

# **PROVINCIA DE ENTRE RÍOS**

## **CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**“MAPA HIDROGEOLÓGICO. SÍNTESIS DE LA PROVINCIA.  
ENTRE RÍOS”**

**INFORME FINAL – ALCANCE I  
(REGIÓN CENTRO OESTE DE ENTRE RÍOS)**

**SEPTIEMBRE 2011**

***Geóloga María SANTI - Profesional Provincia de Entre Ríos***

***Ing. Guillermo BIANCHI - Experto CFI***

## **INDICE DEL TEXTO**

<b>1.</b>	<b><u>RESUMEN</u></b>	5
<b>2.</b>	<b><u>ALCANCE Y OBJETIVOS</u></b>	7
<b>3.</b>	<b><u>UBICACIÓN DEL AREA</u></b>	7
<b>4.</b>	<b><u>RECOPIACIÓN Y VALORACIÓN DE ANTECEDENTES</u></b>	9
4.1.	Información climática	9
4.2.	Perforaciones	9
4.3.	Aguas superficiales	11
4.4.	Aguas subterráneas	11
4.5.	NORMAS DE POTABILIDAD <u>Código Alimentario Argentino</u>	12
<b>5.</b>	<b><u>CARTOGRAFÍA BASICA</u></b>	13
<b>6.</b>	<b><u>CLIMA</u></b>	14
6.1.	Precipitación	14
6.2.	Temperatura	15
6.3.	Vientos	16
6.4.	Clasificación	16
<b>7.</b>	<b><u>GEOMORFOLOGÍA</u></b>	18
7.1.	Lomadas loésicas de Crespo	18
7.2.	Area de Tala	20
<b>8.</b>	<b><u>SUELOS</u></b>	21
8.1.	Vertisoles	21
8.2.	Molisoles	23
8.2.1.	Argiudoles típicos (Brunizems)	23
8.2.2.	Argiudoles vérticos (Brunizems vertisólicos)	23
8.3.	Alfisoles	24
8.3.1.	Ocracualfes típicos (Planosoles)	24
8.3.2.	Oracualfes vérticos (Planosólicos )	24
8.4.	Aluviales de ríos y arroyos	24
<b>9.</b>	<b><u>BALANCE HÍDRICO</u></b>	25
9.1.	Exceso – Déficit	25
9.2.	Infiltración	28
<b>10.</b>	<b><u>GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA</u></b>	31

<b>10.1.</b>	<b><u>ESTRATIGRAFÍA</u></b>	<b>31</b>
10.1.1.	Formación Paraná (Mioceno superior – Plioceno medio)	31
10.1.2.	Formación Ituzaingó (Plioceno – Pleistoceno Inferior)	33
<b>10.1.2.1.</b>	<b>HIDROGEOLOGIA</b>	<b>34</b>
10.1.3.	Formación Alvear (Ensenadense – Pleistoceno inferior)	36
10.1.4.	Formación Hernandarias (Pleistoceno Inferior)	36
10.1.5.	Formación Tezanos Pinto (Bonaerense – Pleistoceno superior)	37
10.2.	PERFILES GEOLOGICOS	38
<b>11.</b>	<b><u>AGUAS SUPERFICIALES</u></b>	<b>39</b>
11.1.	Cuenca del río Paraná	39
11.1.1.	Río Gualeguay	39
11.1.2.	Arroyo Nogoyá	40
11.1.3.	Arroyo Clé	40
11.2.	Análisis químicos	41
11.2.1.	Representación gráfica de las características químicas	42
11.2.2.	Aptitud de Agua para riego.	43
11.3.	Aptitud de agua para consumo	44
<b>12.</b>	<b><u>AGUAS SUBTERRÁNEAS</u></b>	<b>45</b>
12.1.	Censo hidrogeológico	45
12.2.	Red de flujo	46
12.3.	Ejecución de análisis químicos	48
12.3.1.	Conductividad eléctrica (CE)	49
12.3.2.	Residuo seco	50
12.3.3.	Dureza	50
12.3.4.	Bicarbonatos	51
12.3.5.	Sulfatos	52
12.3.6.	Cloruros	52
12.3.7.	Nitratos	53
12.3.8.	Sodio	54
12.3.9.	Calcio	54
12.3.10.	Magnesio	55
12.3.11.	Potasio	55
12.3.12.	Arsénico	55
12.3.13.	Fluoruros	56

12.3.14.	Hierro	56
12.3.15.	Boro	56
12.4.	Consumo humano	57
12.4.	Representaciones gráficas	59
12.4.1.	Diagramas de Piper Hill.	59
12.5.	Aptitud de agua para riego	59
12.6.	Ensayos hidráulicos	61
12.6.1.	Ensayo 1 – La Paz	64
12.6.2.	Ensayo 2 – La Paz	67
12.6.3.	Ensayo 3 – La Paz	70
12.6.4.	Ensayo 4 – Pueblo Belloq	72
12.6.5.	Ensayo 5 – Aldea Santa María	76
12.6.6.	Ensayo 6 – La Picada	79
12.6.7.	Ensayo 7 – Betbeder	80
12.6.8.	Ensayo 8 – Gobernador Echagüe	81
12.6.9.	Ensayo 9 – Gobernador Sola	84
12.6.10.	Ensayo 10 – Guardamonte	87
12.6.11	Ensayo 11 – Las Cuevas	90
12.6.12.	Síntesis de los resultados	93
<b>13.</b>	<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	96
<b>14.</b>	<b><u>REFERENCIAS Y FUENTES CONSULTADAS</u></b>	107

## **1. RESUMEN**

En este Informe, se analizan e interpretan las características hidrogeológicas en un área de aproximadamente 5.610 Km<sup>2</sup> situada en el centro-oeste de la Provincia de Entre Ríos, delimitada: al oeste por la traza de la ruta Provincial N° 32, entre sus intersecciones con la ruta Nacional N° 12 y Nacional N° 18; al norte por la traza de la ruta Nacional N° 18, desde su intersección con la Provincial N° 32 y el curso del río Gualeguay; al sur por la traza de la ruta Provincial N° 39, desde su intersección con el río Gualeguay, hasta su cruce con la ruta Provincial N° 6 y y desde allí, por la ruta Nacional N° 12 hasta localidad de Crespo. El límite este es el curso del río Gualeguay entre los puentes de las rutas Nacional N° 18 y Provincial N° 39. La zona abarca prácticamente la totalidad del departamento Nogoyá, parte E del departamento Tala y una superficie muy pequeña del SE y SW de los departamentos Paraná y Villaguay, respectivamente.

El estudio consiste en el procesamiento de información relevada en campo, del recurso hídrico subterráneo a escala 1: 100.000 y la confección de la cartografía temática a escala 1: 200.000.

El área descripta, geológicamente, se caracteriza por presentar una cubierta superior limoarcillosa que, en los sectores topográficamente más elevados, (Villa General Ramírez, Camps y otros), alcanza los 70 m de potencia. El menor espesor se encuentra en los valles de los cauces de ríos y arroyos. Debajo de esta cubierta se encuentran las Formaciones Ituzaingó (Plio-Pleistoceno) y Paraná (Mioceno Superior – Plioceno Medio), que alojan los acuíferos más explotados para consumo humano, animal y en muy poca medida para riego. Ambas formaciones están relacionadas hidrogeológicamente. Aunque Ituzaingó es posterior a Paraná, en esta región de Entre Ríos (donde Ituzaingó desaparece en el SW), el techo de ambas formaciones se encuentra en un rango hipsométrico aproximado de 37 a 40 m IGN, dificultando, en muchas ocasiones, reconocer el pasaje lateral de una a otra. Como ese límite preciso se desconoce, en este informe serán tratados como “Acuífero Ituzaingó / Paraná”, cuando no pueda definirse si es en una o en otra Formación, donde han sido relevadas las fuentes subterráneas.

Los acuíferos, Ituzaingó y Paraná, se encuentran semiconfinados prácticamente, en toda el área de estudio. La profundidad promedio del nivel hidráulico en la región es de 25,24 m (1,54 m el mínimo y 54,80 m el máximo)

La cubierta superior (Formaciones Tezanos Pinto y Hernandarias) alojan agua (discontinuas), en el contacto entre ambas, hasta una profundidad no mayor de 5 m. En la Formación Hernandarias se encuentran caudales, insuficientes para grandes extracciones, pero que resuelven en las zonas suburbanas, la provisión de agua para uso humano y abrevado de ganado. La presencia de estos niveles está asociada a áreas topográficamente elevadas.

En el capítulo 12 Aguas subterráneas se agrega el procesamiento y análisis de 11 ensayos de bombeo realizados para la obtención de parámetros hidráulicos en el ámbito oeste de la Provincia de Entre Ríos, en un área enmarcada por los límites físicos de los cursos de los ríos Guayquiraró al norte, Paraná al oeste, Gualeguay al este y el deslinde morfológico determinado por predelta al sur.

## **2. ALCANCE Y OBJETIVOS**

En este estudio, se analizan e interpretan las características hidrogeológicas de la región centro oeste de la Provincia de Entre Ríos.

El trabajo consiste en el procesamiento de información relevada en campo (censo hidrogeológico, toma de muestras de agua, relevamiento geológico de superficie, etc.) del recurso hídrico subterráneo a escala 1:100.000.

A partir de la información procesada y analizada, se confeccionó la cartografía temática del área en cuestión (red de flujo subterránea, mapas químicos, clasificación de agua para riego, tipo de agua).

La finalidad de este informe, es completar el relevamiento hidrogeológico de la provincia de Entre Ríos a escala 1: 200.000.

Otro objetivo de este estudio, fue la ejecución de pruebas hidráulicas y ensayos de bombeo para la obtención de parámetros hidráulicos en el sector oeste de la provincia, enmarcado por los límites físicos de los cursos de los ríos Guayquiraró al norte, Paraná al oeste, Gualeduay al este y el deslinde morfológico determinado por predelta al sur.

## **3. UBICACIÓN DEL AREA**

El área abarca una superficie aproximada de 5.610 Km<sup>2</sup> y está situada en el centro – oeste de la Provincia de Entre Ríos. Está delimitada: al oeste por la traza de la ruta Provincial Nº 32, entre sus intersecciones con la ruta Nacional Nº 12 y Nacional Nº 18; al norte por la traza de la ruta Nacional Nº 18, desde su intersección con la Provincial Nº 32 y el curso del río Gualeduay; al sur por la traza de la ruta Provincial Nº 39, desde su intersección con el río Gualeduay, hasta su cruce con la ruta Provincial Nº 6 y y desde allí, por la ruta Nacional Nº 12 hasta localidad de Crespo. El límite este es el curso del río Gualeduay entre los puentes de las rutas Nacional Nº 18 y Provincial Nº 39. La zona abarca prácticamente la totalidad del

departamento Nogoyá, parte E del departamento Tala y una superficie muy pequeña del SE y SW de los departamentos Paraná y Villaguay, respectivamente. (figura 3.1)

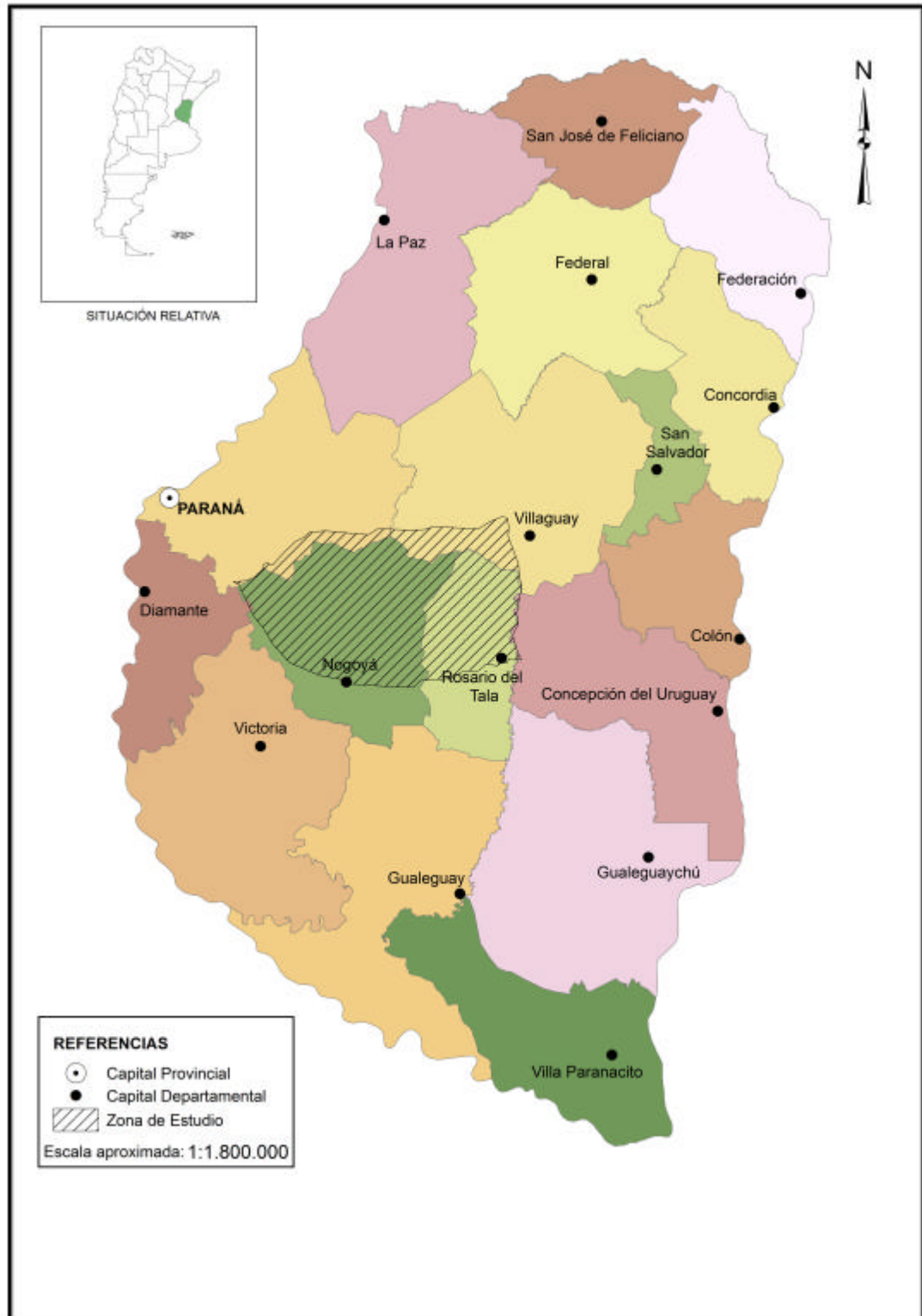


figura 3.1



## **4. RECOPIACIÓN Y VALORACIÓN DE ANTECEDENTES**

### **4.1. Información Climática**

Se recopilaron valores de precipitación y temperaturas medias para una serie de 76 años (1934/2009) de la estación INTA-Paraná ubicada en el NW, fuera del área de estudio (**tablas 4.1 y 4.3**). También se recopilaron las precipitaciones y temperaturas medias de la estación meteorológica Lucas González, ubicada al sureste de la zona. La estación pertenece a la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos y la serie de datos de 28 años se extiende desde 1982 hasta el 2009 (**tablas 4.2 y 4.4**). Teniendo en cuenta que INTA Experimental Paraná, utilizó esta estación para la confección de la Carta de Suelos del Departamento Nogoyá donde la estación más próxima es Lucas González, validamos y nos parece más representativo utilizar datos de una serie de menos años dentro de la Provincia, antes que extrapolar series de otros lugares, más extensas.

