templado húmedo**.

Los índices decimales anuales elaborados en base a Knoche y Borzacov (12), permiten corroborar la homogeneidad climática aludida para estaciones climatológicas geográficamente representativas y distantes entre sí.

Los registros pluviométricos y termométricos (29) (30) (31) han resultado cuantitativamente suficientes para satisfacer, dentro de la escala de trabajo, la formulación simplificada del Balance Hidrológico cuyo tratamiento se incluye dentro de este Capítulo.

### 3.2. Precipitación

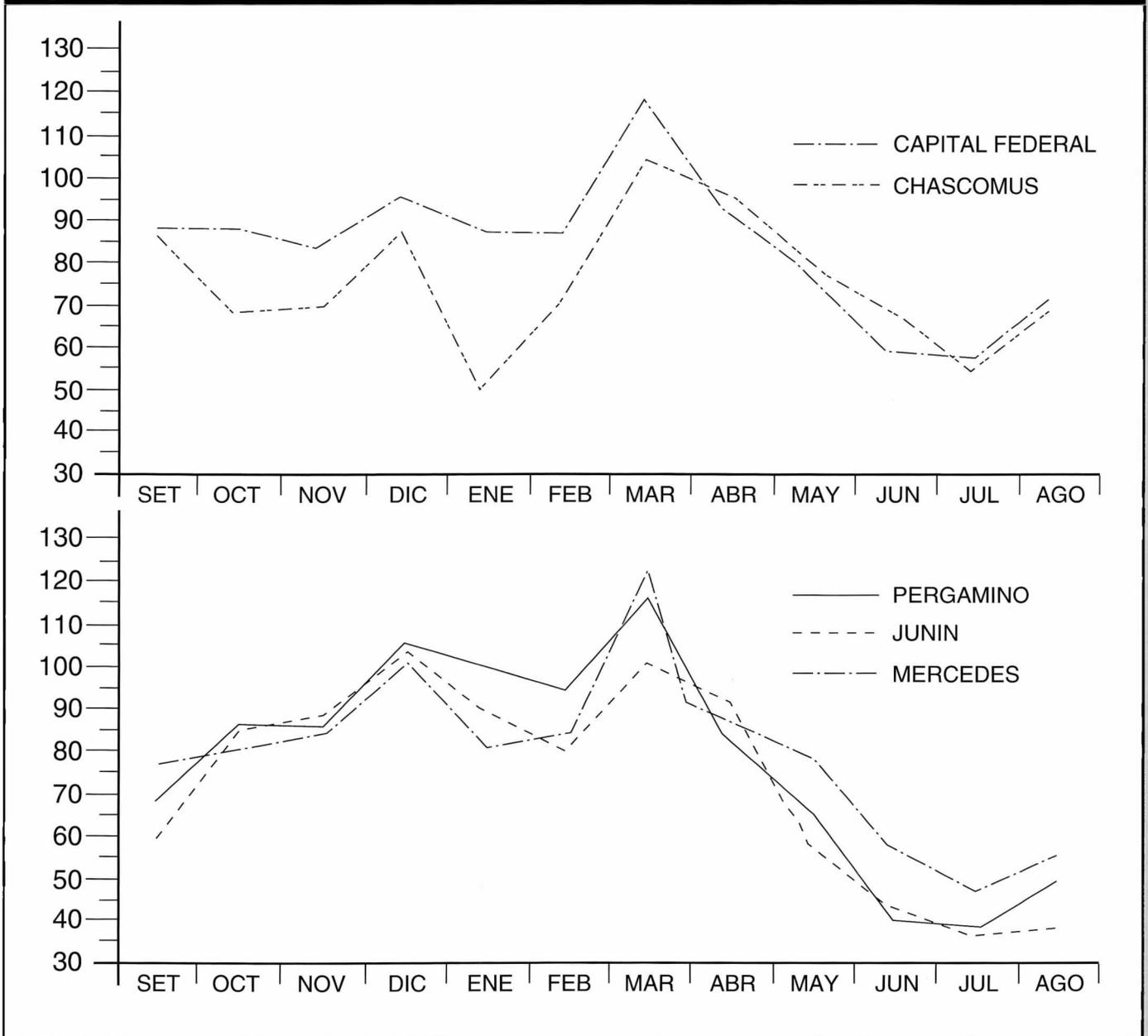
La gran cantidad de estaciones pluviométricas instaladas por el Servicio Meteorológico Nacional en el área posibilitó una elaboración bastante ajustada de este parámetro. Se reproduce en el trabajo (Gráfico 1) la marcha anual de las precipitaciones para treinta años (30) de cinco estaciones representativas elegidas con fines ilustrativos.

Las mayores precipitaciones ocurren en los meses de Marzo y Diciembre mientras que las mínimas se localizan en general en los meses de Junio y Julio, salvo en el sector suroriental donde también Enero acusa valores bajos.

El análisis del Gráfico 1 determina lo homogéneo de las lluvias en la región.

La precipitación media anual asignada a la zona es de 937,5 mm obtenida en base a la media aritmética ya que no se justifica utilizar otra metodología dadas las condiciones gene-

### VARIACION MEDIA MENSUAL TEMPERATURAS MEDIAS (GRAFICO N° 1)



rales planteadas. Los extremos son de 659 mm y 1433 mm. La tendencia general es a una disminución de los promedios en dirección sur a oeste, especialmente en este último sentido.

Teniendo en cuenta la frecuencia de lluvias calificadas existen 3 días al año donde se superan los 10 mm y 3 donde se exceden los 50 mm. El primer valor determinaría empíricamente la oportunidad de infiltración respecto a las lluvias.

### 3.3. Evapotranspiración

De acuerdo a las necesidades en lo que respecta al cálculo de este parámetro se ha optado por utilizar las fórmulas semiempíricas de Turc y Thornthwaite (5) (12), ya que el empleo de técnicas de medición directa está limitado por el escaso número de estaciones lisimétricas y el carácter puntual de las determinaciones; los métodos de cálculo con base física están restringidos a su vez a estaciones micrometeorológicas, lo que disminuiría la oportunidad de obtener resultados de índole regional.

Se ha preferido utilizar los valores logrados con la fórmula de Thornthwaite dada la experiencia positiva que se posee con ellos en la zona estudiada, en especial en el empleo de modelos matemáticos analíticos, donde resultan satisfactorios para la ejecución de los mismos y su calibrado.

Se ha atribuido a toda el área un valor de 793,5 mm de evapotranspiración real anual como una altura hipotética de lámina de agua evapotranspirada. Este valor es considerado como suficientemente representativo dada la relativa homogeneidad de las precipitaciones y las temperaturas en la zona. Este último factor resulta más uniforme, en

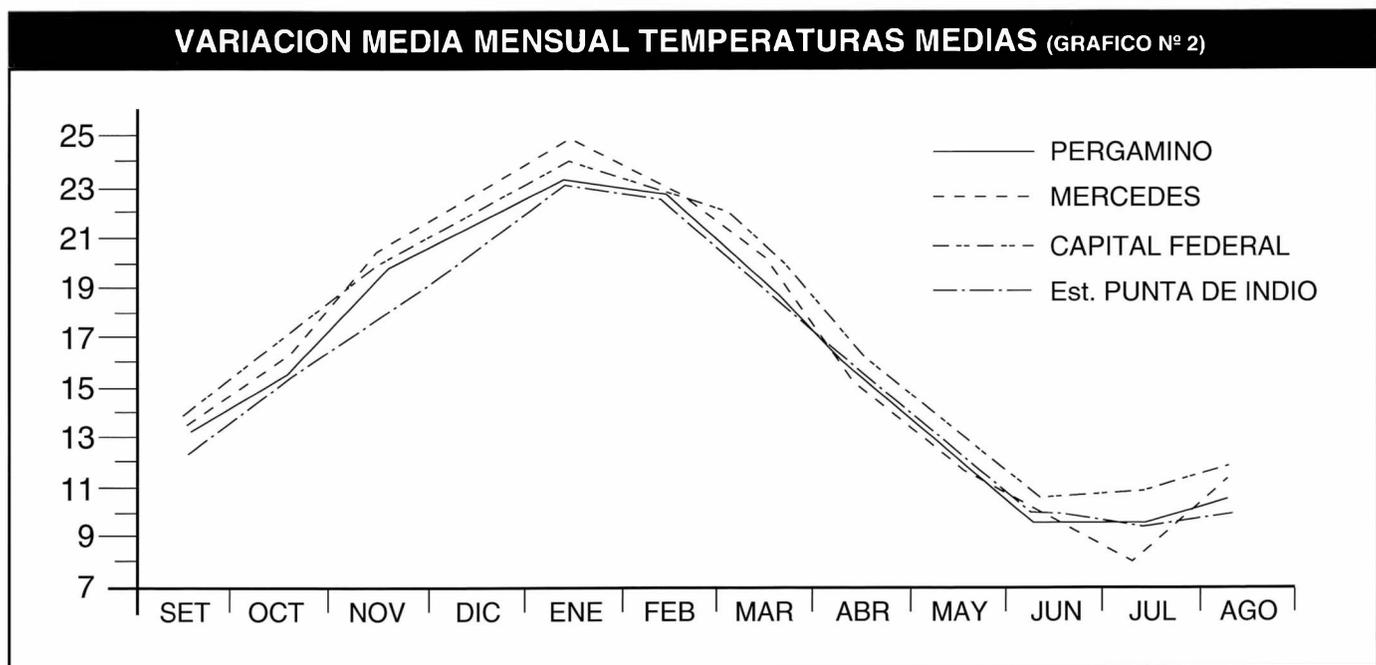
el Gráfico 2 se muestra la marcha anual de las temperaturas medias para distintas estaciones tomadas como ejemplo.

De acuerdo a la fórmula de Turc la evapotranspiración real estaría en el orden de los 680 mm por lo que se prefirió utilizar las cifras proporcionadas en primer término, correspondientes al cálculo según la metodología de Thornthwaite.

### 3.4. Balance Hidrológico

Se ha utilizado la expresión simplificada del Balance Hidrológico ya que no es posible emplear la ecuación fundamental del equilibrio hidrológico, en atención a la inexistencia de algunas variables, la imposibilidad de calcular otras y fundamentalmente por la certeza de la introducción de errores que en definitiva no justificarían tal detalle.