### **4.2. Perforaciones**

Los cortes de perforaciones son antecedentes recopilados de los siguientes organismos públicos: Ferrocarril Entre Ríos (**F.C.E.R.**), Obras Sanitarias de Entre Ríos (**O.S.E.R.**), Ferrocarril General Urquiza (**F.C.G.U.**), Ministerio de Obras Públicas (**M.O.P.**), Servicio de Aguas Subterráneas (**S.A.S.**), Obras Sanitarias e Hidráulica de Entre Ríos (**O.S.H.E.R.**), Dirección General de Geología y Minería (**D.G.G.M.**) y Dirección General de Industria y Minería (**D.G.I.M.**).

Las denominaciones de los pozos se corresponden con las localidades o parajes de las estaciones de ferrocarril. Todas las profundidades están referidas a las bocas de pozo. Los niveles piezométricos que figuran en este ítem son los de la fecha en que se terminaron las perforaciones y se citan solo a efectos informativos. La ubicación del filtro también está referida a la época en que se terminaron las perforaciones citadas.

El techo del acuífero se refiere al límite entre la cubierta superior y el Acuífero Ituzaingó–Paraná.

A continuación se mencionan los pozos utilizados:

**4.2.1. Nogoyá – Departamento Nogoyá – F.C.E.R. – 1946.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5518900; Y=.6417500. Cota topográfica 45 m. Profundidad techo del acuífero: 7.50 m. Profundidad final del pozo: 42 m. Profundidad del nivel piezométrico: 10 m.

**4.2.2. Maciá – Departamento Tala – O.S.N. – sin fecha.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5556800; Y=.6441000. Cota topográfica: 75 m. Profundidad techo del acuífero: sin dato. Profundidad final del pozo: 60 m. Profundidad del nivel piezométrico: 18 m (NE) 43.20 m (ND).

**4.2.3. Guardamonte – Departamento Tala – F.C.E.R. – 1933.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5565650; Y=.6451050. Cota topográfica: 70 m. Profundidad techo del acuífero: 39.50 m. Profundidad final del pozo: 50 m. Profundidad del nivel piezométrico: 33.70 m.

**4.2.4. Altamirano – Departamento Tala – F.C.E.R. – 1933.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5577850; Y=.6449750. Cota topográfica 41 m. Profundidad techo del acuífero: 13.14 m. Profundidad final del pozo: 51 m. Profundidad del nivel piezométrico: 12.65 m.

**4.2.5. Villa Clara – Departamento Villaguay – F.C.E.R. – 1933.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5511600; Y=.6478700. Cota topográfica 65 m. Profundidad techo del acuífero: 26 m. Profundidad final del pozo: 44 m. Profundidad del nivel piezométrico: 20.50 m.

**4.2.6. Hernández – Información del Municipio – 1998.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5497550; Y=.6422975. Cota topográfica 98 m. Profundidad techo del acuífero: sin dato m. Profundidad final del pozo: 89 m. Profundidad del nivel piezométrico: 40.63 m

**4.2.7. Aranguren – Departamento Nogoyá – sin dato – sin fecha.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5484600; Y=.6433550. Cota topográfica 115 m. Profundidad techo del acuífero: 67 m. Profundidad final del pozo: 117 m. Profundidad del nivel piezométrico: 54 m.

**4.2.8. Lucas González – Departamento Nogoyá – O.S.H.E.R. – 1968.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5543700; Y=.6416950. Cota topográfica 80 m. Profundidad techo del acuífero: 46.70 m. Profundidad final del pozo: 73.70 m. Profundidad del nivel piezométrico: 43 m.

#### **4.2.9. Gobernador Sola – Departamento Tala – F.C.G.U. – 1937.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5559100; Y=6422500. Cota topográfica 80 m.  
Profundidad techo del acuífero: 50 m. Profundidad final del pozo: 71.10 m.  
Profundidad del nivel piezométrico: 50.35 m.

#### **4.2.10. Rosario del Tala – Departamento Tala – M.O.P. – 1946.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5580300; Y=6424600. Cota topográfica 40 m.  
Profundidad techo del acuífero: 10.50 m. Profundidad final del pozo: 129 m.  
Profundidad del nivel piezométrico: 10.50 m.

#### **4.2.11. Basavilbaso – Departamento Uruguay – F.C.E.R. – 1936.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5505300; Y=6418000. Cota topográfica 65 m.  
Profundidad techo del acuífero: 36 m. Profundidad final del pozo: 46 m. Profundidad del nivel piezométrico: 27,20 m.

#### **4.2.12. Villa Mantero – Departamento Uruguay – O.S.N. – 1947.**

Coordenadas Gauss-Krüger: X=5618100; Y=6415500. Cota topográfica 45 m.  
Profundidad techo del acuífero: 20.30 m. Profundidad final del pozo: 71.10 m.  
Profundidad del nivel piezométrico: 21.21 m.

### **4.3. Aguas superficiales.**

Se recopilaron valores de caudales en el arroyo Nogoyá (Serie (1985-2008) en la estación de aforo ubicada en la Ruta Provincial N° 11 la **(tabla 4.5.)** y del río Gualeguay efectuadas en Rosario del Tala, Ruta Provincial N° 39 (Serie 1993 /2008) **(tabla 4.6.)**. Fuente: Estadística Hidrológica – EVARSA.

### **4.4. Aguas Subterráneas**

Se seleccionaron del “Estudio de Aguas Subterráneas Etapa III” (Convenio Consejo Federal de Inversiones – Provincia de Entre Ríos, 2000) y del Estudio “Disponibilidad de Agua Subterránea para la producción arrocerá de la provincia de Entre Ríos - Etapa I Inventario a escala de reconocimiento” (Convenio Consejo Federal de Inversiones – Provincia de Entre Ríos, 2002), los pozos ubicados en las zonas de solape con la nueva región de estudio, a los fines de realizar su censo. **(tabla 4.7)**

#### **4.5. Norma de Potabilidad. Código Alimentario Argentino**

Se confeccionó la **tabla 4.8.** con los valores que el Código Alimentario Argentino requiere para que un agua pueda considerarse de bebida. Se presenta un listado con los parámetros más conocidos y sus concentraciones correspondientes.

## **5. CARTOGRAFÍA BÁSICA**

Para la elaboración de la cartografía básica del área se utilizaron las cartas preexistentes digitalizadas a escala 1:100.000 en etapas previas correspondientes a las Hojas Topográficas y/o de Imagen Satelital del Instituto Geográfico Nacional (ex I.G.M.) identificadas bajo la denominaciones de: General Racedo (3160-33), Tabossi (3160-34), Villaguay (3160-35), Crespo (3160-3), Don Cristóbal (3160-4), Rosario Tala (3160-5), Victoria (3160-9), Nogoyá (3160-10) y Mansilla (3160-11). **(EN SOPORTE DIGITAL)**

Las cartas mencionadas se compilaron digitalmente de a cuatro o en número menor, generando nuevas cartas a escala 1:200.000. El agrupamiento resultó según el siguiente detalle: General Racedo (3160-33), Tabossi (3160-34), Crespo (3160-3) y Don Cristóbal (3160-4); Villaguay (3160-35), Rosario Tala (3160-5) y y Mansilla (3160-11); Victoria (3160-9) y Nogoyá (3160-10) **(EN SOPORTE DIGITAL)**

Como resultado final, se presenta el Mapa base del área de estudio a escala 1:200.000 **(MAPA Nº 1)**. El mismo contiene, además de todos los detalles gráficos que oportunamente fueron exigidos para la escala 1:100.000 y las adecuaciones rutinarias, (coordenadas planas, tamaño de escritura toponímica y referencias), una **actualización de la red vial, provista por la Dirección Provincial de Vialidad (Entre Ríos)**

## **6. CLIMA**

Los registros de precipitación y temperatura media utilizados en este capítulo pertenecen a las estaciones agrometeorológicas Paraná, serie 1934 / 2009 (**tablas 4.1 y 4.3**) y Lucas González, serie 1982 / 2009 (**tablas 4.2 y 4.4**). La primera, de INTA y la segunda, de la Dirección de Hidráulica de la Provincia. La estación Paraná, se encuentra al noroeste, fuera del área de estudio, y Lucas González en el sureste del área.

En las **figuras 6.1. y 6.2.** se representan para las dos estaciones, las precipitaciones junto con las temperaturas medias mensuales. De los gráficos se desprende una buena correlación entre precipitación y temperatura, para ambas.

En las estaciones citadas se registran, además, las siguientes variables: temperaturas máximas y mínimas; mínimas a 5 y 50 cm sobre el suelo; temperaturas medias de suelo a 5, 10, 20, 30, 50 y 100 cm de profundidad; viento; intensidad y dirección a 0,5, 2 y 5 m de altura; humedad relativa; heliofanía; radiación (solo en INTA-Paraná); evaporación en tanque tipo "A"; y presión atmosférica (solo en Lucas González).

### **6.1. Precipitación**

En las **tablas 4.1 y 4.2** se reproducen los registros de lluvia de las estaciones Paraná y Lucas González, con valores mensuales, anuales, promedios, máximos, mínimos y desvío standard, para las series 1934 / 2009 y 1982 / 2009, respectivamente.

En Paraná la precipitación media anual para 76 años es de 1.022,3 mm. (**tabla 4.1**); el mes con mayor precipitación es marzo con 156,4 mm y el de menor julio con 29,7 mm. Entre octubre y abril se produce el 80% de la lluvia anual (816,6 mm). El año considerado como húmedo (máxima precipitación de toda la serie) es el 2000, con 1.818,4 mm (**figura 6.3**) y el año seco (mínima precipitación en la serie histórica) 1937, con 493,6 mm (**figura 6.4**)

En la **figura 6.5** puede observarse la recurrencia de lapsos con precipitaciones mayores a la media: 1939/40, 1942/43, 1946/47, 1949/50. Se observa que estos lapsos no superan los dos años. A partir de 1976 estas recurrencias se extienden a cuatro años, 1976/79, 1983/86, 1990/93 y 2000/03. Un lapso de 3 años ocurre entre 2005/07. Las recurrencias de lapsos con precipitaciones menores a la media no tienen la misma tendencia, presentando una excepción, el lapso 1962/70, donde hay 9 años continuos de precipitaciones inferiores a la media, el resto son 1934/35, 1937/38, 1944/45, 1951/52, 1956/58, 1974/75, 1987/89 y 1994/97. Solamente se especifican los años donde hay dos o más años continuos, con tendencias similares.

En Lucas González, la precipitación media anual, para 28 años es de 1106,1mm (**tabla 4.2**), el mes con mayor precipitación media es abril, con 129,3 mm y el mes con menor precipitación promedio es julio, con 39,3 mm. Entre octubre y abril se produce el 76% de la lluvia anual (843,7 mm). El año considerado como húmedo (máxima precipitación de la serie) es el año 2000, con 1759,5 mm (**figura 6.6**) y el año seco (mínima precipitación de la serie) es el año 2008, con 652,3 mm (**figura 6.7**).

En la **figura 6.8** puede observarse la recurrencia de lapsos con precipitaciones mayores a la media, 1983/84, 1990/91, 2000/03 y 2005/07. Las recurrencias de lapsos con precipitaciones menores a la media son 1982/83 y 1994/97. Solamente se especifican los años donde hay dos o más años continuos, con tendencias similares.

## 6.2. Temperatura

La temperatura media anual en la estación Paraná, para la serie 1934/2009 (**tabla 4.3**), es de 18,4 °C, siendo enero el mes más cálido, con 24,8 °C y el más frío, junio, con 12,6 °C. El año más cálido fue 1989, con 20 °C y el más frío 1956, con 16,4 °C. La **figura 6.9** muestra las temperaturas medias para cada año, comparadas con la media anual de la serie.

La temperatura media anual en la estación Lucas González, para la serie 1982/2009 (**tabla 4.4**), es de 17,7 °C, siendo enero el mes más cálido, con 24,5 °C y el más frío, julio, con 10,9 °C. El año más cálido fue 1997, con 18,8 °C y el más frío 1983, con 16,9 °C. La **figura 6.10** muestra las temperaturas medias para cada año, comparadas con la temperatura media de la serie.

Comparando los valores térmicos de las dos estaciones, a pesar de las diferencias en la longitud de las series, se puede observar que la estación Lucas González tiene valores térmicos inferiores a la estación Paraná. Se estima que la influencia como moderador del río Paraná, genera las diferencias observadas.

### **6.3. Vientos**

En la **figura 6.11** se comparan las velocidades promedios mensuales de viento, a 2 m de altura. De las dos estaciones consideradas para este estudio, se puede observar que la tendencia es similar para las dos estaciones, siendo los meses con mayor velocidad agosto, septiembre y octubre, y los de menor velocidad marzo, abril y mayo. Para comparar ambas estaciones (Paraná y Lucas González) se consideró la serie 1982/09. Los mayores valores para la estación Paraná, son debidos a la influencia que ejerce el río Paraná.

La dirección del viento predominante es E; los meses que registran esta tendencia son febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, del sector NE, enero y agosto, del sector N, mayo y junio, del sector S, julio y septiembre y del sector SE octubre.

### **6.4. Clasificación**

Se siguió la metodología desarrollada por Knoche y Borzacov (1947), mediante el empleo del climatograma. Se emplearon los registros de precipitación y temperatura media de las estaciones agrometeorológicas Paraná, serie 1934 / 2009 y Lucas González, serie 1982 / 2009.



En Paraná (**figura 6.12**) se tiene, considerando la temperatura, que: enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre son cálidos, y mayo, junio, julio, agosto y septiembre, templados. En relación a la precipitación: junio, julio y agosto resultan secos; enero, febrero, mayo y septiembre son seco-húmedos y marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre son húmedos.

En Lucas González (**figura 6.13**) la clasificación es: enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre, son cálidos y mayo, junio, julio, agosto y septiembre templados. Considerando la lluvia: julio y agosto son secos; mayo, junio, septiembre, diciembre y enero son seco-húmedos y febrero, marzo, abril, octubre y noviembre húmedos.

En definitiva de acuerdo a Knoche y Borzacov el clima varía entre **cálido y templado, y seco-húmedo y húmedo**, con cierto rasgo seco en invierno, considerando todas las estaciones.

## **7. GEOMORFOLOGÍA**

### **Generalidades**

Entre Ríos, es una llanura suavemente ondulada a llana en los 66.976 Km<sup>2</sup> que ocupa su superficie de tierra firme (de los 78.781 Km<sup>2</sup>, del total, 11.805 Km<sup>2</sup> son islas y tierras anegadizas). Las cotas topográficas más constantes se desarrollan entre los 50 y 65 m s.n.m. La máxima altitud s.n.m. es de 119 metros (encontrándose dentro del área de estudio).

La geomorfología provincial, está en función del sustrato, y hay una relación directa entre morfología, hidrología de superficie e hidrología subterránea.

Desde el punto de vista geomorfológico, en el sector de estudio se distinguen 2 (dos) regiones (**figura 7.1**):

- Lomas loésicas de Crespo
- Area de Rosario del Tala

### **7.1. Lomas Loésicas de Crespo**

Es el área más alta de la provincia de Entre Ríos (hasta 119 metros s.n.m.). Se denomina así porque está cubierta por una capa de loess de 2 a 4 metros por sobre la cota 80 m IGN. Es un paisaje ondulado a suavemente ondulado, con pendientes activas entre 3,5–5,5 %.

Se desarrollan en esta región, cuencas bien integradas. El sistema de drenaje es dendrítico irregular en las cabeceras; tienen cursos de tercer y cuarto orden. Los colectores presentan llanuras aluviales, las que, en su parte media, están cubiertas por albardones.

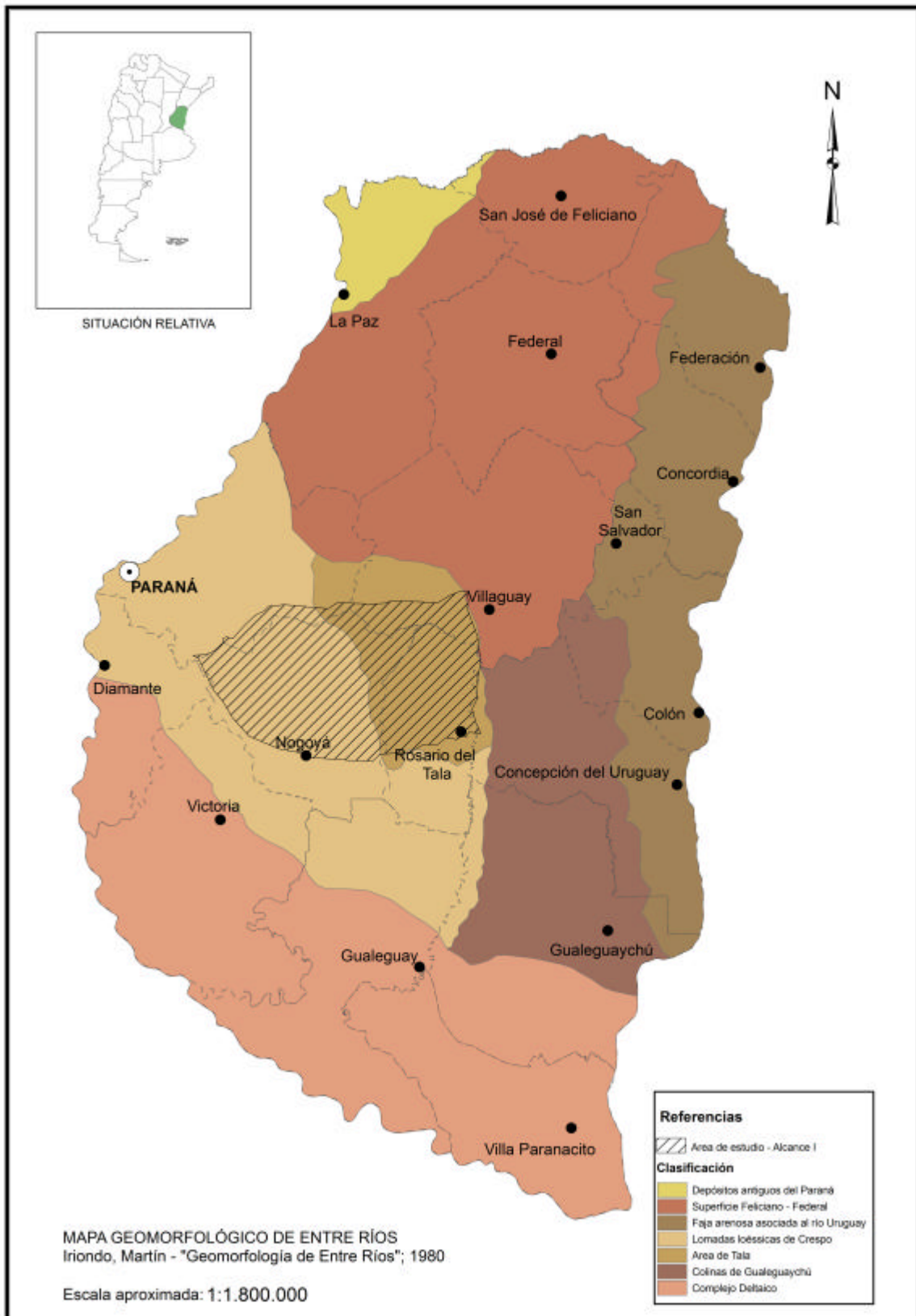


figura 7.1.

## **7.2. Area de Tala**

Es un área alta, situada en el centro de la provincia. Los sedimentos superficiales son limos arcillosos y loess. El sustrato es arcilloso. Su desarrollo es entre los 55-80 m s.n.m. Entre los 75-80 m s.n.m. encontramos relictos de loess. Entre los 65 – 70 m s.n.m. el loess es retransportado.

Es un área de avenamiento. El fondo de los valles está relleno por depósitos aluviales. Algunos arroyos, como El Durazno, tienen su llanura aluvial más grande que la del colector (arroyo Raíces), de aproximadamente 2 (dos) Km. de ancho.

La región presenta la característica de actuar como “domo”. Los cauces escurren en todas las direcciones: el arroyo Durazno y otros menores lo hacen hacia el Norte, el arroyo Clé hacia el Sur, los cauces menores afluentes del arroyo Nogoyá hacia el Este, y los cauces menores afluentes del río Gualeguay, hacia el Oeste.

En la zona de monte la erosión es muy activa. Las cárcavas tienen de 50 a 200 metros de largo.

## **8. SUELOS**

En este capítulo se describen los suelos presentes en el ámbito de estudio. La descripción se basa en la publicación del MAPA AGRUPAMIENTO Y ORDEN DE SUELOS/ ENTRE RÍOS. INTA 1979/1984.

### **8.1. Vertisoles**

Los suelos de este orden y asociados a otros, son los de mayor distribución en la Provincia. Ocupan aproximadamente 2.750.000 ha, que corresponden a un 34,5 % del total provincial. Ocupan el primer lugar y se encuentran desarrollados en gran parte del departamento Nogoyá y en la totalidad del departamento Tala (**figura 8.1.**).

Se desarrollan sobre una planicie ondulada, a muy suavemente ondulada (hidromórficos). Los materiales originarios son limos calcáreos de origen palustre o lacustre. Se asocian con pendientes de 0,5 a 2,5%, pero también se los encuentra en aquellas de hasta 4%, donde presentan evidencias de erosión.

Las características vérticas se refieren a aquellas inherentes al alto contenido de arcillas expandibles. En general, son suelos negros, muy oscuros, con tendencia a contraerse y dilatarse al cambiar su grado de humedad, lo que provoca, movimientos en masa dentro del perfil.

En general, son suelos difíciles de labrar. Por su alto contenido de arcilla, en seco son muy duros y cuando están mojados, muy plásticos y adhesivos. En consecuencia, tienen un margen muy reducido y por un periodo muy corto, de humedad óptima para la labranza.

Otra característica es que se agrietan. Las grietas pueden alcanzar hasta 3 cm de ancho y 50 m de extensión. Esto tiene una gran significación hidrogeológica, pues a través de las grietas puede facilitarse la infiltración de agua en el inicio de los lapsos lluviosos.

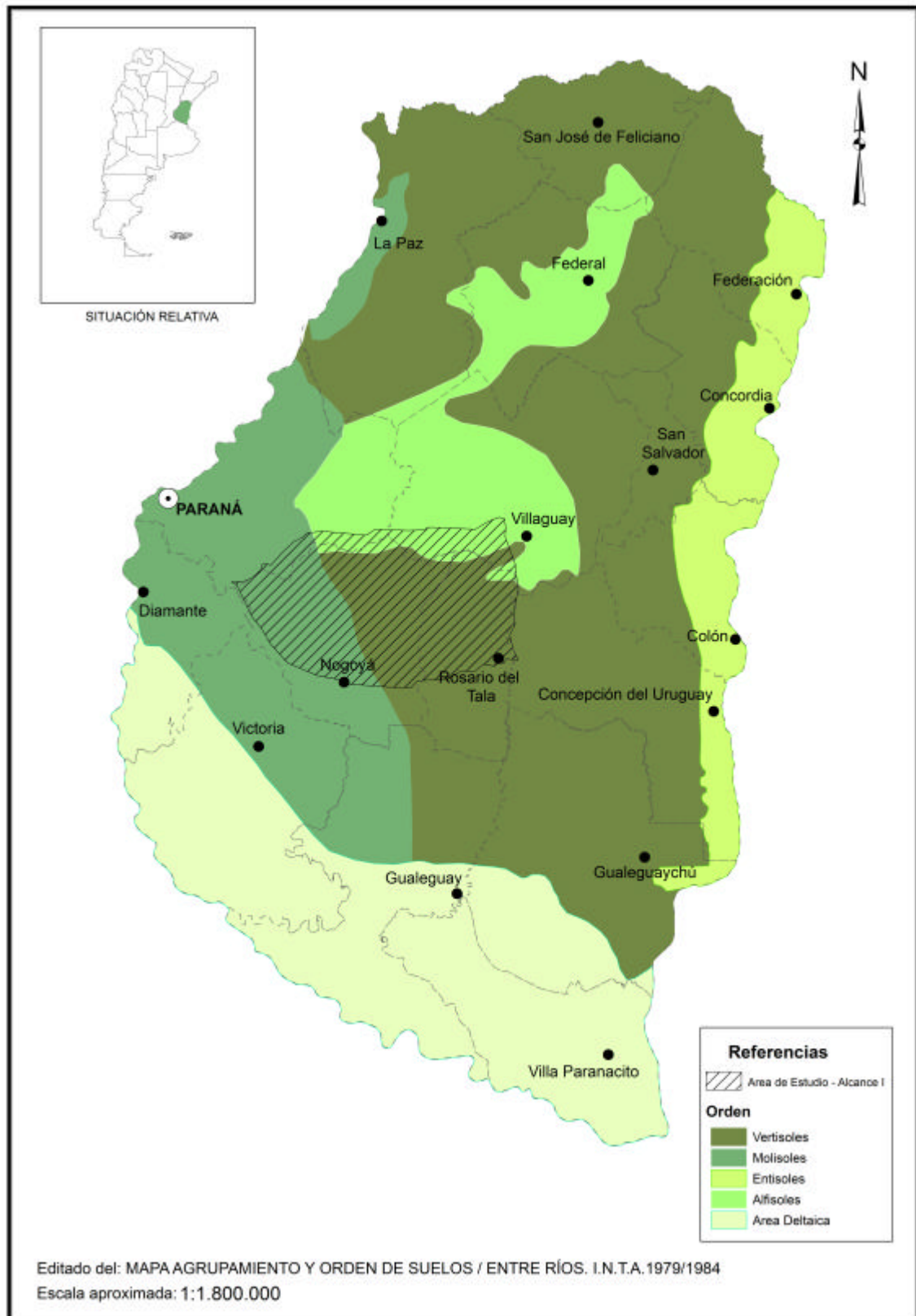


figura 8.1.

## **8.2. Molisoles**

Estos suelos, ocupan aproximadamente 1.550.000 ha, lo que corresponde a un 20 % del total provincial. Se encuentran en el área de estudio en gran parte del departamento Nogoyá y mínimamente, por el alcance de la región de estudio en el departamento Paraná.

Se distinguen dos subgrupos:

### **8.2.1. Argiudoles típicos (Brunizems)**

Brunizems con loess como material madre, son los que se encuentran más cercanos a la costa del río Paraná, en una peniplanicie ondulada, con pendientes de un gradiente elevado.

Son los más aptos para el uso agrícola.

### **8.2.2 Argiudoles vérticos (Brunizems vertisólicos)**

Desde la costa del río Paraná y hacia el E de la Provincia, el loess se va mezclando con los limos calcáreos dando origen a los suelos intergradados (Argiudoles vérticos)

Estos suelos se encuentran en una pendiente ondulada de menor gradiente y más larga que la de los Argiudoles típicos. Son similares a éstos en su parte superficial, pero en los horizontes subsuperficiales presentan características propias de los Vertisoles. Presentan un horizonte superficial de espesor variable según el grado de erosión.

Son tierras relativamente aptas para uso agrícola continuado. Esto se debe, a sus limitantes que son: la erosión actual y la susceptibilidad a la misma.

### **8.3. Alfisoles**

Dentro del área ocupan una mínima parte al N. En la provincia, cubren aproximadamente 850.000 ha, que equivalen al 11 % de la superficie provincial.

Se caracterizan por horizontes subsuperficiales muy arcillosos y por ende de muy baja permeabilidad; son poco aptos para uso agrícola.

Se distinguen dos subgrupos:

#### **8.3.1. Ocracualfes típicos (Planosoles)**

Los Planosoles se encuentran en áreas planas, sin red de drenaje definida, con horizontes superficiales muy someros y lixiviados.

Son suelos con una aptitud restringida para los cultivos.

#### **8.3.2. Oracualfes vérticos (Planosólicos )**

Los Planosólicos intergradan en mayor grado a los Vertisoles y en menor proporción a los Molisoles. Se encuentran en áreas con pendientes muy suaves y largas. Cuando el gradiente es mayor de 1%, su susceptibilidad a la erosión constituye una gran limitante.

Si bien su aptitud para los cultivos es algo mejor que la de los Planosoles, su uso en ese sentido debe ser esporádico por el gran riesgo de erosión que presentan.

### **8.4. Aluviales de ríos y arroyos**

Debido a su heterogeneidad, estos suelos no se han descripto como unidad. Cubren en la Provincia aproximadamente unas 450.000 ha equivalente a un 6 % del área total. Pertenecen a los terrenos aluviales de los principales ríos y arroyos. Fisiográficamente, los valles inundables, presentan la secuencia típica de albardones, esteros y blanquizales.



## 9. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico a nivel edáfico, posibilita determinar la condición hidrológica de la región en estudio (húmeda, neutra o árida) y ser utilizado como herramienta para estimar, a nivel global, un volumen de infiltración factible de actuar como recarga subterránea, en la zona de estudio. El análisis requiere establecer la relación Exceso – Déficit y plantear la resolución de la ecuación general del ciclo hidrológico.

Para el desarrollo del balance hídrico a nivel edáfico se considera el modelo de Thornthwaite y Mather (1957) que se basa en el cálculo de la evapotranspiración potencial (Evtp) a partir de la incidencia que ejercen la temperatura y la insolación. La evapotranspiración real (Evtr) se obtiene a partir de la Evtp, en función de la condición del suelo respecto al contenido de humedad y sus propiedades hidráulicas.