Para satisfacer la expresión simplificada se tomaron la precipitación calculada por la media aritmética, la evapotranspiración real según Thornthwaite y un valor de escurrimiento fluvial dado como un coeficiente porcentual de la



precipitación. Se optó por esta última solución ante la inexistencia de suficientes estaciones de aforo en el área, tomando como referencia la cuenca del río Matanza donde sí existen registros pluviométricos correlacionables con la pluviometría, efectuándose la extrapolación teniendo en cuenta los parámetros físicos medidos y calculados para las cuencas (12) (26).

De acuerdo a la expresión

$$P - E_{vtr} - E_f - I = 0$$

donde

- P** = precipitación
- E<sub>vtr</sub>** = evapotranspiración real
- E<sub>f</sub>** = escurrimiento fluvial
- I** = Infiltración

Se obtuvieron los valores presentados en el cuadro N° 1.

<b>CUADRO N° 1: Balance Hidrológico</b>		
	<b>Volumen (hm³)</b>	<b>Altura (mm)</b>
<b>Precipitación</b>	<b>48.324</b>	<b>937,5</b>
<b>Evapotranspiración</b>	<b>40.894</b>	<b>793,5</b>
<b>Escurrimiento fluvial</b>	<b>5.886</b>	<b>114,2</b>
<b>Infiltración</b>	<b>1.537</b>	<b>29,8</b>

*Como puede observarse, la infiltración representa solamente el 3,2% del total de agua precipitada.*

## 4. HIDROGEOLOGIA

Las características geológicas del medio en el cual se mueve el agua subterránea y sus implicancias conexas en el ciclo hidrológico, hacen que se constituya en un factor de peso en la evaluación de las reservas.

Para un correcto enfoque del capítulo se han desglosado las características superficiales de las del subsuelo. Las primeras se vinculan visiblemente con los rasgos morfológicos ya planteados. Las segundas, son quizás menos consistentes cualitativamente, dada la dificultad con que debe encararse su reconocimiento.

### 4.1. Hidrogeología de subsuelo

#### 4.1.1. Hidroestratigrafía

Las dificultades ya mencionadas en la caracterización hidrogeológica del subsuelo estriban principalmente en los siguientes factores:

a) No afloran en el área formaciones pre-cuaternarias representadas en el subsuelo.

b) Las perforaciones, principal elemento para la reconstrucción de la columna geológica, están irregularmente distribuidas.

c) La mayor parte de ellas se realizaron con fines de servicio y no son suficientemente profundas para el conocimiento de la secuencia vertical.

d) La exploración presenta el inconveniente de que su descripción fue realizada en distintas épocas y con diferentes criterios. Las más recientes son de exploración petrolífera accediéndose a un conocimiento limitado de su información por razones estratégicas.

e) Los métodos de prospección geofísica de superficie involucran solamente un sector de la zona: parte de la cuenca del río Salado y su extensión en plataforma submarina.

Asumiendo estas limitaciones a la precisión de las hipótesis que se plantean, se ha optado por diferenciar cuatro grandes unidades hidrogeológicas. En anteriores trabajos referidos a parte de la zona, más precisamente a la subzona en etapa de control y mejoramiento de datos, se

habían considerado también cuatro unidades hidroestratigráficas denominadas **basamento impermeable, prepuelche, puelche y pospuelche** (12) (24), con sus correspondientes unidades acuíferas llamadas **hipopuelche, puelche y epipuelche**. Se había tomado como referencia a los depósitos samíticos denominados **Arenas Puelches**, yacientes y distinguibles en toda el área de estudio.

Al integrarse el estudio del ambiente Noreste al marco de la provincia de Buenos Aires, se consideró más apropiado tomar como referencia a otras capas de mayor continuidad areal (12), de modo de proporcionar un esquema más amplio y facilitar de esa forma las correlaciones. La elección recayó en los sedimentos descritos en esa oportunidad como **El Verde** (19) (términos superiores del prepuelche sobre el cual se apoyan las Arenas Puelches) asignados geológicamente a depósitos del Mar Paraniario.

De este modo las unidades hidrogeológicas-hidroestratigráficas, descritas en lo sucesivo como secciones, se han denominado **Hipoparaniano, Paraniario y Epiparaniano**, además del sustrato del conjunto que es llamado **Basamento Impermeable**.

### **Basamento Impermeable**

A fin de no introducir falsas acepciones es necesario aclarar que se considerará como tal a toda roca acuífuga, independientemente de su edad geológica o conformación litológica, con extensión areal suficiente y por debajo de la cual se mantienen dichas características.

En la zona se incluyen como tal, por lo menos al basamento cristalino y a basaltos supuestamente atribuibles al cretácico y homologables a los de Serra Geral (4). El primero, compuesto de rocas metamórficas y plutónicas acuífugas, fue localizado a profundidades (cotas referidas al cero de IGM) que van de -130,80 metros en el Delta, -245 metros en Olivos, -283 metros en Iglesia de la Piedad (Capital Federal), -348 metros en Puente Alsina, -405 metros en Haedo, a -466 metros en La Plata, no habiéndose localizado en perforaciones practicadas en Cañuelas y Ranchos que alcanzaron profundidades de 717 metros y aproximadamente 3500 metros. Este hecho pone de manifiesto un hundimiento progresivo hacia el río Salado, cada vez más pronunciado.

Los basaltos han sido detectados en dos perforaciones situadas en el extremo noroeste (Gral Conesa a -777 metros) y en las proximidades de la desembocadura del río Samborombón, suponiéndose que suprayacen el basamento cristalino o al menos a rocas mesozoicas interpuestas entre ambos. No se poseen más datos como para precisar la real posición del basamento hidrogeológico y la tectónica que pudiera afectarlo, incluyendo aquélla que pudiera interesar a su permeabilidad.

### **Hipoparaniano**

Esta sección involucra a los sedimentos descritos como **El Rojo**, término inferior del **prepuelche** (12) (24). Se trata de un conjunto de hasta 1.500 metros de espesor de areniscas y arcillas de colores rojizos, con abundancia de yeso y frecuentes geodas de ópalos e intercalaciones de cenizas volcánicas, a menudo alteradas en arcillas por acción química subaérea (12). En ocasiones este paquete sedimentario remata en arcillas y areniscas de colores grisáceos, amarillentos y verdosos. Se asigna a los depósitos de esta sección un origen continental (19), aunque se nota en algunos perfiles la presencia de fósiles marinos (12). Desde el punto de vista de la transmisión del agua, puede caracterizársela como acuífera a francamente acuitarda. El primer caso, tiene su máxima expresión en las gravas y hasta conglomerados que en algunos perfiles aparecen en su base. El segundo caso corresponde a los potentes espesores de arcillas que podrían incluso considerarse como acuicludas. Los niveles acuíferos son registrados como tales en los perfiles disponibles.

### **Paraniario**

Los sedimentos de esta sección corresponden a la ingresión del mar homónimo, representados por un conjunto de arcillas azuladas, gris-azuladas y verdosas, con intercalaciones de arenas también azuladas y/o verdosas. Superan los 600 metros de espesor y su posición estructural respecto al **Hipoparaniano** es mencionada como discordante por algunos autores (4) mientras que otros se inclinan por considerar a ambas como una única sucesión intergradante, cuya parte inferior es continental y la superior es marina (35).

En una perforación próxima a General Conesa, el pasaje de **Hipoparaniano** a **Paraniario** es difícil de esta-

blecer ya que existen aproximadamente 160 metros donde alternan capas que corresponden a las características referidas para cada una de las secciones.

El análisis cualitativo de los perfiles de perforación ha permitido percibir una diferenciación facial que va desde la predominancia de samitas en el extremo noroeste de la zona a la de arcillas en el este y sur. También verticalmente se advierten diferencias litológicas.

Precisamente en la Zona Central Oriental, colindante con la Noreste hacia el sur y sudeste, se incluyen en la **Sección Paraniense** únicamente los niveles pelíticos superiores. En este ambiente no se optó por tal razonamiento ya que es frecuente que la base de este paquete sedimentario esté representada por arcillas, a veces relativamente potentes e incluso, como ya se ha dicho, predomine en ciertos casos la fracción arena.

Resulta claro que en este caso las propiedades hidráulicas de los sedimentos vayan también de netamente acuíferas a acuitardas, con presencia de estas últimas en el techo de la unidad de características filtrantes (25).

### **Epiparaniano**

Se han agrupado en esta sección las unidades hidroestratigráficas descritas oportunamente como **Puelche** y **Pospuelche**, o sea las **Arenas Puelches** y los sedimentos **Pampiano** y **Pospampiano** (15). En este capítulo se describen las primeras ya que constituyen el último término decreciente en edad que no aflora en el área. El **Pampiano** y **Pospampiano** serán caracterizados al tratar la Hidrogeología de superficie.

Las **Arenas Puelches** son puras, micáceas, de grano comúnmente mediano a fino, con algunas intercalaciones de gravilla. Su coloración es amarillenta a amarillenta-grisácea. Arealmente sobrepasan la zona de estudio, internándose hacia el sur y sudoeste en la cuenca del Salado sin poder precisarse exactamente su límite (12). Lateralmente engranarían en aquellas regiones con sedimentos loessoides del **Pampiano** y hacia el sur con arenas del Salado. Debe aclararse que son asignadas a esta subunidad todas las arenas que suprayacen al **Paraniense**, cabiendo la posibilidad de que en algunos casos pudiera tratarse de **Arenas Entrerrienses** (12). Esta diferenciación no es posi-

ble en el estado actual del conocimiento, de modo que se ha decidido agrupar a todas las samitas de la misma relación espacial. Hidrogeológicamente son acuíferas, constituyéndose en el principal nivel productivo en la mayor parte de la zona, especialmente hacia el este. Sus espesores varían entre menos de 10 metros a algo más de 40 metros. En el Mapa N° 2 se reproducen las curvas isopacas de las arenas, que marcan un espesamiento regional hacia los ríos Paraná y Salado, con algunas excepciones como las evidenciadas en las proximidades de las localidades de Mercedes y Cañuelas, y los cursos inferiores de los ríos Luján y Matanza.