La metodología propuesta para estimar volumen de infiltración, fue utilizada con resultados aceptables en zonas, con excesos como la estudiada, consideradas hidrológicamente homogéneas, en los estudios “Disponibilidad de agua subterránea para la producción arrocerá de la Provincia de Entre Ríos”- Auge y Santi, 2002, “Estudios de Aguas Subterráneas en la Región Sudeste de la Provincia de Entre Ríos” – Bianchi y Santi, 2004, “Relevamiento de los Recursos Hídricos Subterráneos del Sector Norte y Noreste en la Provincia de Entre Ríos”, Bianchi y Santi, 2008 (CFI/Dirección de Hidráulica de Entre Ríos).

### 9.1. Exceso – Déficit

La **tabla 9.1.** (en soporte digital) contiene los balances hídricos desarrollados para una Reserva de Agua Útil de 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450mm.; para la serie (1982/2009) de la **Estación Lucas González.** Se incluyen en la **tabla 9.4.** (en soporte digital) el desarrollo de los balances para la serie de Precipitaciones medias mensuales y Temperaturas medias mensuales de la **Estación Paraná** (1982/2009) en igual período a la de Lucas González.

Para establecer la relación Exceso – Déficit, se utilizó el balance desarrollado para una Reserva de Agua Útil máxima de 200 mm, adoptada en función de las características edáficas predominantes en el área de estudio.

En la **tabla 9.2.** se sintetiza el balance hídrico a nivel edáfico desarrollado para una Reserva de Agua Útil de 200mm para la **Estación Lucas González** y se vuelcan las diferencias entre P y Evtr. De esta última tabla y de la **figura 9.1.**, en la que se representan gráficamente P, Evtp y Evtr, surge que para cinco (5) años de los 28 de la serie (1987, 1994, 1999, 2004 y 2008), la Evtp superó las precipitaciones, por lo que el 82% de las precipitaciones anuales genera excesos y verifica la condición **hidrológica húmeda** de la zona. La máxima diferencia entre Evtp y Evtr, es de 190 mm en el año 2008.

Los excesos se representan en la **tabla 9.3.** calculados para diferente Reserva de Agua Útil: 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm. Tal como se observa, el exceso es mayor cuando el índice de retención es menor, o sea es mayor para 150mm. De todos modos es mínima la dispersión entre los excesos obtenidos de los balances para diferentes RAU (150, 200 y 250mm), con un evidente predominio en la serie, del exceso sobre el déficit.

Computados los totales del período considerado, se obtiene: P: 31.125,7mm (100%), Evtr: 23.004,2mm (74%) (Totales de la **tabla 9.2.**) Y resulta de los mismos Ex: 8121,5mm, que *representa un 26% de las precipitaciones*. El promedio anual de excesos es de 290mm.

En la **tabla 9.3.**, el total de excesos calculados para una Reserva de Agua Útil máxima de 200mm, es de 8064,5mm y el promedio resulta de 288mm por año. Los valores extremos observados son de 853,5mm en el año 2000 y 44,9mm en el año 1994. En el orden regional, el volumen de excesos en la totalidad de la superficie de la zona de estudio (5.160km<sup>2</sup>) se transforma en 1486hm<sup>3</sup>/año si se asimila al área de la región, el exceso promedio de 288mm/año de la estación analizada (Lucas González).

En la **tabla 9.4.** (en soporte digital), se desarrollan los balances para la serie de Precipitaciones medias mensuales y Temperaturas medias mensuales de la **Estación Paraná** (1982/2009) y en la **figura 9.2.**, se representa la precipitación, la evapotranspiración real y potencial de la Estación Paraná. En la misma se observa que para nueve (9) años de los 28 de la serie (1987, 1988, 1989, 1994, 1996, 1997, 1999, 2004 y 2008), la Evt<sub>p</sub> superó las precipitaciones, por lo que el 68% de las precipitaciones anuales genera excesos y verifica la **condición hidrológica húmeda** de la zona. La máxima diferencia entre Evt<sub>p</sub> y Evt<sub>r</sub> es de 240mm en el año 2008.

Considerando los totales sintetizados en la **tabla 9.5.** para la misma estación, se tiene P: 30.165,4mm (100%), Evt<sub>r</sub>: 20.156,3mm (67%) y Ex: 10.009,1mm que *representa un 33% de las precipitaciones*. El promedio anual de excesos resulta de 357,5mm. Estos excesos se calcularon restando Evt<sub>r</sub> de P, sin considerar la reserva de agua útil considerada.

Se consignan en la **tabla 9.6.** los excesos calculados para diferentes Reserva de Agua Útil: 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm y 450mm con sus respectivos promedios para la **Estación Paraná**. El total de excesos, para una Reserva de Agua Útil de 200mm, resulta de 6827,3mm, lo que origina un promedio anual de 243,8mm, con extremos de 835,4mm en el año 2000 y 8,5mm en el 1997. En este valor promedio, interviene la RAU elegida y representa el 23% de las precipitaciones.

En función de los valores obtenidos, se evalúa el volumen para la totalidad de la zona de estudio (5.160 km<sup>2</sup>) con la adopción del promedio de excesos que surge de la **tabla 9.6** para la estación analizada (Paraná). Con un exceso de 244mm/año, el volumen resultante será de 1259hm<sup>3</sup>/año, para la región.

Si se promedian las dos estaciones, el exceso anual resulta de 266mm/año y en la totalidad de la superficie (5.160 km<sup>2</sup>) de la zona de estudio, el volumen resulta de 1372,5hm<sup>3</sup>/año. Valor que se encuentra entre el 23% y el 26% del promedio de las precipitaciones.

## 9.2. Infiltración

Para realizar una estimación a nivel global, en la región y determinar la factibilidad de recarga subterránea en la zona de estudio, se analiza el Balance Hídrico Generalizado.

Para determinar la Infiltración, parámetro de la ecuación del ciclo hidrológico (Balance Hídrico Generalizado), adoptamos el promedio de las variables **Evtr** y **P**, obtenidas en el punto anterior para las estaciones Lucas González y Paraná.

Ecuación del ciclo hidrológico (1)  $P = Evtr + Es + I$

De (1) podemos obtener: (2)  $P - Evtr = Es + I = Ex$

**P**: precipitación

**Evtr**: evapotranspiración real

**Es**: escorrentía

**I**: infiltración

**Ex**: exceso

P (Lucas González) = 1112mm (**tabla 9.2.**)

P (Paraná) = 1078mm (**tabla 9.5.**)

**P: 1095mm**

En función de lo expuesto el balance hídrico global se plantea de la forma que sigue, para la totalidad del área de estudio:

	%	mm/a	hm <sup>3</sup> /a
<b>P</b>	100	1095	5.650
<b>Evtr</b>	75	821	4.236
<b>Ex</b>	25	274	1.414

Para estimar la infiltración o factibilidad de recarga del acuífero se necesita conocer el escurrimiento superficial o escorrentía (Es).

$$I = Ex - Es \quad (3)$$

La información disponible de aforos realizados en los ríos y arroyos del área de estudio, es escasa. Se dispone de una serie de caudales medidos en el arroyo Nogoyá, en la estación de aforo ubicada en la Ruta Provincial N° 11, localizada al sur de la zona de estudio. El 63% de la superficie del área de estudio, pertenece a la cuenca de aporte del arroyo Nogoyá. En la **tabla 9.7.** se detalla la información correspondiente a la serie (1990 /2009) factible de comparar con la serie de precipitaciones disponibles. De la tabla mencionada se utilizará la serie (1993 /2009) en correspondencia con la serie disponible del río Gualeguay.

Se dispone también de una serie de mediciones de caudal del río Gualeguay (1993 /2009), efectuadas en Rosario del Tala, Ruta Provincial N° 39, las que se detallan en **tabla 9.8.** Un sector de la superficie de su cuenca de aporte forma parte de la zona de estudio, el resto de la superficie se ubica al norte y oeste de la región considerada.

Si bien esta información de caudales no es suficiente para determinar un valor confiable del escurrimiento superficial en el área, la misma posibilita inferir un valor de escorrentía y estimar la **Infiltración**, parámetro de la ecuación del Ciclo Hidrológico.

En la **tabla 9.9.** se indican los índices de escorrentía (Es/P) del arroyo Nogoyá obtenidos de la comparación del caudal con la lluvia mensual promedio de las estaciones consideradas en la región. En función de la comparación, la extensión de la serie es de 15 años, en coincidencia con la serie de las precipitaciones. Al evaluar los índices promedio de escorrentía del arroyo Nogoyá, se observa la variación de los mismos entre el 5% en el año 2008, y el 28% en los años 1998, 2001 y 2003. La escorrentía promedio resulta del 17% para la serie considerada.

En **la tabla 9.10.** se indican los índices de escorrentía (Es/P) del Río Gualeguay, obtenidos de la comparación del caudal con la lluvia mensual promedio de las estaciones consideradas en la región. Al evaluar los índices promedio de escorrentía, se observa la variación de los mismos entre el 5% para el año 1997, y el 37% en el año 2002. La escorrentía promedio resulta del 19% al tomar los años de la serie analizados. Para estimar un valor medio regional del índice de escurrimiento, se observa que el promedio de los índices medios determinados alcanza el 18%.

Se adopta como índice de escorrentía 18% teniendo en cuenta las condiciones y valores antes expuestos. Con este valor y los consignados en el cuadro anterior, el balance hídrico global se resolvería como sigue:

$$P (100\%) = Evtr (75\%) + Es (18\%) + I (7\%)$$

A partir de los porcentajes de la expresión anterior, a nivel global, se considera factible que se produzca la recarga del acuífero y **se estima la infiltración en el 7% (siete por ciento) de la lluvia media anual.**

Para la totalidad de la zona de estudio resulta **(tabla 9.11.):**

	%	mm/a	hm <sup>3</sup> /a
<b>P</b>	100	1095	5.650
<b>Evtr</b>	75	821	4.236
<b>Es</b>	18	197	1.016
<b>I</b>	7	77	398

**tabla 9.11.**

## **10. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA**

La geología a la que se hace referencia en este capítulo se confecciona con información antecedente de varios autores que son citados a lo largo de las descripciones y en las referencias bibliográficas. Un capítulo más amplio se desarrollará para el Alcance II por lo cual aquí se describirán las formaciones que se sitúan en los primeros 100 a 150 m de la parte superior de la columna estratigráfica y que tienen significación hidrogeológica a los objetivos de este Alcance.

Confeccionados dos perfiles geológicos que atraviesan el área (figura 10.1.) en los mismos puede observarse la cubierta cuaternaria (Formación Tezanos Pinto, Formación Alvear y Formación Hernandarias), superpuesta a las Formaciones Ituzaingó (Plio-Pleistoceno) y Paraná (Mioceno), que son de nuestro interés hidrogeológico ya que las mismas alojan los acuíferos explotados en el área para consumo humano, uso industrial y en muy poca medida para riego.

### **10.1. ESTRATIGRAFÍA**

#### **10.1.1. Formación Paraná (Mioceno superior – Plioceno medio)**

Depositada a fines del Mioceno superior por una ingresión marina que se produjo desde el NE de la Patagonia y cubrió parte de las provincias de: Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones y parte de Uruguay y Paraguay. El “Mar Paranense”, dio lugar a cuatro asociaciones sedimentarias: 1) arcillas verdes identificatorias de facies profundas (Formación Paraná); 2) areniscas y arenas deltaicas de cuño litoral y/o regresivo (Formación Mesopotamia); areniscas verdosas y grisáceas con intercalaciones calcáreas y fosilíferas y depósitos carbonáticos litorales y costaneros (Formación Entre Ríos) y 4) bancos de yeso regresivos y litorales, sin denominación formal. (Camacho, 1967).

Está compuesta por arcillitas gris verdosas, oscuras, poco micáceas, algo calcáreas, compactas, que suelen contener yeso, restos carbonosos, intercalaciones tobáceas y abundante contenido fosilífero. Mediante análisis sedimentológicos y

evidencias faunística, se determinó un ambiente de depositación nerítico proximal (Iriondo, 1973).

Acumulaciones marinas someras y litorales distinguen a la Formación Paraná, en una faja de 70 Km. de ancho extendida a la vera del río homónimo, desde la ciudad de Corrientes hasta la ciudad de Victoria en Entre Ríos. (Herbst, 1985). En el pozo YPF Nogoyá 1 el tramo entre 90 y 190 m b.b.d.p. podría ser atribuido a la Formación Paraná (aún sin confirmar). Es probable que en la perforación DGMG Gualeguay 4, el espesor de 194,5 m comprendido entre 95 y 289,5 m b.b.d.p corresponda también a la Formación Paraná. En la perforación Villa Elisa 1, la Formación Paraná registró un espesor de 145 m (entre 110 y 255 m) La Formación Paraná está separada de la Formación Ituzaingó que se le superpone, por una discordancia erosiva.

Un aspecto a considerar es la relación de contacto entre las Formaciones Paraná e Ituzaingó **en nuestra región de estudio**. Ambas presentan sus respectivos techos en un mismo rango hipsométrico (alrededor de cota 37 / 40 m s.n.m.), producto, según autores (**Iriondo, M.**) de un período caracterizado por un clima árido que **“niveló”** el techo de ambas formaciones en el **Pleistoceno temprano**. Ese pase “lateral” de Fm Ituzaingó a Fm Paraná, de difícil identificación por la insuficiente información de subsuelo, hará que nombremos al acuífero en las áreas indefinidas, como Acuífero Ituzaingó - Paraná. Algunos autores, también sostienen que es difícil definir muchas veces el pase vertical. Desde la ciudad de Paraná hasta la Paz, se lo ha ubicado tentativamente entre cotas 5 y 10 m (J.A.Sanguinetti, A y E E - Proyecto Paraná Medio, 1981). Solamente cuando la Formación Paraná queda comprobada por sus niveles fosilíferos es posible acotar el pase ó también cuando es visible **un conglomerado arcilloso “basal” de Fm Ituzaingó**, situaciones que son muy escasas y puntuales a lo largo de las barrancas del Paraná. A través de las muestras de perforaciones la identificación es posible por los niveles fosilíferos ó por cambios en la granulometría de las arenas que son más finas y de tonos más claros en Fm Paraná, pudiendo presentarse también, ligeramente cementadas. Otra guía de identificación son los tonos amarillentos y ocres, característicos de la Fm Ituzaingó y los tonos verdosos oscuros y hasta azulados en las intercalaciones arcillosas de Fm Paraná. (Sanguinetti, J. 1998).



### **10.1.2. Formación Ituzaingó (Plioceno – Pleistoceno Inferior)**

“Aflora en la barranca izquierda del río Paraná, desde el N de Corrientes hasta la ciudad de Paraná, desde allí hacia el S no se la encuentra en Entre Ríos. Aflora también en los valles afluentes del Paraná, por debajo de cota 40 m. Está formada por arenas ocráceas, blancas, rojizas...” (Iriondo, 1980) con intercalaciones pelíticas de tonos verdosos y grises. “El tamaño del grano disminuye de NE a SW, la estratificación es entrecruzada planar en la base, pasando hacia arriba a un régimen de mayor divagación” (Iriondo, 1980). Su composición mineralógica es predominantemente cuarzosa con cantidades menores de feldespatos, micas, magnetita y otros máficos. Esta unidad presenta diversos grados de compactación, desde totalmente suelta a medianamente friable, hasta sumamente dura debido a la infiltración de óxidos e hidróxidos de hierro y también sílice. “Un rasgo de importancia considerable en la interpretación geológica regional es el origen del pigmento férrico que tiñe de ocre y rojo a esta formación. Se observa en los afloramientos que los estratos superiores son los más fuertemente coloreados, decolorándose hacia abajo hasta aparecer arenas blancas en la base. El pigmento es visiblemente epigenético, pues en muchos sitios presenta zonación discordante con la estratificación. Este fenómeno de introducción epigenética de óxidos, de extensión regional, ha de haberse producido durante una etapa climática definitivamente cálida y húmeda, con movilización general de sesquióxidos. El espesor máximo de esta formación, fue registrado en Corrientes con 150 m, disminuyendo hacia el sur hasta llegar a 8 -10 m en las cercanías de Paraná. “(Iriondo, 1980). “Se trata de una formación típicamente fluvial, depositada por el río Paraná, en condiciones probablemente similares a las actuales durante un cierto tiempo (estratificación planar), evolucionando luego hacia un régimen de menor competencia hacia el tope. Actualmente hay una tendencia bastante consistente de considerar a esta formación de edad Pliocena-Pleistocena Inferior”. (Iriondo, 1980)

La Formación Puelches es el equivalente en el subsuelo chaco - santafesino.

### 10.1.2.1. HIDROGEOLOGIA

Desde el punto de vista hidrogeológico esta formación aloja el acuífero más importante de la provincia de Entre Ríos, utilizado para la provisión de agua potable, uso industrial y riego ***entre el límite interprovincial con Corrientes, hasta prácticamente la latitud de la ciudad de Paraná, de N a S y desde el río Paraná, hasta el río Gualeguay de O a E***, concluyéndose que en todo este sector, el agua subterránea se extrae en un 90 % de pozos perforados que alcanzan el Acuífero. Ituzaingó se encuentra cubierta por loess, arcillas y limos de las Formaciones sobrepuestas (Tezanos Pinto, Hernandarias), en espesores que varían entre 10 y 15 m (cuenca del arroyo Feliciano, cuenca de otros arroyos menores) y hasta 40 m en sectores topográficamente elevados (80–90 m IGN) Este paquete superior, le confiere características de semiconfinamiento.

La profundidad de los pozos que llegan a las arenas acuíferas de Ituzaingó varían desde 16 m en las cercanías de la cabecera del arroyo Feliciano, hasta 120 m en pozos de extracción para abasto urbano en las localidades ubicadas en cotas de 90 a 115 m IGN.

En la mayoría del sector mencionado los niveles piezométricos están elevados por sobre el techo del acuífero. Estos niveles, se encuentran muy próximos a la superficie en las cercanías de los cursos de aguas superficiales, y registran mayor profundidad en sitios topográficamente elevados. Registran también, una mayor profundidad, en correspondencia con grandes las divisorias de aguas superficiales (Cuchillas).

Los valores más elevados de cota hidráulica (referidas al 0 IGN) se encuentran en la alta cuenca del arroyo Feliciano (65 m IGN), entre las localidades de San Jaime de la Frontera y San José de Feliciano, descendiendo en dirección NE - SW (en coincidencia con la dirección de flujo del arroyo Feliciano y sus afluentes), hasta 15 m IGN de cota hidráulica en las cercanías del río Paraná, antes de la desembocadura del arroyo mencionado.

Al Sur de la cuenca del arroyo Feliciano, y hasta la ruta Nacional N° 18, se extiende, con rumbo N-S la divisoria más importante de aguas superficiales. Subterráneamente, los valores de cota hidráulica se encuentran entre 40 y 45 m IGN. En coincidencia con las descargas superficiales, el sector al W de la mencionada divisoria descarga hacia el río Paraná hasta alcanzar un valor de cota hidráulica de 12 m IGN (ciudad de Paraná). Al Este de la divisoria, la descarga subterránea se produce en coincidencia con los afluentes que descargan al río Gualeguay, aunque su valor de cota hidráulica se mantiene entre 35 a 40 m IGN. Esta descripción revela, la gran influencia de la geología y la morfología en la hidrología de superficie y la hidrología subterránea.

El agua del acuífero en toda esta región es de buena a media calidad para consumo y riego (aunque muy poco uso tiene en este sentido). Encontramos sitios con valores de residuo mayores de 2.000 y hasta 5.000 mg/l (límite máximo 1.500 mg/l Código Alimentario Argentino para consumo), y de sulfatos de hasta más de 600 mg/l (límite máximo 400 mg/l Código Alimentario Argentino para consumo). Estos sectores, coinciden con las zonas donde los estratos de la Formación Hernandarias, superpuesta al acuífero, contienen grandes cantidades de yeso (localidad de Piedras Blancas, San Víctor, Yeso, Banderitas, sur de la cuenca media del arroyo Feliciano). Los valores de dureza también son elevados en estos lugares, superando los 400 mg/l, y registrando hasta 1.400 mg/l. Otras áreas donde la calidad del agua se ve afectada por valores de residuo elevados (mayores de 2.000 mg/l) es en las inmediaciones de las localidades de Alcaraz, Conscripto Bernardi, Sauce de Luna, Mojones Sur y al sur de los arroyos Moreyra y El Tigre, al oeste del departamento Villaguay.

El catión más concentrado en todos estos sectores, en coincidencia con la alta concentración de sulfatos, es el sodio, y si bien no hay norma limitante en el Código Alimentario Argentino para el mismo, los valores son superiores a 600 mg/l.

En 56 (de 220 muestras de agua) analizadas en el Acuífero Ituzaingó se detectaron valores de arsénico por encima de 0.05 mg/l (límite del Código Alimentario Argentino para consumo). **(Estudio de Aguas Subterráneas Etapa III. Consejo Federal de Inversiones-Dirección de Hidráulica, 2000).**

### **10.1.3. Formación Alvear (Ensenadense – Pleistoceno inferior)**

Se presenta casi en forma continua en la barranca del Paraná, desde la entrada del arroyo Nogoyá en el delta, hasta La Paz, a casi 300 Km. de distancia, observándose una disminución paulatina de su espesor y un enriquecimiento correlativo de su componente químico (carbonato de calcio). Este carbonato pasa a constituir una verdadera caliza y finalmente, a la altura de La Paz, deja de ocupar un volumen propio sobre la Formación Ituzaingó y se presenta solo como cemento calcáreo impregnando la parte superior de esa unidad. El perfil tipo se encuentra en Alvear a 15 Km. al S de la ciudad de Paraná. Se le atribuye a esta unidad un origen básicamente palustre. La Formación Alvear es de edad “ensenadense” (Iriondo, 1980).

### **10.1.4. Formación Hernandarias (Pleistoceno Inferior)**

Esta unidad descrita por Iriondo (2002-2008), representa un antiguo barreal depositado por el río Uruguay durante un período muy seco del Pleistoceno Inferior, con aportes eólicos menores. La formación cubre gran parte de la provincia de Entre Ríos y el sur de la de Corrientes, aflorando en un área de 61.000 Km<sup>2</sup> (Iriondo, 1989). Su espesor es variable, en algunas canteras de la zona de Hernandarias se ha excavado hasta 15 m de profundidad; en la barranca del Paraná, aflora generalmente con un espesor de 4 a 8 m. Su potencia típica en el interior de Entre Ríos varía entre 20 y 40 m.

Los aportes del río Uruguay están formados principalmente por montmorillonita proveniente de la alteración de los basaltos de la alta cuenca, y arena muy fina derivada de la destrucción de areniscas cretácicas, aflorantes aguas arriba.

El perfil típico de la formación se ubica en la localidad del mismo nombre. La unidad es una secuencia sedimentaria de grano fino, con predominio de la fracción limo. Los colores típicos son el gris oliva y el marrón claro. Está organizada en estratos gruesos. El sedimento es muy plástico y cohesivo en los estratos inferiores,

más pulverulento y friable hacia el techo de la unidad. Contiene rosetas y placas de yeso en todo su espesor, especialmente hacia la base, y carbonato de calcio con concreciones y acumulaciones pulverulentas de varios centímetros de diámetro. Las concreciones son más importantes en la mitad superior de la unidad. También incluye concreciones y manchas negras pequeñas de minerales de manganeso, distribuidas de manera heterogénea. Dichos complejos de manganeso incluyen importantes proporciones de hierro.

Esta formación aflora en la barranca de la margen izquierda del río Paraná, a lo largo de 150 Km. de longitud entre las ciudades de La Paz y Paraná. Hacia el este ha sido erosionada por acción fluvial. (Iriondo, Kröhling, 2008).

Desde el punto de vista hidrogeológico se comporta como un acuitardo. En sectores topográficamente elevados del departamento Nogoyá (cotas 66 a 105 m IGN) nos encontramos con niveles de agua a una profundidad de más de 5 y hasta 15 metros en la Formación Hernandarias. Son niveles de los cuales se extraen bajos caudales pero que tienen una gran presencia desde el punto de vista de su utilidad para consumo humano y abrevado de ganado en áreas rurales. (Santi M. – Aguas Subterráneas del Departamento Nogoyá – Carta de Suelos de la República Argentina INTA, 2001).

#### **10.1.5. Formación Tezanos Pinto (Bonaerense – Pleistoceno superior)**

Se extiende en el SW de Entre Ríos entre la llanura aluvial del Paraná y el arroyo Nogoyá, cubriendo el relieve en forma de manto de 2 a 3 m de espesor. Hacia el E fue parcialmente erodada, presentándose solo en las partes más altas del relieve, hasta cerca del río Gualeguay. Desde Paraná hacia el N aparece como una capa de 1 a 1,5 m de espesor cubriendo una faja de 5 a 10 Km. de ancho hasta cerca de La Paz; hacia el E se presenta el mismo fenómeno de erosión parcial y remanentes en las lomas.” “Esta formación fue originada por sedimentación de partículas finas transportadas en suspensión por el viento en una época de clima árido a semiárido. Cubre en forma de manto las irregularidades preexistentes del paisaje. Se depositó en el bonaerense”. (Iriondo, 1980).

En el contacto Tezanos Pinto - Hernandarias a una profundidad aproximada de no más de 4 a 5 metros, suele acumularse agua. Esto, en la margen izquierda (barrancas) del río Paraná produce innumerables problemas de deslizamiento.

## 10.2. PERFILES GEOLOGICOS

Hasta el momento la distribución de las Formaciones Paraná e Ituzaingó se encuentran en el subsuelo como fueron graficadas en los dos perfiles geológicos confeccionados a tal fin con los antecedentes presentados en el punto **4.2. Perforaciones**. El **Perfil N° 1 Puerto Victoria – Villa Clara**, atraviesa la región estudiada de SW a NE y el **Perfil N° 2 Aranguren – Villa Mantero**, cruza la zona con un rumbo aproximado W – E (**figura 10.1.**) En ambos perfiles puede observarse que el subsuelo del área (cuyo límite este es el río Gualeguay) está ocupado en gran parte por la Formación Paraná.

Como fuera mencionado en párrafos anteriores, el pasaje lateral entre las Formaciones Ituzaingó y Paraná aún no se conoce con precisión. Los perfiles geológicos confeccionados para este estudio como así también para estudios hidrogeológicos anteriores, se elaboran a partir de datos de perforaciones realizadas por entes públicos o privados. En la mayoría de las descripciones (si dejan constancia ya que muchas veces no se documenta), no consta una información confiable, de detalle, en relación a la profundidad a la que han sido atravesados los distintos estratos. La descripción litológica, si la hubiera, es insuficiente o incompleta.

La Ley Provincial de Aguas 9.172/98, deberá reglamentar en un futuro próximo el agua subterránea. Lo primero a tener en cuenta será realizar un registro de perforistas y de equipos de perforación calificados para realizar una obra hidráulica como es una perforación. Lo segundo, es que el estado a través de profesionales calificados a tal fin, deberá realizar el control y la inspección de la obra. Atendiendo a esta situación, y en relación a la geología de subsuelo, dejamos abierta la posibilidad de que a medida que mejore la calidad de la información, modifiquemos la ya confeccionada, obteniendo cada vez más, una mejor precisión no solo en lo relacionado al límite Ituzaingó-Paraná, sino también a la descripción ajustada y detallada de todos los estratos atravesados.

## **11. AGUAS SUPERFICIALES**

Las principales cuencas hidrográficas de la zona de estudio son, la del arroyo Nogoyá en el sector ubicado al oeste de la misma y la cuenca del río Gualeguay en el sector este del área de estudio. Ambos cursos de agua desembocan en el río Paraná.

### **11.1. Cuenca del río Paraná**

Este río, el más importante de la Mesopotamia, nace en Brasil y desemboca en el río de La Plata. Ocupa, con sus tributarios y el delta, una superficie de 66.460 km<sup>2</sup> en la provincia de Entre Ríos. El módulo medio es de 13.700 m<sup>3</sup>/seg. (DHER) Actúa como efluente, constituyendo una de las vías de descarga natural de los principales acuíferos de la provincia de Entre Ríos.

Dentro del ámbito de estudio, los principales tributarios del río Paraná son: el río Gualeguay y el arroyo Nogoyá. En ambos cursos de agua la dirección general es N-S.

En el área de estudio, en el sector noroeste se encuentran las nacientes del arroyo Quebracho, afluente del arroyo Las Conchas; y en el sector sureste se distinguen las nacientes del arroyo Clé. Tanto las Conchas como el Clé son tributarios del río Paraná. El arroyo Clé desemboca junto al río Gualeguay en el Paraná Pavón.

#### **11.1.1. Río Gualeguay**

Es el río interior más grande de la provincia, su cuenca ocupa una superficie de 21.536,6 Km<sup>2</sup>. Mediciones de aforo realizadas en distintas secciones del río, dan un caudal máximo de 3.500 m<sup>3</sup>/s y un mínimo de 14 m<sup>3</sup>/s (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos). El sentido de escurrimiento es N-S. Nace en la confluencia de las Cuchillas Grande y de Montiel, a cota 75 m IGN, en el sector denominado “bañados de altura”, superficie que comparte al noreste de la Provincia, con las nacientes del arroyo Feliciano. El río Gualeguay desemboca en el río Paraná Pavón a cota IGN 3

m. La longitud total del cauce es de 857 Km. La pendiente media del curso principal es de 0,07 m/Km. La pendiente media de la cuenca es de 6,68 m/Km. (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos)

Del total del área de estudio, 2.000 Km<sup>2</sup> pertenecen a la cuenca del río Gualeguay. Los afluentes principales de la margen derecha y de norte a sur son: arroyo Raíces, con nacientes en cota IGN 82 m y desembocadura en cota IGN 34 m; arroyo Altamirano, con nacientes en cota IGN 70 m y desembocadura en cota IGN 32 m; arroyo Obispo con nacientes en cota IGN 83 m y desembocadura en cota IGN 29 m y arroyo Tala con nacientes en cota IGN 70 m y desembocadura en cota IGN 27 m.