### **4.1.2. Estructura y Tectónica**

La citada falta de suficientes perforaciones profundas obliga a acudir a otros elementos a fin de tratar de esquematizar la tectónica que pudiera haber afectado el ambiente. Frenguelli (15) esquematiza la tectónica profunda por medio de sistemas de fractura con dislocación de bloques que en el área, determinaría una zona subnegativa en correspondencia con la **pampa baja** y otra francamente negativa en la **pampa deprimida**, postulando una reactivación en tiempos cuaternarios que definiría la actual fisiografía. En el Mapa N° 3 se reproduce la paleomorfología del techo y piso de las **Arenas Puelches** y de ella emerge que prácticamente no habría tectónica que afectase a los sedimentos cuaternarios, incluyendo en ellos a las arenas. Sin embargo se advierten en la base zonas negativas de formas definidas situadas entre las cuencas del río Reconquista y del arroyo del Gato, que podrían coincidir con elementos estructurales más profundos, pudiendo llegar los efectos tectónicos hasta fines del terciario quizás como últimos episodios del Tercer Ciclo Andico (4).

Passoti (21), al analizar la red de drenaje, cree encontrar evidencias de eventos tectónicos en su trazado. En efecto, los ríos que tributan al Paraná de rumbo sudoestenoeste como todos los del sistema, tuercen bruscamente su rumbo (arroyo del Medio, Arrecifes y Areco) para disponerse en su tramo superior en forma subparalela al río Salado. Estos dos arrumbamientos típicos evidenciarían dos sistemas de fracturas antiguas, donde subsecuentemente divagan actualmente los ríos.

Braccini (4) reproduce líneas estructurales basa-

## PERFIL JUNIN - SAN NICOLAS (RUMBO N° 30)

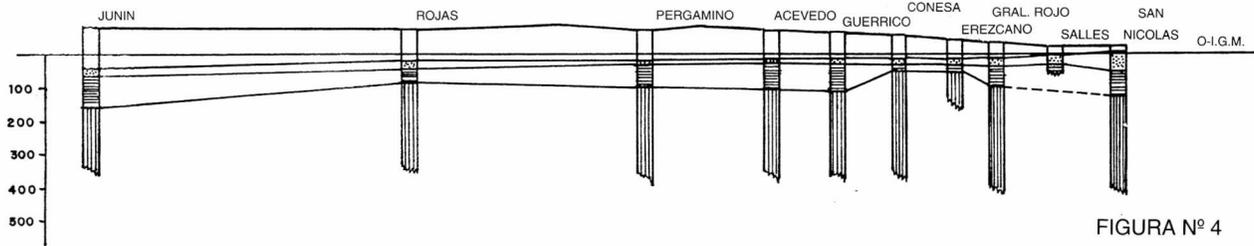


FIGURA N° 4

## PERFIL Ea. LA JUANITA - PALERMO (RUMBO N 45°)

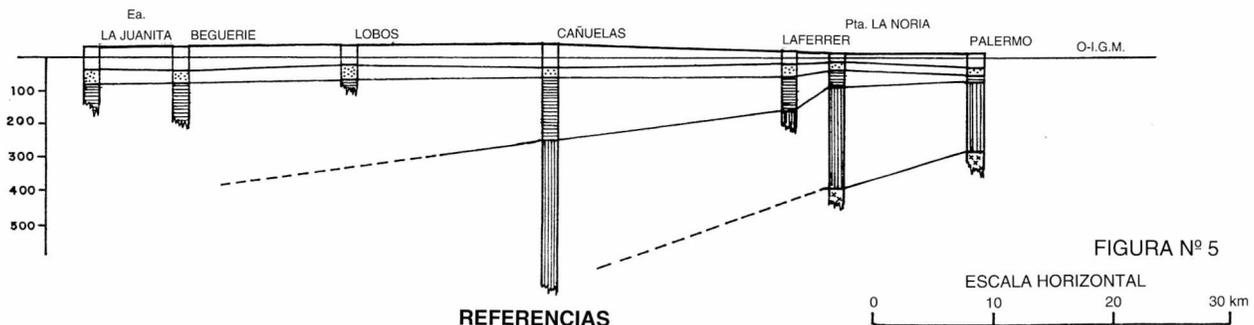


FIGURA N° 5

ESCALA HORIZONTAL  
0 10 20 30 km

### REFERENCIAS

	EPIPARANENSE (Pampiano)		PARANENSE (Verde)		BASAMENTO
	EPIPARANENSE (Arenas Puelches)		HIOPARANENSE (Rojo)		

das en relevamientos geofísicos continentales de la cuenca del Salado y submarinos de plataforma. Ellas marcan una tectónica de fallas afectando el basamento, persistiendo algunas líneas estructurales por lo menos hasta el mioceno, coincidiendo con la ausencia en este último caso de sedimentos eoterciarios o mesozoicos. Los sedimentos mio-pliocenos y cuaternarios, en cambio, se dispondrían como elementos típicos de relleno en la amplia cuenca del Salado y resto del área.

Con la finalidad de esquematizar la estructura resultante puede trazarse el siguiente cuadro, para cuya ilustración se recurre a dos perfiles de rumbo aproximado sudoeste-noreste (Figuras N° 4 y 5).

\* El basamento se encontraría dislocado, inclinando los bloques en dirección a la cuenca del Salado. Puede notarse en la Figura N° 5 un ejemplo de lo dicho, en las proximidades de Puente Alsina.

\* Los sedimentos que componen las secciones **paraniana** e **hipoparaniana** parecen ser resultado de relleno continental y marino, sobre un paisaje consecuencia de una tectónica de fallas, algunas de las cuales pueden haberlos afectado.

\* Desde comienzos del Cuaternario no habrían acaecido eventos tectónicos.

En el Mapa N° 3 puede observarse un hundimiento regional del techo del **Paraniano** hacia el Paraná y Salado, acompañado en forma más suave por el techo de las **Arenas Puelches**. Tal divergencia produciría el aumento de espesor de estas, ya señalado en el punto anterior.

\* Dentro del esquema geohidrológico que se detallará más adelante, cabe diferenciar un comportamiento disímil entre las unidades hidrogeológicas, causado por la estructura que los controla. El **Hipoparaniano** podría representar límites geológicos conformados por la posición de los bloques impermeables del **basamento hidrogeológico**. Las posibles fallas actuarían aislando ambientes menores, comportándose como barreras. El **Epiparaniano** no disturbado por acontecimientos diastróficos, por lo menos en forma directa, sólo incluiría límites hidrológicos coincidentes a grandes rasgos con elementos morfológicos actuales. Solamente su porción inferior (**Arenas Puelches**) actuaría como transicional y mientras sus límites coinciden verticalmente con la parte superior de la sección, su posición en el espacio y potencia están controlados por la superficie de erosión sobre la cual se asienta.

## 4.2. Hidrogeología de superficie

La actual llanura de construcción que se ofrece a la observación directa, contiene a los sedimentos que rematan la columna geológica. Pertenecientes a los términos más altos del **Epiparaniano** fueron ampliamente descritos por Frenguelli (15) (16). Este autor distingue a un grupo **Pampiano** y otro más moderno **Pospampiano**. El primero se diferenciaría en un piso **Ensenadense** y otro superior **Bonaerense**. El segundo incluye al **Lujanense** y **Platense** continentales y al **Querandinense** marino. Desde el punto de vista hidrogeológico y con referencia al **Pampiano**, no existen elementos de juicio válidos como para realizar distinciones entre ambos pisos. Este razonamiento es compartido por Fidalgo et al (13) (14) que desde el enfoque geológico y geomorfológico lo describen como **Formación Pampiano**. Se trata de limos tradicionalmente caracterizados como loess (15) (23), aunque tal atribución no sea genéticamente correcta (35). Poseen términos algo arenosos que contienen unidades acuíferas productivas y otros relativamente menos permeables. Poseen abundante vidrio volcánico y son más calcáreos en las porciones inferiores.

Afloran en coincidencia con las unidades morfológicas **llanura alta** y **llanura intermedia**. Su espesor varía desde los 20 metros a algo más de 80 metros.

El **Pospampiano** está restringido a las cotas más bajas. Yace en superficie en parte de la **llanura baja**, especialmente representativo en el litoral del río de la Plata y Bahía de Samborombón y en las planicies aluviales de los cauces fluviales. Su constitución litológica es bastante variada (arenas, limos arenosos, limos arcillosos, arcillas) pero la predominancia de la fracción pelítica y la coincidencia de su yacencia con ambientes fisiográficos de drenaje dificultado a casi nulo, le confieren una especial incidencia en el ciclo hidrodinámico y la calidad química del agua (17) (18).

Elementos particulares dentro de este esquema regional atinente al **Pospampiano** lo constituyen los **cordones litorales** que bordean la Bahía de Samborombón, de naturaleza conchilífera, medanosa y coquinoide por un lado, y los sedimentos eólicos arenosos de la **Formación Junín**, por el otro. Los primeros obran a modo de zonas de recarga a causa de su mayor permeabilidad. Se destacan aquéllos cuyas acumulaciones forman elevaciones, adecuadamente dispuestas para ofrecer una barrera al drenaje subterráneo, en un ambiente acuitado regional (17). Los segundos, presentan un comportamiento diferencial respecto a depósitos también de baja permeabilidad; se sitúan en forma lineal hacia el norte de la localidad tipo (9), pudiendo situárselos temporalmente entre el **Lujanense** y **Platense**, sensu Frenguelli (15).

## 5. AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas superficiales de la región están constituidas por cursos fluviales y cuerpos de agua estancos.

Los cursos fluviales pertenecen, según Frenguelli (16) a dos sistemas: **tributarios de los ríos Paraná y de la Plata, y sistema del río Salado y sus afluentes**. Se trata de una red de avenamiento empobrecida respecto al drenaje que en épocas anteriores surcaba la región. En estos momentos estaría en la fase inicial de un proceso de rejuvenecimiento.

Los cursos tributarios de los ríos Paraná y de la Plata discurren en forma aproximadamente subparalela, excepto los tramos superiores de los ríos más occidentales. Pueden subdividirse en dos subsistemas con características propias: el de los **tributarios del Paraná**, desde el arroyo del Medio al río Luján, y el de **los del río de la Plata**, desde el Matanza al San Felipe. El río Reconquista constituiría una transición, participando de las características de ambos subsistemas.

Los cursos del subsistema del río de la Plata son sensiblemente más cortos y de cuencas más restringidas, las divisorias de aguas son mucho menos marcadas que en el del Paraná y generalmente sus tramos inferiores se desdibujan en amplias planicies anegadizas. Mantienen en casi todo su recorrido una dirección sudoeste-noreste.

El diseño de drenaje para ambos subsistemas es de tipo rectangular, con tendencia local a dendrítico en los arroyos del subsistema del Paraná.

Los parámetros geomórficos analizados para las cuencas fluviales de este sistema (12) (26), no muestran diferencias muy notables, quizás a causa de la escala de reconocimiento empleada.

**El sistema del Salado y sus afluentes** comprende al río mencionado con sus tributarios de la margen norte y al río Samborombón. Ambos se desarrollan en una amplia depresión ya analizada al tratar la morfología, con pendientes muy bajas y un drenaje poco denso. Los interfluvios principales y secundarios son poco marcados y los colectores principales de ambos ríos desembocan muy cerca, no pudiendo capturarse debido a la escasa competencia que poseen en la actualidad.

El disímil régimen de este sistema respecto al anterior descrito, puede ejemplificarse comparando algunos parámetros físicos de la cuenca del río Arrecifes con la del Samborombón. La pendiente media de las cuencas es, respectivamente, de 1,85 m/km y 0,57 m/km; la pendiente del álveo principal es de 0,37 m/km y 0,13 m/km; la frecuencia de cauces de 0,021 cauces/km<sup>2</sup> y 0,006 cauces/km<sup>2</sup>; la densidad de drenaje de 0,150 m/km<sup>2</sup> y 0,085 m/km<sup>2</sup> y la extensión del flujo superficial de 6,9 km y 13,5 km.

Puede observarse entonces cuantitativamente, que el sistema del Salado es de mucha menor pendiente, de drenaje más lento y con derrame superficial mayor.

No existen estaciones de aforo que permitan una buena cuantificación del escurrimiento fluvial. Solamente hay registros del río Matanza, del Arrecifes y del Salado, pero únicamente el primero presenta alguna continuidad de mediciones. En base a los resultados obtenidos para el Matanza, y extrapolando cualitativamente las condiciones a toda la región, con el auxilio de los parámetros geomórficos, podría estimarse el volumen escurrido fluvialmente en unos 6,5 km<sup>3</sup>/año.

Los **cuerpos lacustres** de la zona Noreste corresponden a dos sistemas de cuencas que Frenguelli (16) denominara **Grupo Marginal** y **Grupo Septentrional**.

Las lagunas del **grupo marginal** serían según el autor, producto del embalsamiento de drenaje por la presencia, en la ribera de la Bahía de Samborombón, de alineaciones de cordones conchiles que actuarían como barrera de contención. Son lagunas playas, prácticamente esteros, en muchos casos alimentadas por escurrimiento superficial y principalmente por aguas subterráneas.

Las lagunas del **grupo septentrional** se disponen a continuación de las anteriores en el ámbito de la **pampa deprimida** y configurarían un relicto de un drenaje más desarrollado, formándose a expensas de viejos "meandros", recodos y cañadas de tributarios del río Salado. Generalmente no se interconectan, haciéndolo únicamente en épocas de grandes lluvias. Algunas sin embargo poseen un drenaje permanente pero de escasa magnitud. También en este caso, las aguas subterráneas desempeñan un importante papel en la alimentación de los espejos de agua.

Tanto los cursos superficiales como los cuerpos estancos, presentan un alto grado de contaminación química y bacteriológica. Los tributarios del río de la Plata son los que lo poseen en magnitud mayor e incluso visible por la espuma y coloración que suelen presentar los ríos y arroyos, además de haber desaparecido totalmente la fauna ictícola.

## 6. AGUA SUBTERRANEA

### 6.1. Características generales

En base a la descripción hidrológica realizada en el Capítulo 3, puede concluirse en la existencia de un **único acuífero multiunitario** (12), (23), (24) y (27), en el que la interrelación vertical de las distintas unidades está en función de la menor o mayor permeabilidad de los sedimentos interpuestos, y de las variaciones de la carga hidráulica en cada caso.

Dentro de esta sucesión de niveles productivos separados por capas de características acuitardas, se han distinguido tres unidades con ciertas características propias (12). Se había tomado como referencia para la nominación, en un anterior ordenamiento, a la capa acuífera correspondiente a las **Arenas Puelches**, denominándose **epipuelche** al conjunto de niveles productivos situados por encima incluyendo la capa freática, e **hipopuelche** a los situados debajo. De esta forma, el denominado **subacuífero epipuelche** y el **puelche** se corresponden con la sección hidrogeológica **Epiparaniano**. El subacuífero **hipopuelche** incluye los terrenos denominados **Paraniano** e **Hipoparaniano**.

El desarrollo de este capítulo se realiza tomando en cuenta cada uno de los subacuíferos comenzando por el superficial, en razón de su contacto más directo con las restantes etapas del ciclo hidrológico.

### 6.2. Características físicas

#### 6.2.1. Subacuífero Epipuelche

Incluye a la capa freática y a uno o más miembros productivos infrapuestos (hasta cinco en Pergamino). Esto es consecuencia de que, aunque regionalmente homogéneo, adopta un carácter heterogéneo anisotrópico local. Las capas de sedimentos menos permeables no tienen una continuidad areal, aunque a veces adquieren gran desarrollo. Las diferencias consecuentes en el tamaño, forma y empaquetamiento del material poroso, producen distinto grado de fricción, adquiriendo entonces los miembros productivos diferentes niveles piezométricos por aumento

o disminución de la carga hidroestática (12) puesto que las perforaciones que los alumbran pueden interesar distintas superficies equipotenciales en cada caso, por lo que el nivel estático no siempre coincide con el freático (12).

De todos modos, como las diferencias no son muy acentuadas, se considera que la red de flujo trazada para la capa freática es representativa de toda la unidad (Mapa N° 7).

Concorde con las características hidrogeológicas atribuidas al **Epiparaniano**, puede afirmarse que no existen límites hidráulicos de carácter geológico. Los que se advierten son de tipo hidrológico y por lo tanto dinámicos. Se observa una coincidencia general entre estas divisorias subterráneas y las superficiales. Las curvas isofreáticas tienen también una correspondencia de actitud con las topográficas. La forma resultante de la capa es netamente radial con líneas de flujo convergentes y divergentes.

El gradiente hídrico disminuye regionalmente hacia el sudeste variando en esa dirección desde 3,5 m/km en el extremo noroeste a menos 0,1 m/km en la porción terminal de la Cuenca del Salado. Los perfiles de depresión son en consecuencia cóncavo-convexos en el sector citado en primer término y francamente convexos hacia abajo, en el segundo. Puede visualizarse que las variaciones en el espaciamiento de las curvas isofreáticas están condicionadas al régimen no-permanente a que está sometida la unidad (12), resultando una consecuencia de la relación recarga-descarga. También influyen las diferencias de permeabilidad que ocurren dentro del marco regional de homogeneidad.

La recarga del subacuífero es de tipo local autóctono, producto de la infiltración directa de aguas meteóricas, hecho certificado por los resultados del Balance Hidrológico entre otros datos. Sin embargo, concurre con mayor intensidad en los interfluvios coincidentes con la unidad morfológica **llanura alta**. En amplios sectores de la **llanura baja** en cambio, es de mínima a nula predominando en ese caso la descarga vertical. La **llanura intermedia** coincidiría con zonas de conducción hidráulica a rasgos generales. Los cuerpos costeros (coquinas, conchiles y medanosos) también configuran zonas de recarga preferencial local (16), al igual que los médanos del oeste, como microambientes en ambos casos.

COLUMNA HIDROGEOLÓGICA								FIGURA Nº 6
EDAD	GEOLOGIA	HIDRO-ESTRATI-GRAFÍA	COLUMNA TIPO	LITOLOGÍA	HIDRO-GEOLOGIA	NIVEL PIEZOM. (m)	CAUDAL (m³/h)	CALIDAD QUIMICA
CUATERNARIO	Reciente	EPIPARANIANO		ARENAS EÓLICAS O FLUVIALES-LIMOS	Zona aereación	—	—	—
	Pospampiano			ARENAS FLUVIALES Y EÓLICAS, LIMOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS. ARCILLAS, BANCOS Y CORDONES CONCHILES CONGLOMERADOS CALCÁREOS.	Acuíferos Acuitardos Acuícludos (Intercal)	+ 60 a +1 m.s./0 l.G.M.	1 a 80	Predominante Inaptas
	Pampiano			"LOESS" (LIMOS, LIMOS ARCILLOSOS, LIMOS ARENOSOS).	Acuíferos Acuitardos			Predominante Aptas
	Arenas Puelches			ARENAS SILÍCEAS, A VECES LIMOSAS, GENERALMENTE MICÁCEAS, A VECES CON GRAVA BASAL.	Acuíferos	+ 80 a -35 m.s./0 l.G.M.	20 a 180	Predominante Aptas
TERCIARIO	"Verde"	PARANIANO		ARCILLAS, LIMOS, LIMOS ARENOSOS, LIMOS ARCILLOSOS. ARENA A VECES CON GRAVAS. FÓSILES MARINOS INTERCALACIONES CALCÁREAS.	Acuíferos Acuitardos Acuícludos	+ 80 a +5 m.s./0 l.G.M.	50 a 200	Predominante Inaptas
	"Rojo"	HIOPARANIANO		ARCILLAS, LIMOS ARCILLOSOS, LIMOS ARENOSOS, ARENAS. INTERCALACIONES CALCÁREAS Y CONGLOMÉRADICAS. GENERALMENTE ABUNDANCIA DE YESO.	Acuíferos Acuitardos Acuícludos	+ 80 a +10 m.s./0 l.G.M.	10 a 100	Predominante Aptas
TERCIARIO INF.-A PRETERCIARIO	Sin clasificar			SEDIMENTOS VARIOS ?	?	?	?	?
PRECAMBRICO A MESOZOICO	Basamento	BASAMENTO IMPERMEABLE		GRANITOS, GNEISSES GRANITICOS; MIGMATITAS, BASALTOS.	Acuífugo	—	—	—

La descarga natural se materializa a través de los cursos de agua superficial, de neto carácter efluente, siendo los principales destinatarios de tal aporte los ríos Paraná, de la Plata, Salado y la Bahía de Samborombón, lugares hacia donde se descarga directamente o a través del caudal básico de los tributarios. Otra importante zona de descarga es la llanura baja, donde predomina el factor evapotranspiración y el fenómeno adquiere sentido vertical ascendente.