Otros arroyos que tienen sus nacientes en el sector norte del área de estudio son: el arroyo Moreyra y arroyo El Tigresito, ambos, afluentes del arroyo El Tigre.

#### **11.1.2. Arroyo Nogoyá**

Es uno de los cursos más importantes del interior de la provincia. Su cuenca ocupa una superficie de 3.889,7 Km<sup>2</sup>. Tiene 164 Km. de longitud, con 72 Km. dentro del área estudiada. Sus nacientes se ubican en cota IGN 110 m y desemboca a cota IGN 5,5 m en el río Paraná. Tiene una cota IGN de 35 m en el límite sur del área de estudio y una pendiente media de 1,2 m/Km. El caudal medio mensual máximo registrado es de 338,3 m<sup>3</sup>/s (mayo/1998) y el mínimo de 1,55 m<sup>3</sup>/s (abril/2008). **(tabla 4.5.)**

El mayor afluente que tiene el Nogoyá, es el arroyo Don Cristóbal, con una extensión de 57 Km. Nace en cota IGN 110 m y desemboca en cota IGN 40 (al norte de la ruta nacional 12, límite sur del área estudiada).

#### **11.1.3. Arroyo Clé**

Este arroyo tiene sus nacientes dentro del área de estudio. Desciende en forma paralela al río Gualeguay (de N a S) y desemboca junto a éste en el río Paraná Pavón a cota IGN 3 m. Sus nacientes se encuentran en cota IGN 80 m. El



recorrido total es de 120 Km. de los cuales 6 Km., se encuentran dentro de la zona de estudio (límite sur).

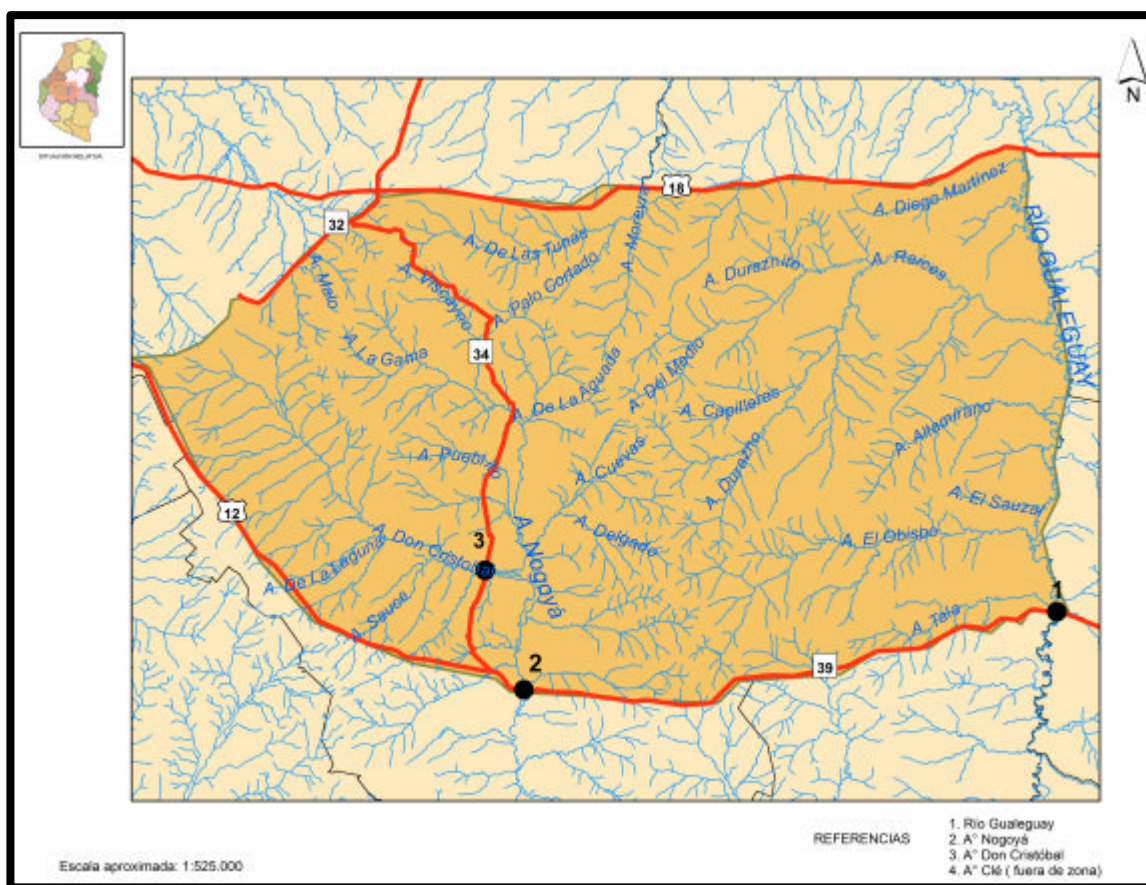


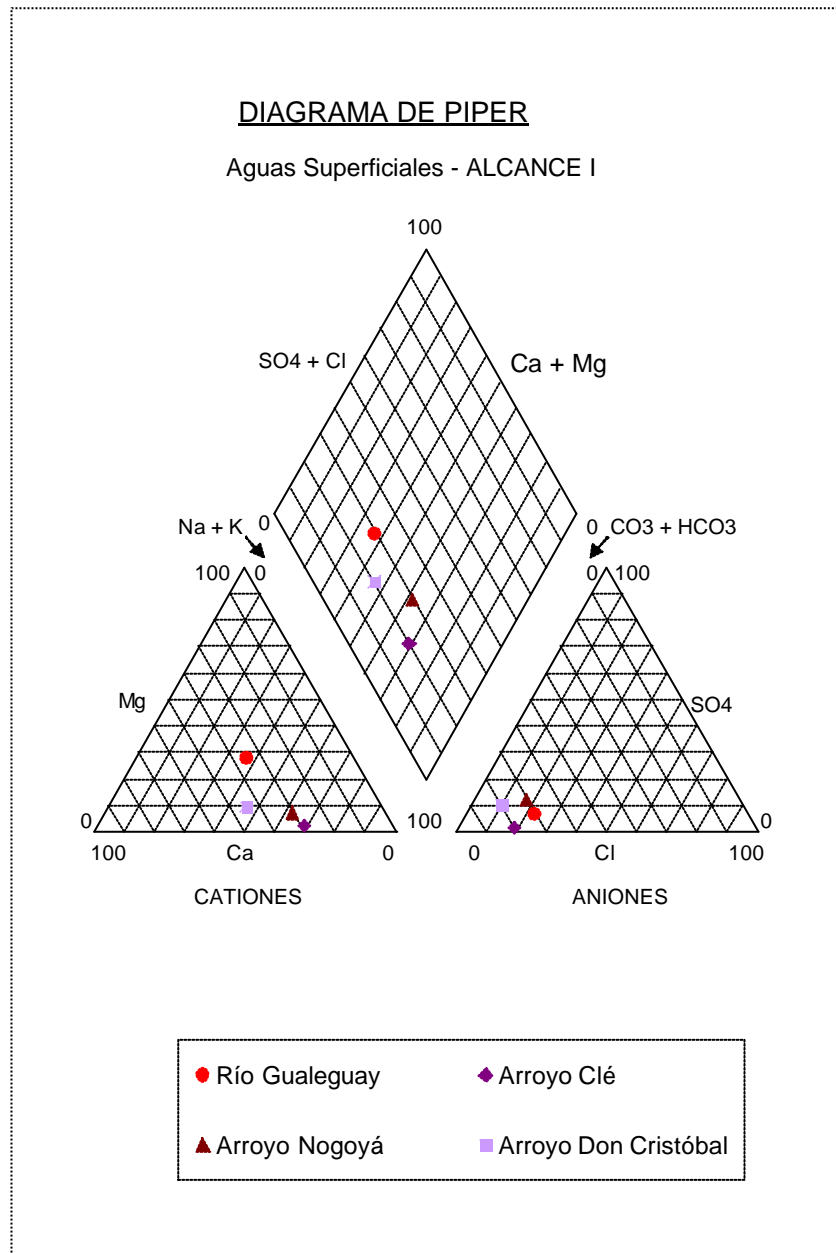
figura 11.1.

### 11.2. Análisis químicos

Se realizaron 4 (cuatro) análisis de aguas superficiales, con el objetivo de obtener una orientación acerca de la composición química del agua superficial de la región. Los ríos y arroyos muestreados son: río Gualeguay, arroyo Nogoyá en el cruce de los puentes sobre la ruta provincial N° 39, el arroyo Don Cristóbal en el puente de la ruta Provincial N° 34 entre las localidades de Nogoyá y El Pueblito (**figura 11.1.**) y arroyo Clé (sus cabeceras se encuentran en el área de estudio), cuya muestra se extrajo fuera del área, en el cruce del puente sobre la ruta provincial N° 11 y. De los resultados no se desprenden diferencias significativas. (**tabla 11.1.**)

### 11.2.1. Representación gráfica de las características químicas

Las representaciones gráficas de los análisis químicos, tienen por objeto resaltar la composición iónica de un agua. Son diagramas que sirven para hacer comparaciones entre varios análisis de agua de un mismo lugar en épocas diferentes, o de diferentes lugares. En la **figura 11.2.** aplicando el método desarrollado por Piper (1944) puede observarse la clasificación de las aguas:



**figura 11.2.**

**Río Gualeguay** - Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

**Arroyo Don Cristóbal** - Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

**Arroyo Nogoyá** - Bicarbonatadas sódicas.

**Arroyo Clé** - Bicarbonatadas sódicas.

Como conclusión puede decirse que, en las aguas superficiales de la zona estudiada, entre los aniones predomina en un 100 % el  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y entre los cationes el primer lugar lo ocupa el  $\text{Na}^{++}$  y el  $\text{Ca}^+$  y subordinados a éstos están el  $\text{Mg}^{++}$  y el  $\text{K}^+$ .

### 11.2.2. Aptitud de Agua para riego.

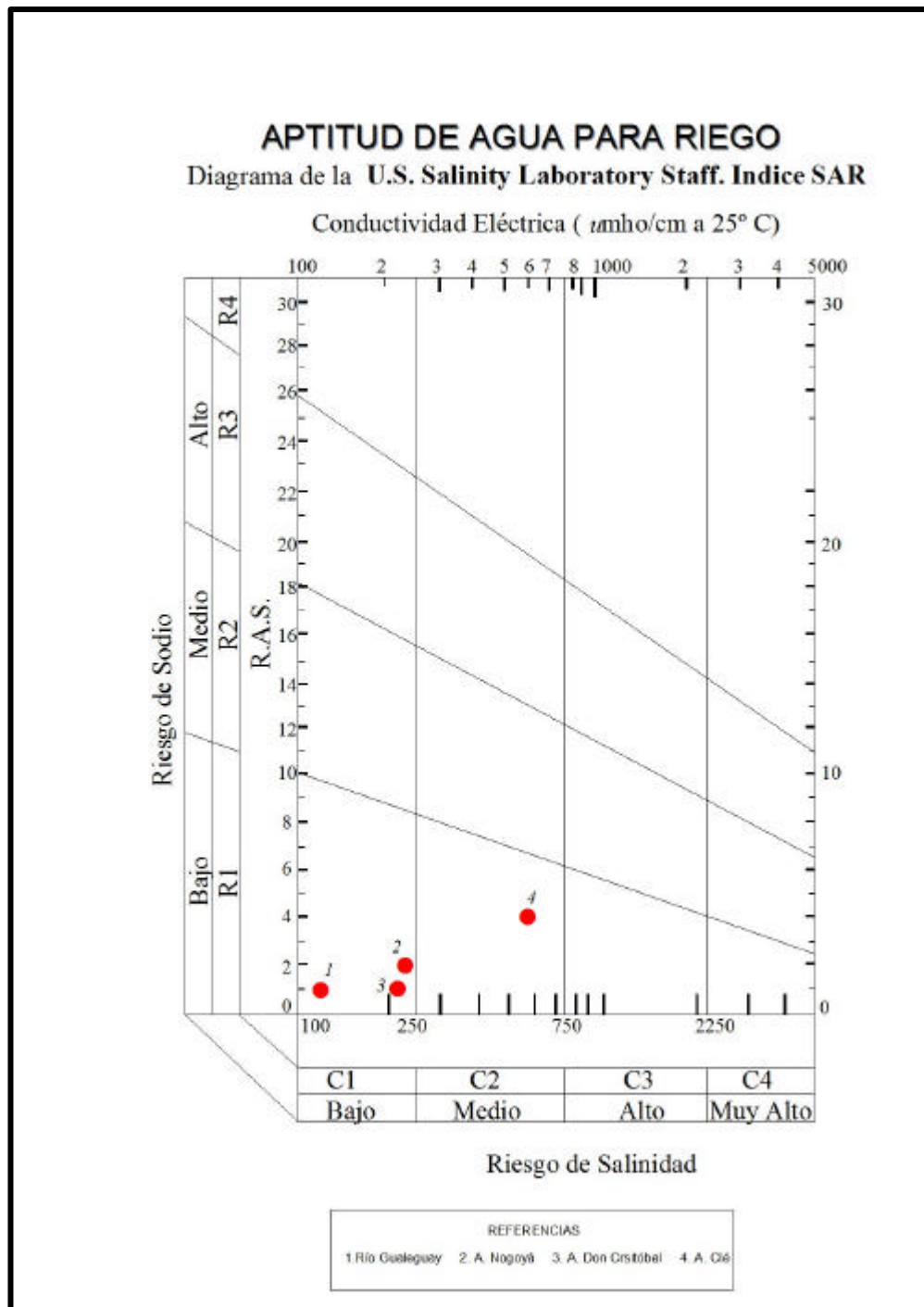
La aptitud de agua para riego se estimó en base al Diagrama de la *U. S. Salinity Laboratory Staff, Índice SAR (1954)* basado en la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a 25 °C versus la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, denominada índice SAR (Razón Adsorción Sodio). Las representaciones gráficas de las 4 (cuatro) muestras se pueden ver en la **figura 11.3.**, clasificando el río Gualeguay, los arroyos Nogoyá y Don Cristóbal como C1 – R1, y el arroyo Clé como C2 – R1, significando:

C1 - Agua de baja salinidad. Puede usarse para la mayor parte de todos los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra con el riego, excepto en suelos de baja permeabilidad.

C2 - Agua de salinidad media. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, plantas moderadamente tolerantes a las sales.

R1 - Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable.

Los análisis tienen por finalidad brindar un panorama orientativo sobre la composición química del agua superficial de la región. Se destacan por sus menores concentraciones salinas las aguas del río Gualeguay y el arroyo Nogoyá.