La descarga artificial por explotación no afecta mayormente al subacuífero, estando su magnitud asimilada por las reservas reguladoras. Sin embargo, efectos introducidos por la excesiva explotación localizada del **subacuífero puelche** infrayacente, han producido deplesión total de la unidad en zonas marcadas en el Mapa N° 7 a causa de filtración vertical descendente a través de los sedimentos acuitardos que los separan (25).

No se han realizado determinaciones de campo de los parámetros geohidrológicos, salvo ensayos de permeabilidad superficial en la cuenca del Matanza. En base a las características litológicas de los sedimentos, puede atribuirse al conjunto de la unidad una porosidad efectiva promedio de 0,10, resultando los niveles productivos con valores de hasta 0,25 y 0,30 (12) (17). La permeabilidad podría oscilar entre extremos ponderados de 0,1 y 5 m/día. La transmisividad, teniendo en cuenta estimaciones de espesor y permeabilidad, estaría en el orden de menos de 100 m<sup>3</sup>/día.m a 300 m<sup>3</sup>/día.m. Regionalmente, este parámetro aumentaría hacia la cuenca del Salado, coincidiendo con el mayor espesamiento de la parte superior de la sección epiparaniana y la actitud de las curvas isofreáticas.

Las velocidades efectivas de escurrimiento son relativamente bajas, pudiendo estimarse un rango de variación que iría de 3.10<sup>-4</sup> m/día a 5.10<sup>-2</sup> m/día.

En lo que respecta a las variaciones del nivel en función del tiempo, las 247 estaciones de registro que se operan en la subzona en etapa de control y mejoramiento de datos, han proporcionado información que permite observar cambios seculares, con períodos deplecivos y otros de recuperación. Estos cambios se producen en coincidencia con épocas climáticas. Dentro de cada intervalo se producen a la vez oscilaciones estacionales de menor rango. La amplitud máxima registrada es de casi 10

metros notándose que las mayores amplitudes de registro acaecen en las zonas de recarga y conducción, y las menores en la proximidad de las áreas de descarga, especialmente en las coincidentes con la llanura baja.

Habría podido apreciarse a través del desarrollo de este subcapítulo, la estrecha vinculación que existe entre la dinámica del flujo subterráneo, la geología del medio y los ambientes morfológicos. Esta interrelación se manifiesta también en el aspecto hidroquímico como se verá más adelante.

### 6.2.2. Subacuífero Puelche

Arealmente representado en todo el ámbito Noreste, conforma una unidad distintiva por sus propiedades hidrogeológicas e hidráulicas. Se corresponde con las **Arenas Puelches**, parte inferior de la **sección Epiparaniana**.

Desde el punto de vista físico, se comporta regionalmente como homogéneo y relativamente isótropo horizontalmente. Las alternativas locales son menos marcadas que en el caso del **epipuelche**. Ofrece en cambio, cierta anisotropía vertical, dada por el carácter gradado y a veces cíclico de la estratificación.

No son reconocibles límites geológicos que lo afecten.

Los reconocibles son de tipo hidrológico, coincidentes en general con los trazados para el **epipuelche**. La morfología de la capa también coincide a grandes rasgos, pero dentro del tipo radial existe una mayor tendencia a plana, más evidente hacia las zonas de recarga. Una excepción la constituye el área disturbada por la explotación, donde incluso adquiere un carácter cilíndrico con potenciales menores hacia el centro.

La recarga es de tipo areal autóctono indirecto, produciéndose por infiltración de aguas meteóricas que luego de percolar a través del epipuelche, acceden a esta unidad luego de filtrar los niveles acuitardos que le sirven de techo (25). Preferencialmente se localiza en los interfluvios superficiales principales en las áreas no disturbadas por la explotación. Puede descartarse la afluencia subterránea hacia la comarca, merced al límite negativo impuesto por los ríos Paraná, de la Plata (fuera del área de explotación

intensa) y Salado, y la barrera positiva que significa la divisoria noroccidental de la cuenca del arroyo del Medio.

La descarga natural ocurre hacia los ríos mencionados en sentido regional, actuando los principales cursos de agua como efluentes indirectos respecto a la capa. De todos modos, a través de su caudal básico, descargan el subacuífero con el mismo destino.

Una extensa zona del litoral del río de la Plata, entre la divisoria noroeste de la cuenca del Reconquista hasta la sudoeste del arroyo del Pescado, está sometida a distorsiones introducidas por la intensa explotación. La consecuencia directa es la formación de grandes conos regionales de continuo desarrollo. Su magnitud es muy notable, localizándose los principales en la zona de La Plata, Quilmes, Berazategui, Munro, Villa Ballester, Remedios de Escalada y Hurlingham. El ápice de los conos es migrante generalmente hacia el continente, hacia donde se orienta la expansión de la explotación por razones sanitarias. El fenómeno depresivo trajo dos secuelas de gran importancia: una de ellas es la inversión del sentido del flujo ya enunciada, produciendo una reversión que ha convertido al río de la Plata y tributarios en zonas influentes y la otra la avenida de masas de agua salada hacia la zona de captación, hecho que será analizado en el capítulo correspondiente.

La dinámica de flujo es mostrada en el Mapa N° 8. Se observa una mayor regularidad en el gradiente hidráulico, únicamente rota en la proximidad de los conos, donde en escala de mayor detalle se manifiestan perfiles de depresión fuertemente cóncavos, con gradientes modificados de hasta 0,01. Las variaciones locales, en la zona donde no conservan las características naturales, son ocasionadas también por el régimen no permanente. La mayor particularidad es la gran pérdida de gradiente hacia la sección inferior de la pampa deprimida, donde influyen tanto la descarga como la pérdida de carga de las unidades supra-yacentes (12).

No puede cuantificarse la descarga por explotación con cierta fehaciencia, salvo en el área de La Plata, donde precisamente se opera un modelo matemático con modalidad analítica y capacidad de proyección, contando como insumo de primer orden a esta variable. El desarrollo analítico de la propuesta de modelo permite seguir la

evolución del cono y su repercusión en la evolución de la ruptura de equilibrio, en la búsqueda de un nuevo estadio de permanencia dinámica.

Análisis regionales de la transmisividad (3) permiten apreciar una tendencia al aumento de los valores hacia la cuenca del Salado y ríos Paraná y de la Plata, atribuidos principalmente al crecimiento de la potencia geológica en tales direcciones (Mapa N° 2), y a la posible génesis de los depósitos samíticos en términos granométricos. Se han realizado numerosos ensayos para la determinación de este parámetro que, si bien tienen carácter puntual, permiten establecer una gama cuantitativa de valores atribuibles a la unidad. Se ha otorgado mayor validez a las pruebas calculadas por los métodos de Hantush, Jacob y Theis. Los resultados están en el orden de los 180 a 1500 m<sup>3</sup>/día.m, estando los más frecuentes entre 500 y 700 m<sup>3</sup>/día.m.

Los coeficientes de almacenamiento demuestran un carácter netamente semiconfinado, con valores del orden de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup>. En la zona de conos se registran valores mayores (10<sup>-2</sup>) que demuestran la pérdida de semiconfinamiento por abatimiento de los niveles y depleción del subacuífero superior.

La permeabilidad está en el orden de 20-60 m/día.

La velocidad efectiva, en la zona no sometida a sobreexplotación, está en un rango que va de los 5.10<sup>-1</sup> a 8.10<sup>-3</sup>, demostrando más regularidad que el epipelche. En el área de conos se produce una aceleración forzosa que aumenta hacia los ápices y alcanza valores de hasta 5 m/día.

Estaciones piezométricas instaladas en la zona permiten seguir con cierta aproximación las variaciones que acaecen en el subacuífero. Se han apreciado eventualmente oscilaciones debidas a efectos de carga y atmosféricos, propios de condiciones de confinamiento, incluso mediante la instalación temporaria de estaciones piezobarométricas. Además ocurren variaciones estacionales coincidentes con las de la capa freática, aunque en menor amplitud y en ciertas zonas restringidas, condicionadas a las épocas de riego complementario en estiaje. En las zonas de explotación se ha podido constatar el descenso regional que alcanza valores de hasta 1 m/año.

### 6.2.3. Subacuífero Hipopuelche

Es el menos conocido del sistema acuífero a causa de la profundidad y el carácter salino de sus aguas. Está integrado por varios niveles productivos alojados en sedimentos samíticos del **Paraniano** e **Hipoparaniano**, siendo alumbrados preferentemente en la actualidad los del primero. A pesar de estar integrado a un acuífero multiunitario, probablemente sea la unidad más independiente a causa del espesor de las arcillas interpuestas e incluso sucedería lo propio dentro de los diferentes niveles.

Esta suposición se basa en las diferencias hidroquímicas y los distintos niveles piezométricos, en su mayor parte históricos.

El nivel productivo que se explota es el ubicado inmediatamente por debajo de las arcillas azules y verdes que sirven de base al **puelche** en sedimentos arenosos incorporados al **Paraniano**. Dentro de un proyecto especial encarado en la Zona Noreste en colaboración con la Sección Perforaciones, se ha reconocido esta unidad en un área de aproximadamente 240 km<sup>2</sup> a escala de detalle. Este estudio, denominado "Proyecto Ingeniero Budge" se localizó en un área ubicada al sud-sudeste de la Capital Federal, en una zona donde se lo utiliza para uso industrial por ser de mejor calidad que el **puelche**. Se ha advertido que posee localmente gradientes de hasta 1 m/km y una influencia del bombeo regional que ya ha llegado a delinear un cono de depresión amplio y no muy profundo, con hipocentro ubicado en las proximidades de la localidad de Valentín Alsina. El sentido de escurrimiento en las porciones marginales menos afectadas por el bombeo, pareciera ser coincidente con el del **puelche** en las mismas condiciones.

Un ensayo de bombeo realizado más al este del área de proyecto, en la zona de Avellaneda permitió detectar una transmisividad de 500 m<sup>3</sup>/día.m con un coeficiente de almacenamiento de 1.10<sup>-4</sup>.

### 6.3. Hidroquímica

Para el análisis de las características hidroquímicas se ha utilizado la información disponible de la subzona en etapa de control y mejoramiento de datos, antecedentes

del archivo de la zona, datos aportados por las comisiones de campo que operan en la zona y, en algunos casos, un muestreo expeditivo en lugares considerados representativos.

Se ha prestado atención a los valores de salinidad y de los aniones frecuentes en el agua subterránea (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y Cl<sup>-</sup>), atendiendo a la finalidad del informe y los límites de tolerancia establecidos por la Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia.

Se han confeccionado mapas de **salinidad, cloruros y sulfatos** para la **capa freática y subacuífero puelche**, realizándose la representación en forma zonal.

Las diferencias de salinidad son más notorias en la capa freática (Mapa N° 9), probablemente por estar más expuesta a los factores hidrometeorológicos y verse fuertemente influenciada por la morfología y constitución litológica. Son frecuentes valores que van hasta 1.000 ppm y de 1.000 a 2.000 ppm (límite de tolerancia), siendo subordinadas las áreas con valores que superan dicho límite. Estas últimas se localizan en general en la **llanura baja** (terrazza baja, tercio inferior de la pampa deprimida y planicies aluviales del Salado y cursos tributarios del río de la Plata) alcanzando valores de hasta más de 24.000 ppm. Tanto para el mapa de salinidad de la capa como para los restantes índices hidroquímicos, se utilizó el criterio de representar los valores que predominan regionalmente dada la escala utilizada. Así se tiene por ejemplo, islotes de agua de baja salinidad en áreas mapeadas como mayores de 2.000 ppm que no pueden ser representados. Lo mismo ocurre donde áreas de tenores menores de 1.000 ppm están en contacto directo con otras mayores de 2.000 ppm. La transición de valores ocupa una franja tan reducida que muchas veces no puede ser mapeada.

Llama la atención la coincidencia de la ocurrencia de aguas más salinas con zonas morfológicamente bajas, mal drenadas y con influencia directa de la evapotranspiración y evaporación, que produce la acumulación de sales en superficie (12). Este factor, unido a la presencia en esas zonas de sedimentos acuitados, que ocasionan una sensible reducción de la velocidad del flujo (mayor tiempo de contacto agua-sedimento) y el tamaño homogéneo de las pelitas (mayor superficie de contacto), son en su conjunto las razones principales de tal fenómeno.

La actitud de los cloruros y sulfatos (Mapas 10 y 11) es bastante parecida a la de la salinidad, pudiendo extrapolarse a éstos el razonamiento de génesis expuesto. Las áreas de tenores mayores son algo más restringidas que en el caso anterior, estando la aptitud para uso humano condicionada en primer grado por la salinidad. Se observa en general una tendencia a la evolución normal de la salinidad en sentido de flujo, muy acelerada hacia las zonas de la llanura baja, donde se da el caso de alto contenido de sulfatos en aguas muy salinas y otras veces un aumento muy brusco del contenido de cloruros, sin pasar por un estadio sulfatado intermedio (17).

En la cuenca baja del Salado existen en superficie rosetas de yeso, a veces de tamaño considerable, en sedimentos pelíticos de aspecto palustre (14) pudiendo aventurarse que coincidiría con la zona de brusco pasaje a aguas cloruradas.

Los valores extremos de cloruros y sulfatos están en el orden de los 12.000 ppm (150 meq/litro) y 2.500 ppm (35 meq/litro).

En lo que se refiere a la alcalinidad, existe un neto predominio de bicarbonatos encontrándose carbonatos en menor proporción, generalmente en coincidencia con zonas de recarga principales.

El **subacuífero puelche** presenta mayor homogeneidad química a causa de su constitución litológica y al atenuamiento de los fenómenos de salinidad, que en este caso reconocen la misma génesis que para la capa freática. Puede notarse la coincidencia general de las zonas de mayor salinidad (Mapa N° 12) respecto al epipuelche, lo cual se explica por la mecánica de recarga expuesta en el Capítulo 5.2.2. Otro tanto ocurre con los cloruros y sulfatos (Mapas 13 y 14). Las zonas de alta salinidad ofrecen en cambio valores más extremos que en la capa freática. Llegaron a determinarse salinidades de hasta 45.000 ppm con 21.200 ppm de cloruros y 7.600 ppm de sulfatos. Hay una expansión de estas áreas en la zona de gran explotación en forma de frente salino que ingresa favorecido por la progresiva profundización de los conos (12). Estudios de detalle (27) permitieron seguir la evolución del avance de la interfase para el área de La Plata. En el sector occidental y sudoccidental la calidad química desmejora hacia el río Salado, explotándose por tal razón preferentemente el **epipuelche**.

Las alcalinidades son muy bajas, con ausencia de carbonatos solubles.

El **subacuífero hipopuelche** es poco conocido químicamente. Puede establecerse sin embargo que sus aguas son salinas en todos los casos registrados. En la zona del Gran Buenos Aires pudo estudiarse con mayor detalle el miembro productivo superior de esta unidad a raíz del mencionado Proyecto Ingeniero Budge. Las isoconas trazadas para la capa a escala 1:25.000 muestran valores por encima de la norma de tolerancia pero no muy elevados (2.500 a 3.700 ppm) aumentando en el sentido de flujo (20). En dicha área se registran los mayores valores de salinidad, cloruros y sulfatos del puelche.

Analizados los aspectos hidroquímicos en forma areal para cada unidad geohidrológica, puede intentarse establecer los tipos generales de zonación de acuerdo al siguiente esquema:

a) **Zonación Vertical:** Predomina cuantitativamente y se la registra preferentemente en coincidencia con las zonas morfológicas de llanura alta y buena parte de la **llanura intermedia**. La secuencia es normal con pasaje de aguas bicarbonatadas en la capa libre a bicarbonatadas algo sulfatadas en el puelche y sulfatadas y cloruradas en el hipopuelche, donde pudo reconocérselo. En la **llanura alta** la secuencia puede ocasionalmente comenzar con aguas bicarbonatadas carbonatadas o carbonatadas bicarbonatadas.

b) **Zonación Morfológica:** Ejemplificada en sectores de la **Pampa deprimida**, donde con una geología homogénea se da el pasaje de aguas bicarbonatadas a bicarbonatadas sulfatadas dentro del **epipuelche -puelche** y en la parte más alta, y de sulfatadas bicarbonatadas a bicarbonatadas sulfatadas en la parte más baja, obedeciendo a una suave flexura que demarca el amplio valle del Salado.

c) **Zonación Subsecuente:** Acaece con la ingresión de un frente salino. Ocurre en la zona de sobreexplotación, donde el frente salino rompe una zonación vertical al mantenerse invariable la calidad química del hipopuelche e ingresar aguas más cloruradas en el subacuífero suprayacente.

## 6.4. Modelo conceptual

Resumiendo a través de un esquema sencillo las características expuestas hasta el momento en lo que respecta a las aguas subterráneas, se plantea un modelo conceptual del fenómeno para la zona.

Dentro de un ambiente hidrogeológico con variaciones verticales en el grado de permeabilidad, se disponen tres unidades geohidrológicas cuya interconexión se produce por la semipermeabilidad de los acuitardos interpuestos, existiendo una tendencia al mayor confinamiento en profundidad. La base del sistema constituye un **basamento impermeable**, supuesto como totalmente impermeable. La recarga del sistema es principalmente autóctona local, con sentido areal, percolando las aguas de origen meteórico hacia acuíferos inferiores, salvo en lo que respecta a los miembros productivos más profundos del hipopuelche, donde no puede descartarse afluencia de agua subterránea.

La descarga regional se produce hacia los álveos que demarcan la zona directamente o a través del caudal básico de los ríos y arroyos. No habría en general, salvo la posible excepción planteada, afluencia subterránea, estando los límites hidrológicos del sistema representados por los ríos aludidos (negativos), salvo la zona de conos regionales, y la divisoria noroccidental del arroyo del Medio y una línea imaginaria que la conecta con la Laguna del Chañar (positivo). Existe un estado de equilibrio regional del sistema hidráulico, roto por la explotación intensa en la ribera del Plata, que determina un nuevo estado de equilibrio más dinámico con la consecuente ingresión de aguas salinas. La parte superior del sistema (morfología) influye en la dinámica subterránea, la calidad química de las aguas y la descarga vertical ascendente (evapotranspiración).

### Entradas al sistema:

- aguas meteóricas
- afluencia superficial  
(únicamente en zonas de sobreexplotación)

### Salidas del sistema:

- efluencia subterránea
- efluencia superficial
- descarga vertical (evapotranspiración)

## 6.5. Evaluación de reservas

Una vez planteado el modelo del fenómeno geohidrológico de la zona y conocidas regionalmente las características hidrogeológicas y químicas, puede intentarse arribar a una evaluación muy general de las disponibilidades de agua subterránea en el área.

En razón de la insuficiente información que se posee del **subacuífero hipopuelche**, no se incluye en las estimaciones que se realizaron. Únicamente puede notarse que se trataría de reservas muy importantes, desde el punto de vista cuantitativo, dados los espesores y litología percibidos, pero de aguas de mala calidad química, aptas únicamente en algunos casos para mezclarla para uso humano o para uso industrial o balneológico.

Para estimar las reservas del **subacuífero epipuelche** se optó por considerar las de tipo general, ya que si bien se poseen registros de nivel en una parte del área, no existen en el resto (subzona en etapa de diagnóstico). No es posible entonces delimitar las reservas reguladoras de las geológicas, utilizándose en este caso un espesor saturado promedio, resultado de una ponderación de las potencias útiles en base a los perfiles de perforación. Estas potencias saturadas útiles, se estimaron como porcentaje del espesor total de la unidad, obtenido de superponer el plano topográfico con las curvas paleomorfológicas del piso de la unidad (Mapa N° 3). El área considerada toma en cuenta aquellas zonas donde el subacuífero está agotado. Como valores de porosidad efectiva se tomaron extremos de 0,10 para la capa libre y 0,05 representativo de las condiciones de miembros productivos inferiores.

Se obtuvieron cantidades que varían de acuerdo a la porosidad efectiva utilizada, entre 80 y 160 km<sup>3</sup>.