**figura 11.3.**

### 11.3. Aptitud de agua para consumo

Los valores de las determinaciones químicas de los análisis de las aguas superficiales, están dentro de los límites establecidos por las normas del Código Alimentario Argentino para agua potable. **(tabla 4.8.)**

## **12. AGUAS SUBTERRÁNEAS**

### **12.1. Censo hidrogeológico**

En esta tarea, el objetivo fundamental fue relevar información del recurso hídrico subterráneo a escala 1:100.000 en un ámbito de 5.610 Km<sup>2</sup>. El censo de fuentes, constó de 98 fuentes medidas y muestreadas.

A los fines de solapar con las áreas lindantes al sector en estudio, se recensaron 29 (veintinueve fuentes) correspondientes a Etapas estudiadas anteriormente. Los pozos antecedentes fueron denominados con un número acompañado por letras (abreviatura según la zona en la que fueran relevados originalmente). Para los pozos correspondientes al “Estudio de Agua Subterránea – Etapa III” – Convenio Provincia de Entre Ríos – C.F.I. - Sanguinetti J., Santi M., Casa H. (2000), se utilizó la abreviatura **ETA III**; para los del estudio “Disponibilidad de Agua Subterránea para la producción arrocerá de la Provincia de Entre Ríos” – Etapa I: Inventario a Escala de reconocimiento – Convenio Provincia de Entre Ríos – C.F.I. - Autor Auge M., Coautor Santi M., (2002), **ZA** y finalmente para el “Estudio de Agua Subterránea en el Sudoeste de la Provincia de Entre Ríos. Convenio Provincia de Entre Ríos – C.F.I. - Autor: Santi M., (2002), **SW**. Los datos pueden observarse en la **tabla 4.7**.

Para tomar las medidas de los pozos se utilizó una sonda con sensor eléctrico con la que se midieron: profundidad del nivel de agua, profundidad de la bomba o cilindro, profundidad del fondo del pozo (en algunos lugares fue imposible medirlo debido a que el sensor de la sonda no pasa por el espacio anular entre la cañería y el sistema de extracción). Se tomaron medidas de diámetro de la boca de pozo, altura de la boca y diámetro de la cañería de impulsión. Los pozos fueron discriminados en cavados y perforados. Distinguimos sistemas de extracción de agua y usos a la que se destina cada fuente censada. Se tomaron los datos del propietario y la dirección. Se extrajeron dos muestras de agua por cada pozo censado, tomándose in situ conductividad, temperatura y pH.

En las **tabla 12.1. (soporte digital)** se puede observar la información para cada pozo censado. Ochenta y seis (87) fuentes fueron relevadas en las Formaciones Acuíferas Ituzaingó/Paraná (acuífero) y veinte (20) fuentes en la cubierta Cuaternaria (acuitardo sobrepuesto al acuífero). La densidad final de censo para la zona de estudio y el acuífero Ituzaingó/Paraná, interés de este estudio fue de 1 (un pozo), cada 65Km<sup>2</sup>.

En las **tabla 12.1.2.** se observan los valores promedios, máximos y mínimos de los datos de censo relevados en el acuífero Paraná/Ituzaingó.

	<b>Cota topog.</b>	<b>Prof. nivel hidráulico</b>	<b>Cota hidráulica</b>
	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
<b>PROMEDIO</b>	72	27,17	46
<b>MÁXIMO</b>	115	54,80	63,5
<b>MÍNIMO</b>	38	1,85	36

**tabla 12.1.2.**

La coordenada Z (cota topográfica del pozo censado) se calculó mediante el método de interpolación entre curvas de nivel. La equidistancia entre curvas en las cartas IGN utilizadas en el área es de 5 m para las hojas IGN escala 1:100.000 y de 2,5 m para las hojas IGN escala 1:50.000, utilizándose con preferencia estas últimas para obtener una mejor aproximación

## **12.2. Red de flujo**

Con la finalidad de construir la red de flujo, los pozos censados en el acuífero Ituzaingó/Paraná, cuyas coordenadas X – Y, se levantaron con GPS, fueron ubicados en el layer waypoints en la Base cartográfica del área (**MAPA 1**).

Con los valores de cota hidráulica (cota topográfica del lugar menos el nivel estático) de cada pozo censado en el Acuífero Ituzaingó-Paraná se construyó la **RED DE FLUJO SUBTERRÁNEO (MAPA 2)** con curvas equidistantes 5 m. En el trazado de las curvas no se tuvo en cuenta el valor de cota hidráulica de los pozos

Nº 15, 24, 25, 27, 40, 44, 45, 46, 47, 67, 69, 74, 77, 78, 87, 89, 95, 102, y 105, por encontrarse sus niveles en la cubierta Cuaternaria superpuesta al acuífero.

De la observación de la Red surgen dos áreas netamente separadas por una divisoria subterránea que atraviesa la zona de estudio en diagonal (por el centro), con orientación NW - SE. Las dos áreas que quedan separadas por esta divisoria subterránea, regional, contienen las aguas subterráneas que descargan al arroyo Nogoyá y al río Gualeguay. Tres divisorias menores atraviesan estos dos sectores. Una, al W de la zona de estudio, paralela y distante 6 a 10 km al E de la ruta provincial Nº 32. Y otras dos, en el sector E - una, parte entre las localidades de Gobernador Sola y Maciá, hacia el N, siguiendo prácticamente la línea del ferrocarril hasta la localidad de Raíces. La otra, parte del centro de la zona de estudio, pasa por Almacén Iglesias y continúa hasta la localidad de Raíces. Estas tres últimas divisorias son de significación local, debiendo comprobarse su influencia a nivel regional según su correspondencia con un contexto más amplio que el de la zona estudiada.

El escurrimiento subterráneo en la mitad W de la zona de estudio se realiza en varias direcciones: NW-SE en coincidencia con uno de los tributarios más importantes del arroyo Nogoyá, el Don Cristóbal, NE-SW, en correspondencia con afluentes menores del Nogoyá, y N - S en correspondencia con la descarga superficial del Nogoyá.

El escurrimiento subterráneo en la mitad E de la zona de estudio se realiza en dirección W-E desde la divisoria que coincide con la línea de ferrocarril Gobernador Sola, Maciá, Guardamonte, Raíces) hacia el río Gualeguay. Otra línea de escurrimiento subterráneo arranca con rumbo N, siguiendo las nacientes del arroyo Raíces, para terminar descargando en sentido W – E en el río Gualeguay.

Los valores de cota hidráulica más elevados (hasta 60 m IGN) se observan en las áreas topográficas más elevadas (localidades de Crespo, Camps, Villa General Ramírez, Aranguren). La cota hidráulica más baja es la equipotencial de 25 m IGN y se encuentra en el borde E del área, manteniendo prácticamente un paralelismo con el río Gualeguay.

Para toda el área investigada, al igual que en otras regiones de Entre Ríos, se observa una correspondencia entre morfología y flujos superficial y subterráneo.

### 12.3. Ejecución de análisis químicos

Se realizaron 98 (noventa y ocho) análisis químicos y se agregaron 8 (ocho), análisis antecedentes. Las determinaciones para todos los puntos fueron: pH, conductividad, residuo seco, alcalinidad total, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, sodio, potasio, calcio y magnesio.

Se determinaron en 36 (treinta y seis) muestras y se agregaron antecedentes de 8 (ocho) análisis de: hierro, arsénico y flúor. Los pozos elegidos para la ejecución de estos cationes fueron prioritariamente, los pozos que proveen agua a comunidades (municipios, juntas de gobierno, cooperativas de agua y escuelas) y 2 (dos) análisis de boro en pozos seleccionados en un sector donde se pretende hacer riego artificial.

En la **tabla 12.3.1.** se indica el método empleado y la desviación estándar utilizado para cada una de las determinaciones.

DETERMINACIONES	METODO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
pH	SM 4.500	0,3 unidades de pH
Residuo seco a 105 °C	SM 2.540	5%
Dureza total, calcio y magnesio	SM 3.500	9,2%
Alcal. total, carb. y bicarbonatos	SM 2.320	0,1 a 0,4%
Nitratos y nitritos	SM 4.500	4%
Cloruros	SM 4.500	4,2%
Sulfatos	SM 4.500	0,13 ppm
Sodio y Potasio	Elect. Selectivo de iones	5 %
Hierro	Volum - Colorim	5%
Arsénico	SM 3.500	10%
Fluoruros	SM 4.500	Método del SFADNS: 8% Método del electrodo selectivo: 3,6%
Boro	SM 4.500 BC	Mínimo detectable 2 ug/l. Error 0.6%

**tabla 12.3.1.**



En la **tabla 12.3.2.** se pueden observar los valores resultantes para cada una de las determinaciones. **(soporte digital).**

Los promedios, máximos y mínimos para las determinaciones realizadas en el agua de 87 (ochenta y siete) pozos censados en el acuífero Paraná/Ituzaingó, pueden observarse en la **tabla 12.3.3.**

	pH	C.E.	R.S.	Dur	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K	RAS *
		<i>umho/cm</i>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
<b>Prom</b>	7.7	1725	1179	329	2	444	225	273	8	83	29	292	7	6.8
<b>Máx.</b>	8.5	8300	5200	1601	31	648	2005	1587	50	402	143	1260	20	15.9
<b>Mín.</b>	7	440	310	59	0	290	6	5	0	9	3	20	2	0.5

\* Relación Adsorción Sodio

**tabla 12.3.3.**

En la **tabla 12.3.4.** se muestran los máximos y mínimos para las determinaciones de hierro, arsénico, flúor y boro en las muestras extraídas del acuífero.

	Hierro	Arsénico	Flúor	Boro
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Máx</b>	0.80	0,6	1,1	0.14
<b>Mín</b>	0	0	0,25	0

**tabla 12.3.4.**

### 12.3.1. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una propiedad física del agua cuya utilidad es que es un indicador de la salinidad. Se midió en boca de pozo mediante un conductivímetro portátil y posteriormente en laboratorio. En la **tabla 12.3.3** se indican los valores de CE de las muestras analizadas, con extremos de 440 y 8.300 *umho/cm* y un promedio de 1.725 *umho/cm*.

### 12.3.2. Residuo seco

El residuo seco, es el peso de materiales resultante de evaporar 1 litro de agua. Puede establecerse una relación lineal entre conductividad y residuo seco. En la **tabla 12.3.3** se indican los valores de residuo de las muestras analizadas, con extremos de 310 y 5.200 mg/l y un promedio de 1.179 mg/l.

El Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8**) da 1500 mg/l como límite para agua de bebida.

Confeccionado el **MAPA 3 - RESIDUO SECO**, se trazaron isolíneas con una equidistancia de 500 mg/l. Predominan prácticamente en 2/3 de la zona (extremos Este y Oeste), las curvas de 500 mg/l y la de 1.000mg/l. La concentración de líneas de 1.500 y 2.000 mg/l (esta última encierra pozos con concentraciones mayores), se observan en el centro de la zona de estudio en una franja que se extiende de Norte (Pozos N° 103 a N° 97) a Sur (Pozo N° 70). De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. Por fuera de límite en el resto del área se observa solo el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal. En este último caso no se trata de un sector sino de un valor puntual.

### 12.3.3. Dureza

La dureza mide la capacidad de un agua para consumir jabón o producir incrustaciones por precipitados, especialmente cuando el agua es calentada.

La dureza proviene del calcio y el magnesio; incluye el efecto hierro y estroncio que es pequeño en general comparado con los dos anteriores (Custodio).

En la **tabla 12.3.3.** se indican los valores de dureza, expresada como CO<sub>3</sub>Ca: máximo 1.601, mínimo 59, promedio 329 mg/l.

El Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8**) establece un valor tolerable de 400 mg/l para la dureza total como CO<sub>3</sub>Ca. En el **MAPA 4 - DUREZA** se representan

las isolíneas de dureza separadas por una equidistancia de 100, 200, 300 y, 400 mg/l. Predominan prácticamente en toda la zona (extremos Este y Oeste), las curvas de 200 mg/l. La concentración de pozos encerrados por la curva de 400 mg/l (y fuera de límite), se observa en una franja central que se extiende de Norte (Pozos N° 94 a N° 97) a Sur. De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. Por fuera de límite en el resto del área se observa solo el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal y el Pozo N° 90 próximo a la localidad de Seguí con valores que superan mínimamente el valor de 400 mg/l. En este último caso no se trata de sectores sino de valores puntuales.

#### 12.3.4. Bicarbonatos

Los  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y los  $\text{CO}_3^{=}$  son iones que comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales. Se pueden precipitar con mucha facilidad como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Existe una profunda relación entre el  $\text{CO}_2$  gas,  $\text{CO}_2$  disuelto,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y el pH. El ión  $\text{CO}_3^{=}$  es menos frecuente en las aguas naturales, porque sólo puede mantenerse soluble cuando el pH es mayor de 8,3 (Custodio). En el ámbito estudiado, 14 de las 107 muestras del acuífero contienen carbonatos, por lo que la alcalinidad en la zona se debe a los bicarbonatos. Esta presencia es un indicador de recarga por infiltración.

Los extremos registrados para  $\text{CO}_3\text{H}^-$  son 648 mg/l como máximo, 290 mg/l mínimo y un promedio de 444 mg/l (**tabla 12.3.3.**)

En el **MAPA 5 - BICARBONATOS** se realizaron curvas con una equidistancia de 200 mg/l, resultando de 200mg/l, 400mg/l y 600 mg/l. Predominan prácticamente en toda la zona las curvas de 400 mg/l. El límite en el Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8**) es 800 mg/l de alcalinidad, lo que corresponde a 976 mg/l de bicarbonatos. No existe en la región ningún pozo que supere este valor.

### 12.3.5. Sulfatos

Hemos relevado áreas en el NW de Entre Ríos, con concentraciones elevadas de este ión en el Acuífero Ituzaingó. Su presencia está relacionada con la disolución del yeso contenido en la cubierta superior. En otras áreas puede deberse también al contacto del agua con sedimentos marinos.

En la **tabla 12.3.3.** se indican los contenidos: máximo 1.587 mg/l, 5 mg/l el mínimo y 273 mg/l el promedio.

En el **MAPA 6 - SULFATOS** se realizaron curvas con una equidistancia de 100 mg/l. Resultaron curvas de 50 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/l y 400 mg/l. La concentraciones mayores a 400 mg/l (esta última encierra pozos con concentraciones mayores), se observan en el centro de la zona de estudio en una franja que se extiende de Norte (Pozos N° 103 a N° 97) a Sur (Pozo N° 70). De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. Por fuera de límite en el resto del área se observa solo el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal con un valor superior al permitido. En este último caso no se trata de un sector sino de un valor puntual.

### 12.3.6. Cloruros

Muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni reduce en aguas naturales. En general va asociado al ión Na<sup>+</sup>; en especial en aguas muy salinas (Custodio).

Son fuentes de aporte también la lluvia, los sedimentos de origen marino y el agua congénita.