Considerando las diferentes calidades químicas evidenciadas en los Mapas 9, 10 y 11, se puede estimar que del total antes mencionado 35 a 125 km<sup>3</sup> corresponden a aguas químicamente aptas para uso humano según las normas DOSBA y el resto a volúmenes con salinidad, cloruros o sulfatos superiores a los límites establecidos.

Para el caso del subacuífero puelche se consideró la potencia promedio de la unidad (Mapa N° 2), el total del área de la Zona Noreste y un coeficiente de almacenamien-

to que variaría entre 0,05 y 0,005. De esta forma se obtuvo un volumen total de reservas de agua de 103 a 20,5 km<sup>3</sup>, de acuerdo al almacenamiento utilizado.

Desde el punto de vista dinámico, la pérdida por descarga directa e indirecta, excluida la evapotranspiración, puede estimarse en 540 hm<sup>3</sup> para el epipuelche y 390 hm<sup>3</sup> para el puelche, de acuerdo al diseño de las redes de flujo respectivas y teniendo en cuenta las secciones de descarga, los gradientes y las transmisividades.

## 6.6. Uso del agua

La zona Noreste presenta un panorama a la vez complejo y múltiple en lo que respecta a la utilización de recursos de agua subterránea. Complejo porque hay extensas zonas sometidas a problemas de deterioro, donde precisamente los requerimientos van en vertiginoso aumento, y múltiple porque están representados casi todos los usos habituales en magnitudes importantes.

Para la comprensión de lo aseverado, es necesario trazar un ligero bosquejo de las actividades socioeconómicas que influyen directamente en el ciclo hidrológico.

Puede caracterizarse a la comarca a través de tres grandes áreas con características distintivas: **Area metropolitana**, **Area de expansión** y **Area primaria**.

a) **Area metropolitana**: compuesta por la Capital Federal y el Gran Buenos Aires. Posee una economía secundaria (industrial) y terciaria (comercio y servicios) estando ausente la primaria (agropecuaria).

b) **Area de expansión**: bordea el área anterior en forma de cinturón, prolongándose por la ribera del Paraná hasta San Nicolás. Subsiste una economía primaria pero subordinada, con una tendencia a las explotaciones intensivas.

c) **Area primaria**: neto predominio de actividades primarias, con incipiente participación de la economía secundaria y terciaria localizadas en ciertos polos.

La dinámica de este esquema es acelerada, tendiéndose a un rápido desplazamiento del área metropolitana sobre la de expansión y de ésta a su vez sobre la primaria.

Este movimiento puede percibirse claramente en un perfil que se trazase entre la Capital Federal y el río Salado, pasando por la localidad de Lobos. Años atrás, el perfil tomado en ese sentido marcaba una zona densamente poblada e industrializada que pasaba a otra netamente hortícola. Luego se continuaba con el denominado cinturón lechero o cuenca lechera, con auge de la explotación tampera, para pasar ya sobre el río Salado a la actividad ganadera extensiva de cría e invernada y pastoreo. Progresivamente se fue expandiendo la zona urbanizada y de radicación industrial a expensas de las fracciones destinadas a la agricultura intensiva, llegando hasta aproximadamente Máximo Paz. Esta actividad a su vez fue haciéndose más mediterránea, avanzando sobre la zona lechera con la consecuente subdivisión de las fracciones de propiedad y la incorporación del riego. Los tambos fueron radicándose también hacia el Salado, con técnicas de explotación más modernas, sobre tierras antes destinadas al pastoreo o agricultura, en fracciones menores que aquéllas.

La tendencia del perfil es un aumento progresivo de la población, una disminución de tamaño de las fracciones y una intensificación en el consumo de agua.

Llevando a este esquema el uso actual y potencial de las aguas subterráneas, se tratará de sintetizar su participación.

a) **Area metropolitana**: Los requerimientos son los cuantitativamente más importantes de la zona, satisfaciéndose por intermedio de agua superficial tratada (Capital Federal y La Plata), y aguas subterráneas provenientes del subacuífero puelche. Estas últimas van progresivamente salinizándose y agotándose por sobreexplotación. En los sectores periféricos, carentes de servicios públicos, se utiliza a nivel individual la provisión a expensas del **epipuelche** para uso humano. Para uso industrial se emplea también agua del **hipopuelche** en cantidades subordinadas.

b) **Area de expansión**: Se explota únicamente agua subterránea, en general con predominancia de la extracción del **puelche**, para algunas radicaciones industriales, riego y servicio público a las localidades más importantes y otros usos. El **epipuelche** aporta también importantes volúmenes destinados al uso humano a nivel de dotación individual, y a la explotación lechera (bebida y proceso de conservación y limpieza).

**CUADRO Nº 2: Requerimientos de agua según rubro**

Rubro	Cantidad	Consumos de agua por unidad	Volúmen consumido/año
Población (1973)	9.764.789 habit.	200 l	1.952.957 m <sup>3</sup>
Ganado bovino (1972)	4.091.197 czas.	50 l	204.559 m <sup>3</sup>
Ganado ovino (1972)	629.904 czas.	30 l	18.897 m <sup>3</sup>
Acero (1972)	1.503.900 Ton.	300.000 l	450.000.000 m <sup>3</sup>
Quesos (1971)	6.324.000 l leche	1 l	6.324 m <sup>3</sup>

c) **Area primaria:** Predomina la utilización del **epi-puelche** para los usos ya conocidos y expuestos en b), y para el abrevamiento de ganado de cría e internada. El riego es incipiente para agricultura intensiva. El empleo del **puelche** está restringido a las poblaciones más importantes, para servicio público, industrias locales y en ciertos casos para explotaciones rurales más tecnificadas.

El cuadro Nº 2 proporciona una idea de la magnitud de los requerimientos actuales, teniendo en cuenta el consumo medio estimado para cada rubro, con la salvedad de que, en lo que respecta al uso humano, se incluye la dotación por aguas superficiales.

## 7. CONCLUSIONES

\* Dentro de un panorama morfológico de llanura se distinguen tres unidades que se corresponden con el fenómeno hídrico: **Llanura alta**, con predominancia del factor recarga; **Llanura intermedia**, caracterizada por constituir una zona de conducción, y **Llanura baja**, donde

prevalece la descarga, incluso por evapotranspiración y evaporación.

\* Las características morfológicas están íntimamente vinculadas a las propiedades hidroquímicas.

\* La geología superficial también mantiene concordancias con la morfología, pudiendo establecerse equivalencias.

\* La hidrología del subsuelo permite individualizar tres secciones asentadas en el **basamento impermeable: Hipoparaniano, Paraniano y Epiparaniano**, todas ellas integradas por sedimentos que van desde relativamente impermeables a muy impermeables.

\* Existe en la zona un único acuífero compuesto por capas productivas desde el punto de vista utilitario y otras de características acuitardas. En base a las propiedades hidrodinámicas e hidroquímicas se pueden separar tres unidades consideradas como subacuíferos: en la sección hidrogeológica **Epiparaniana** se ubican los **subacuíferos epi-puelche y puelche**; en las secciones **Paraniana** e

## Hipoparaniana, el subacuífero hipopuelche.

\* Los cursos de agua pertenecen a dos sistemas: **Tributarios de los ríos Paraná-de la Plata y del río Salado y sus afluentes**. Son en su mayor parte perennes y de tipo efluentes respecto a las capas de agua. No se poseen datos de aforo suficientes como para cuantificar su régimen.

\* La tectónica que ha afectado a la zona es precuaternaria (quizás hasta la sección Paraniense), de modo que los acuíferos superiores no se ven enmarcados por límites geológicos como podría ocurrir con los de la sección Hipoparaniana.

\* Los cuerpos de agua estancos se diferencian en dos sistemas: uno **marginal**, con características de endicamiento, y otro **septentrional** relicto de una red de drenaje más desarrollada que en la actualidad. Ambos grupos están definidos por una alimentación predominante de aguas subterráneas.

\* El **subacuífero epipuelche** está integrado por dos o más miembros productivos, el más superficial de ellos representado por la capa freática. Su recarga es autóctona directa y local, con preferencia en coincidencia con los interfluvios. Su descarga se produce hacia los ríos Paraná, de la Plata y Salado, directamente o a través del caudal básico de los ríos tributarios.

\* Las mayores velocidades de flujo ocurren en el sector noroeste y las menores en la porción terminal de la cuenca del río Salado.

\* El subacuífero puelche está representado en toda la zona, excediendo incluso sus límites. Es regionalmente homogéneo e isotrópico, con variaciones locales especialmente verticales. Su recarga es autóctona indirecta a través de su techo filtrante, coincidiendo en general con las zonas establecidas para el epipuelche. Su descarga ocurre en sentido también coincidente con la de aquel subacuífero, adquiriendo especial importancia la artificial, manifestada en amplios conos de depresión regionales. Las velocidades de flujo mayores se registran en coincidencia con estos conos; las menores corresponden a la parte terminal de la Cuenca del Salado.

\* El **subacuífero hipopuelche** es el menos conocido, teniéndose solamente referencias localizadas de su miembro productivo superior.

\* Hidroquímicamente, **las aguas del epipuelche son aptas** para uso humano según las normas DOSBA en un 75%, las áreas de inaptitud son sectores de la llanura baja, coincidentes con zonas de descarga. **Las aguas del puelche son en general de mejor calidad**, estando localizadas las áreas químicamente inaptas con las señaladas para el epipuelche. **El**

**ipopuelche contiene aguas salinas**, variando sus tonos desde levemente salobres a muy salinas según el miembro productivo de que se trate y la posición areal. \* Pueden advertirse **zonaciones de**

**po vertical, geológica, morfológica** y otro tipo, descrito como subsecuente, establecido por la intrusión de aguas salinas que altera la zonación original. \* Pueden estimarse **volúmenes de agua** disponibles para los **subacuífero**

**epipuelche y puelche**, del orden de los 100 a 265 km<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente el 25% son de calidad química que excede las normas de potabilidad mencionadas. \* De este punto de vista

dinámico, puede estimarse una **descarga general** (excluyendo la evapotranspiración) de aproximadamente 93-100 hm<sup>3</sup>/año, para los subacuíferos epipuelche y puelche. \* En base a la caracterización socioeconómica de la región **puede preverse un gran incremento en la demanda de agua**, no solamente por el crecimiento poblacional, sino por la expansión de las áreas industriales y terciarias y los avances tecnológicos.

**mento en la demanda de agua**, no solamente por el crecimiento poblacional, sino por la expansión de las áreas industriales y terciarias y los avances tecnológicos.

\* **Los requerimientos proyectivos pueden ser satisfechos** en gran parte con las reservas estimadas, siempre y cuando se implante **un manejo adecuado y un correcto control**. Las amplias zonas ya sometidas a deterioro son susceptibles de ser corregidas mediante técnicas adecuadas, o por lo menos detenidos los efectos perjudiciales.

\* Existe una **creciente contaminación bacteriológica y química** de las aguas subterráneas, producida por

diversos factores entre los que pueden mencionarse la falta de servicios públicos en amplias zonas densamente pobladas, la deficiente construcción y aislación de las perforaciones y la falta de control sobre el destino de los efluentes industriales portadores de oligoelementos tóxicos, detergentes y en algunos casos microorganismos nocivos.

\* Los **principales problemas** que afectan a los recursos hídricos de la zona pueden sintetizarse en los siguientes:

a) **explotación intensiva** localizada con grave deterioro de los acuíferos, acompañada de invasión de aguas salinas;

b) **expansión de las técnicas de riego** actualmente incipientes, con el consiguiente incremento en la demanda de agua y posibilidades de aparición de los problemas planteados en a);

c) **aguda contaminación biológica y química** de aguas superficiales y subterráneas, en incremento progresivo.

## 8. RECOMENDACIONES

Las principales recomendaciones atinentes a la Zona Noreste están expresadas en el plan de trabajo oportunamente elevado para la programación de las operaciones del DYMAS. Es necesario, sin embargo destacar algunos aspectos sumamente importantes.

\* Debe tenerse en cuenta que toda inversión planificada que se realice para el estudio y manejo del recurso hídrico en el área, será altamente redituable a corto plazo dada la gravedad de los problemas que se suceden. Intentos paliativos sin base de estudio pueden ser en cambio, más perjudiciales y económicamente calificables de mala inversión.

\* Es necesario implementar un control o registro de los volúmenes extraídos, como dato imprescindible para toda programación proyectiva.

\* Es necesario establecer una conexión forzosa con los entes responsables de la explotación, sin lo cual los esfuerzos que se realizan carecerán de apoyatura práctica.

\* Con los elementos dados en los dos últimos puntos, se estará en condiciones de extender la simulación por modelos matemáticos analíticos capaces de establecer pronósticos dinámicos de gran utilidad en la planificación del manejo y control del mismo.

\* Dada la velocidad con que sobrevienen los efectos deteriorantes, deberán agilizarse, o por lo menos ponerse al ritmo previsto en el Programa DYMAS (1973), las tareas de relevamiento, diagnóstico, elaboración y establecimiento de conclusiones.

\* Debe tenerse en cuenta que se está en condiciones técnicas de participar en proyectos de inmediata implementación en la subzona en etapa de control y mejoramiento de datos, como ha quedado demostrado a través de trabajos especiales desarrollados por el reducido equipo de la Zona Noreste.

\* Se considera imprescindible el mantenimiento operativo de las estaciones de registro freaticométrico e hidroquímico, ocasionalmente interrumpido por razones extratécnicas.

\* Debe prestarse atención a la contaminación bacteriológica y química en relación a la dinámica de flujo y expansión de los conos regionales.

\* La futura expansión del riego complementario debe preverse dentro de una propuesta de manejo, antes de que sus efectos se tornen difícilmente reversibles.



## 9. LISTA BIBLIOGRAFICA

1. **ARTAZA, E.** 1939. Saneamiento urbano de la República Argentina. Provisión de agua y desagües urbanos. Primera parte. Provisión de agua. Cuaderno N° 4. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas. La Plata.

2. **ARTAZA, E.** 1940. Saneamiento urbano de la República Argentina. Provisión de agua y desagües urbanos. Primera parte. Provisión de agua. Cuaderno N° 5. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas. La Plata.

3. **AUGE, M.P.; CECI, J.H.; FILI, M.F. y HERNANDEZ, M.A.** 1972. Transmisividades regionales del acuífero puelche en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. Quinto Congreso Nacional del Agua (en prensa). Santiago del Estero.

4. **BRACACCINI, I.O.** 1972. Cuenca del Salado. En Geología Regional Argentina, pag. 407-417. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

5. **BURGOS, J.J. y VIDAL, A.L.** 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Revista Meteoros, año 1, N° 1. Buenos Aires.

6. **CAPPANNINI, D.A. y DOMINGUEZ, O.** Los principales ambientes geoedafológicos de la Provincia de Buenos Aires. IDIA N° 163. Buenos Aires.

7. **CAPPANNINI, D.A. y MAURIÑO, V.E.** 1966. Suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre las ciudades de Buenos Aires al Norte y La Plata al Sur (Provincia de Buenos Aires). INTA. Colección de suelos N° 2. Buenos Aires.

8. **DAUS, F.A.** 1946. Morfología general de las llanuras argentinas. Geografía de la República Argentina III, pag. 115-198. Buenos Aires.

9. **DE SALVO, O.E., CECI, J.H. y DILLON, A.** 1969. Caracteres geológicos de los depósitos eólicos del Pleistoceno Superior de Junín. Provincia de Buenos Aires. Actas de las I Jornadas Geológicas Argentinas, pag 26. Buenos Aires.

10. **DIRECCION DE ESTADISTICA, PBA.** 1973. Evo-

lución de la industria en la Provincia de Buenos Aires, 1967-1972. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Economía. La Plata.

11. **DIRECCION DE ESTADISTICA, PBA.** 1973. Evolución del sector agropecuario en la Provincia de Buenos Aires, 1969-1972. Provincia de Buenos Aires, Ministerio de Economía. La Plata.

12. **EASNE.** 1972. Contribución al estudio geohidrológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. La Plata.

13. **FIDALGO, F.; DE FRANCESCO, F.O. y COLADO, U.R.** 1972. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena, Provincia de Buenos Aires. Anales V Congreso Geológico Argentino. Córdoba.

14. **FIDALGO, F.; DE FRANCESCO, F.O. y COLADO, U.R.** 1972. Geología Superficial en las hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio, Provincia de Buenos Aires. Anales V Congreso Geológico Argentino. Córdoba.

15. **FRENGUELLI, J.** 1950. Rasgos generales de la morfología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, N° 33. La Plata.

16. **FRENGUELLI, J.** 1956. Rasgos generales de la hidrología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, N° 62. La Plata.

17. **GONZALEZ, N.** 1973. Comportamiento hidrogeológico de los cordones conglomerádicos calcáreos y medanosos entre los ríos Samborombón y San Felipe. Comisión de Investigaciones Científicas, Inédito. La Plata.

18. **GONZALEZ, N. y HERNANDEZ, M.A.** 1972. Relación entre la salinidad de las aguas subterráneas y la yacencia de sedimentos pospampianos en la zona litoral estuárica del río de la Plata. V Congreso Nacional del Agua (en prensa). Santiago del Estero.

19. **GROEBER, L.** 1945. Las aguas surgentes y semi-surgentes del Norte de la Provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería, Año XLIX, N° 6, pag. 371-387. Buenos Aires.

20. **HERNANDEZ, M.A.; KERSFELD, A.J. y TEM-**

**PORETTI, R.O.** 1973. Proyecto Ingeniero Budge. DYMAS (Zona Noreste y Sec. Perforaciones). Inédito. La Plata.

21. **PASSOTI, P.** 1958. Vinculaciones de la tectónica con el recorrido de las redes hidrográficas en la llanura argentina y en especial en la bonaerense. Instituto Geográfico, Universidad Nacional de Cuyo, pag. 121-152. Mendoza.

22. **RIGGI, A.E.** 1935. Corte geológico del río Salado (Buenos Aires) y su significado en el diastrofismo pampeano. *Physic*, tomo XI, pag. 399-403. Buenos Aires.

23. **SALA, J.M.** 1969. El agua subterránea en el Nordeste de la Provincia de Buenos Aires, en Reunión sobre la Geología del Agua Subterránea de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata.

24. **SALA, J.M. y AUGÉ, M.P.** 1969. Algunos caracteres geohidrológicos del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Anales IV Jornadas Geológicas Argentinas*, Tomo II. Mendoza.

25. **SALA, J.M. y AUGÉ, M.P.** 1973. Presencia de capas filtrantes en el Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Su determinación. *Anales V Congreso Geológico Argentino*. Córdoba.

26. **SALA, J.M. y CECI, J.H.** 1969. Características físicas de la red de drenaje del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. III Congreso Nacional del Agua. San Juan.

27. **SALA, J.M. y HERNANDEZ, M.A.** 1972. Un método simple para el análisis y pronóstico de avance del frente salino en La Plata, Provincia de Buenos Aires. Seminario Avanzado sobre Desarrollo y Manejo de los Recursos Hídricos Subterráneos. CEA, Gob. Israel, Subsecretaría de Recursos Hídricos. Buenos Aires.

28. **SALVADOR, D.** 1948. Geología del Subsuelo del Noroeste de Buenos Aires y sus aguas superficiales y subterráneas. Tesis Museo de La Plata N° 89. Inédito. La Plata.

29. **SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.** 1958. Estadísticas climatológicas, 1941-1950. Servicio Me-

eteorológico Nacional. Buenos Aires.

30. **SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.** 1962. Datos pluviométricos 1921-1950. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.

31. **SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.** 1965. Estadísticas Climatológicas, 1951-1960. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.

32. **SIRAGUSA, A.** 1949. Contribución al conocimiento del querandínense en el Partido de Magdalena, Provincia de Buenos Aires. Tesis Museo de La Plata N° 151. Inédito. La Plata.

33. **STAPPENBECK, R.** 1937. *Geologie und Grundwasserkunde der Pampa* (trad. libre). Stuttgart.

34. **TAPIA, A.** 1937. Datos geológicos de la Provincia de Buenos Aires. Comisión Nacional de Climatología y Aguas Minerales, Tomo II. Buenos Aires.

35. **TRICART, J.F.L.** 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana. INTA. Colec. Científica XII. Buenos Aires.