En la **tabla 12.3.3.** se observan los valores de Cl<sup>-</sup>: máximo 2.005 mg/l, mínimo 6 mg/l y promedio 225 mg/l. El límite de potabilidad respecto al Cl<sup>-</sup> es de 350 mg/l (**tabla 4.8**). En el ámbito estudiado como puede observarse en el **MAPA 7 - CLORUROS** las curvas trazadas con una equidistancia de 50 mg/l, 100 mg/l, 200

mg/l, 300 mg/l y 350 mg/l, muestran que las concentraciones mayores a 350 mg/l (esta última encierra pozos con concentraciones mayores), dan en el centro de la zona de estudio en una franja que se extiende de Norte (Pozos N° 103 a N° 97) a Sur (Pozo N° 70). De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. Por fuera de límite en el resto del área se observa solo el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal. En este último caso no se trata de un sector sino de un valor puntual.

La mayor parte del área está cubierta con valores menores a 100 mg /l. Vuelven a ser excepción los pozos N° 68 y 138.

En el mapa se observa que entre la ruta provincial N° 11 y el predelta, y entre las localidades de Diamante, Las Cuevas y Victoria, aparecen inferidas isolíneas de 300 mg/l. Ésta elevación en las concentraciones, quizás se deba a la influencia de la Formación Paraná integrada por sedimentos de origen marino, aflorantes en el sector.

### 12.3.7. Nitratos

Sales muy solubles y por lo tanto difícilmente precipitables. Aunque el nitrato tiene tendencia a ser estable, aun en medios reductores, puede pasar a nitrito o amoníaco. La mayoría de los compuestos nitrogenados pasan a nitrato en medio oxidante, aunque el amoníaco puede perderse en parte como nitrito (Custodio). Pueden proceder también de basurales, pozos negros, agroquímicos, corrales, tambos, bebederos, etc.

Considerando las muestras analizadas, extraídas del acuífero (**tabla 12.3.3.**) se tiene: máximo 50 mg/l, mínimo 0 mg/l, promedio 8 mg/l.

De las 88 muestras analizadas del acuífero, solo dos muestras (Pozo N° 53 y pozo N° 106), presentan valores superiores a 45 mg/l límite de potabilidad dado por el C.A.A.(**tabla 4.8.**)

Dos muestras de la cubierta Cuaternaria dieron valores de 200 mg/l (Pozo N°77) y 230 mg/l (Pozo N° 25). Aunque el acuitado no es competencia de este estudio, la información fue comunicada a los propietarios de los pozos para que tomen las medidas necesarias a los fines de determinar las causas de la presencia elevada de nitratos y de que tomen los recaudos para que no se consuma agua con esa elevada concentración.

En el **MAPA 8 - NITRATOS** se muestra la variación del contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el área estudiada, apreciándose dos valores superiores a 45 mg/l, el Pozo N° 53 perteneciente a la localidad de Nogoyá y el Pozo N° 106 al NE del área sobre la ruta nacional N° 18.

Salvo estos valores puntuales, los  $\text{NO}_3^-$  no son limitantes para la potabilidad del agua subterránea en la región ya que presentan valores muy por debajo de los 45 mg/l admitidos para agua potable.

#### **12.3.8. Sodio**

Suele ir asociado al ión cloro. Solubilidad muy elevada y muy difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases. Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales para las plantas al reducir la permeabilidad del suelo (Custodio).

En la **tabla 12.3.3.** se observa el contenido de sodio con un máximo 1.260 mg/l, mínimo 20 mg/l, promedio 292 mg/l.

#### **12.3.9. Calcio**

Es muy fácil de precipitar como  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ . Su química va muy asociada a la de los iones  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$  en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de  $\text{CO}_2$ .

El  $\text{Ca}^{++}$  del acuífero puede provenir de la disolución de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$  de los minerales que componen las Formaciones Hernandarias (nódulos de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$  en las arcillas) y Alvear (bancos de tosca).

En la **tabla 12.3.3.** se indica el máximo registrado (402 mg/l), el mínimo (9 mg/l), y el promedio (83 mg/l).

#### **12.3.10. Magnesio**

Propiedades similares a las del ion  $\text{Ca}^{++}$  pero más soluble y algo más difícil de precipitar (Custodio).

En la zona estudiada el  $\text{Mg}^{++}$  se presenta una concentración máxima de 143 mg/l, un mínimo de 3 mg/l y un promedio de 29 mg/l. (**tabla 12.3.3.**)

#### **12.3.11. Potasio**

Solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita), para formar parte de su estructura (Custodio). De la **tabla 12.3.3.** se desprende que los contenidos de  $\text{K}^+$  son: máximo 20 mg/l, mínimo 2 mg/l y promedio 7 mg/l.

#### **12.3.12. Arsénico**

Se puede encontrar agua con elevadas cantidades de arsénico en sedimentos loésicos, cuando estos provienen de materiales de origen volcánico. En el NW de Entre Ríos hemos relevado pozos con valores superiores a los 0.05 mg/l límite para el agua de bebida (**tabla 4.8**). En el área de estudio, en una muestra analizada, (**Pozo Nº 61**) ese valor es superado (0.06 mg/l) (**tabla 12.3.4.**)

### 12.3.13. Fluoruros

Solubilidad en general limitada y al parecer contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente (Custodio).

Tiene un origen común con el arsénico. El Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8**) da un rango de potabilidad entre 0,7 y 1,2 mg/l.

El contenido máximo de flúor en 36 muestras analizadas es de 1,1 mg/l, y el mínimo, 0,25 mg/l (**tabla 12.3.4.**)

### 12.3.14. Hierro

Su química es compleja y ciertas materias orgánicas y algunas inorgánicas pueden actuar formando complejos que complican aún más su comportamiento. El pH, Eh y la composición de la solución influyen en la estabilidad de las diversas formas de iones en que se presenta este catión. Es conocida la obturación de cañerías de agua donde microorganismos promueven medios reductores que favorecen la formación de Fe ++ mientras otros utilizan la energía de paso de Fe ++ a Fe +++ en sus procesos vitales y dan lugar a precipitados gelatinosos.

Las aguas con concentraciones de hierro producen manchas de herrumbre en lavabos, bañeras, etc.

El Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8**) da como límite de potabilidad un máximo de 0,3 mg/l. De las 36 muestras, el máximo determinado fue 0,80 mg/l y el mínimo 0 mg/l. Dos muestras (**Pozo Nº 2 Raíces y Pozo Nº 17 Gobernador Sola**) superan el valor de 0,3 mg/l (**tabla 12.3.4.**)

### 12.3.15. Boro



En pequeñas cantidades se lo considera nocivo para las plantas (Custodio), no así en el agua de bebida. El Código Alimentario Argentino no fija límite en este aspecto para este catión.

En 38 muestras analizadas en la zona de estudio el máximo de Boro fue 3.4 y el mínimo de 0 mg/l. (**tabla 12.3.4.**)

#### **12.4. Consumo humano**

De los ítem desarrollados para cada una de las determinaciones se desprende que el gran inconveniente para consumo humano del agua del acuífero es debido a la elevada concentración del residuo seco, dureza, sulfatos y cloruros. En el centro de la zona de estudio existe una franja que se extiende de Norte (Pozos N° 103 a N° 97) a Sur (Pozo N° 70) donde los residuos presentan concentraciones superiores a los 1.500 mg/l (límite establecido por el CAA **tabla 4.8.**). De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse un valor excedido en los límites en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. La misma franja se repite para las concentraciones de sulfatos con valores superiores a los 400 mg/l (límite establecido por el CAA **tabla 4.8.**). En tercer lugar se repite para los cloruros cuyo límite máximo admitido es de 350 mg/l. Si bien en un espacio más reducido pero ocupando la misma distribución en esta franja nos encontramos con concentraciones de dureza superiores a 400 mg/l (máximo tolerable CAA **tabla 4.8.**) Fuera de esta franja el único pozo que excede el valor de residuo, dureza, sulfatos y cloruros es el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal. En este último caso se trata de un valor puntual. En cuanto al hierro, dos muestras superan los 0,3 mg/l (**Pozo N° 2 Raíces y Pozo N° 17 Gobernador Sola**). El arsénico supera el límite de 0,05 mg/l en el **Pozo N° 61 (0,06 mg/l).**

El **Mapa N° 9 – SODIO**, ha sido construido con la finalidad de observar la relación del catión Na, con los aniones SO<sub>4</sub> y Cl. En el Mapa puede observarse una franja ocupada por valores mayores de 200 mg/l (49 de 98 pozos del total) subiendo a concentraciones de 400 mg/l hasta 1.260 mg/l (25 de 98 pozos del total). El sector ocupado por estas concentraciones, coincide prácticamente con la misma área donde los residuos, sulfatos y cloruros se encuentran por encima del límite permitido.

Si bien no hay norma en nuestro país que haya puesto un límite para la concentración de sodio, se conoce que en relación a la actividad fisiológica humana, la ingesta de agua con alta concentración de Na<sup>+</sup> puede afectar la tensión arterial y la actividad renal. Pese a ello la gran mayoría de las normas de potabilidad no lo considera como limitante, probablemente porque su determinación analítica recién se precisó en la década del 50 con la utilización del fotómetro de llama.

La única norma que conocida sobre potabilidad respecto al sodio, es la canadiense que le fija un límite de 200 mg/l (8,7 meq/l).

En la **tabla 12.4.** se muestran los pozos del acuífero Ituzaingó/Paraná, que presentan concentraciones fuera de límite para consumo humano en lo que respecta a residuo, dureza, cloruros, sulfatos y nitratos según las normas del potabilidad de Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8.**)

Nº MUEST	Res Seco a 105 °C mg/l	Dur Total (c/ CO3 Ca) mg/l	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Nitratos mg/l
4	2080	386	391	644	
18	2050	468	578	536	
29	2150	479	503	632	
30	5000	1601	2005	883	
31	4200	1239		1153	
43	5100	1360	1598	1497	
45		419			50
48	2200	468	496	698	
50	2100	582	541	624	
53		409			50
58	1910	462	407	599	
70	5200	1192	1845	1193	
71	4150	1073	902	1587	
72	1800	386	391	498	
79	2100	547	488	617	
90		444			
93	1630			476	
94	2400	407	490	503	
96	2280	631	410	871	
97	2670	790	649	876	
98	2670	720	637	868	
103	2330	507	515	647	
104	2955	674	827	792	
106					50

**tabla 12.4.**

En conclusión, surge de lo expuesto que en la región investigada hay algunas limitantes en el agua subterránea en relación a **las concentraciones de residuos, dureza, sulfatos y cloruros (estos últimos asociados al catión sodio)** para consumo humano. En cuanto al nitrato la limitación es puntual. Solo referida a los cuatro pozos que se observan en la **tabla 12.4**. En cuanto al hierro, dos muestras superan los 0,3 mg/l (**Pozo N° 2 Raíces y Pozo N° 17 Gobernador Sola**). El arsénico supera el límite de 0,05 mg/l en el **Pozo N° 61 (0,06 mg/l)**.

## 12.5. Representaciones gráficas

### 12.5.1. Diagramas de Piper Hill

Las representaciones gráficas de los análisis químicos, tienen por objeto resaltar la composición iónica de un agua. Son diagramas que sirven para hacer comparaciones entre varios análisis de agua. En las **figuras 12.5.1, 12.5.2, 12.5.3, 12.5.4. y 12.5.5.**, se pueden ver las representaciones gráficas de acuerdo al método desarrollado por Piper (1944). Los porcentajes que resultan de estas representaciones se distribuyen como se muestra en la **tabla 12.5.1**.

<b>38 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas sódicas</b>	<b>43.68 %</b>
<b>31 muestras</b>	<b>Cloruradas y / o sulfatadas sódicas</b>	<b>35.63 %</b>
<b>16 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas cálcicas y / o magnésicas</b>	<b>18.39 %</b>
<b>2 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas sódica y/o Clor y/o sulf sód</b>	<b>2.30 %</b>

**tabla 12.5.1.**

En las aguas del acuífero, se observa en la composición iónica, que entre los aniones domina en un 67 % el  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y en un 33% los cloruros y/o sulfatos y entre los cationes el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Na}^+$  subordinan al  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$ .

### 12.5.2. Aptitud de Agua para riego.

La aptitud de agua para riego se estimó en base al Diagrama de la *U. S. Salinity Laboratory Staff, Índice SAR (1954)*, basado en la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a 25 ° C versus la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, denominada índice SAR (Razón Adsorción Sodio). Los resultados se distribuyen como indica la **tabla 12.5.2.**

Cantidad de muestras	Clase	Porcentaje
29	C3 – R2	33.33
20	C2 – R1	22.99
15	C3 – R1	17.24
13	C4 – R3	14.94
2	C3 – R3	2.30
2	C4 – R4	2.30
1	C2 – R2	1.15
5	Fuera de gráfico	5.75

**tabla 12.5.2.**

Significando:

C1 - Agua de baja salinidad. Puede usarse para la mayor parte de todos los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra con el riego, excepto en suelos de baja permeabilidad.

C2 - Agua de salinidad media. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

C3 - Agua altamente salina. No puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

C4 - Agua muy altamente salina. No es apropiada en condiciones ordinarias para riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

R1 - Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable.

R2 - Agua media en sodio. Puede representar un peligro en condiciones de lavado deficientes, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso.

R3 - Agua alta en sodio. En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

R4 - Agua muy alta en sodio. En general inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución del calcio del suelo, el uso del yeso o de otros elementos.

Las representaciones gráficas de estos resultados se observan en las **figuras 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 12.10, 12.11, 12.12, 12.13, 12.14, 12.15, y 12.16.**

En referencia a esta clasificación, la misma ha sido creada para ambientes áridos por lo que resulta exigente para los de clima húmedo como el del área de estudio. Del total de las muestras analizadas, se desprende una gran variación en la clasificación de las muestras (**tabla 12.5.3.**). Por los resultados se estima que menos del 50% de los pozos podrían ser utilizados para riego. Los promedios de conductividad en la zona son 1725  $\mu\text{mho/cm}$  y del RAS 6.8.

De lo expuesto se desprende que en la región estudiada, el agua del acuífero resulta con limitantes en gran parte de las muestras para ser utilizada en riego.

En los **MAPAS 12.10 y 12.11 - APTITUD DE AGUA PARA RIEGO** se puede observar la composición iónica del agua y la aptitud para riego para cada uno de los pozos censados en el acuífero.

## **12.6. Ensayos hidráulicos**

Se realizaron once (11) pruebas de bombeo para la obtención de parámetros hidráulicos (**T** (transmisividad) y **S** (almacenamiento) de los acuíferos Ituzaingó/Paraná, y **T'** (transmisividad vertical) del acuitardo sobrepuesto) en el sector oeste de la provincia, limitado por: los ríos Guayquiraró al norte, Paraná al oeste, Gualeguay al este y el predelta al sur. (**figura 12.6.1.**). En diez de los ensayos se contó con lecturas en pozo de observación y en el restante, sólo se pudo obtener información del pozo de bombeo.



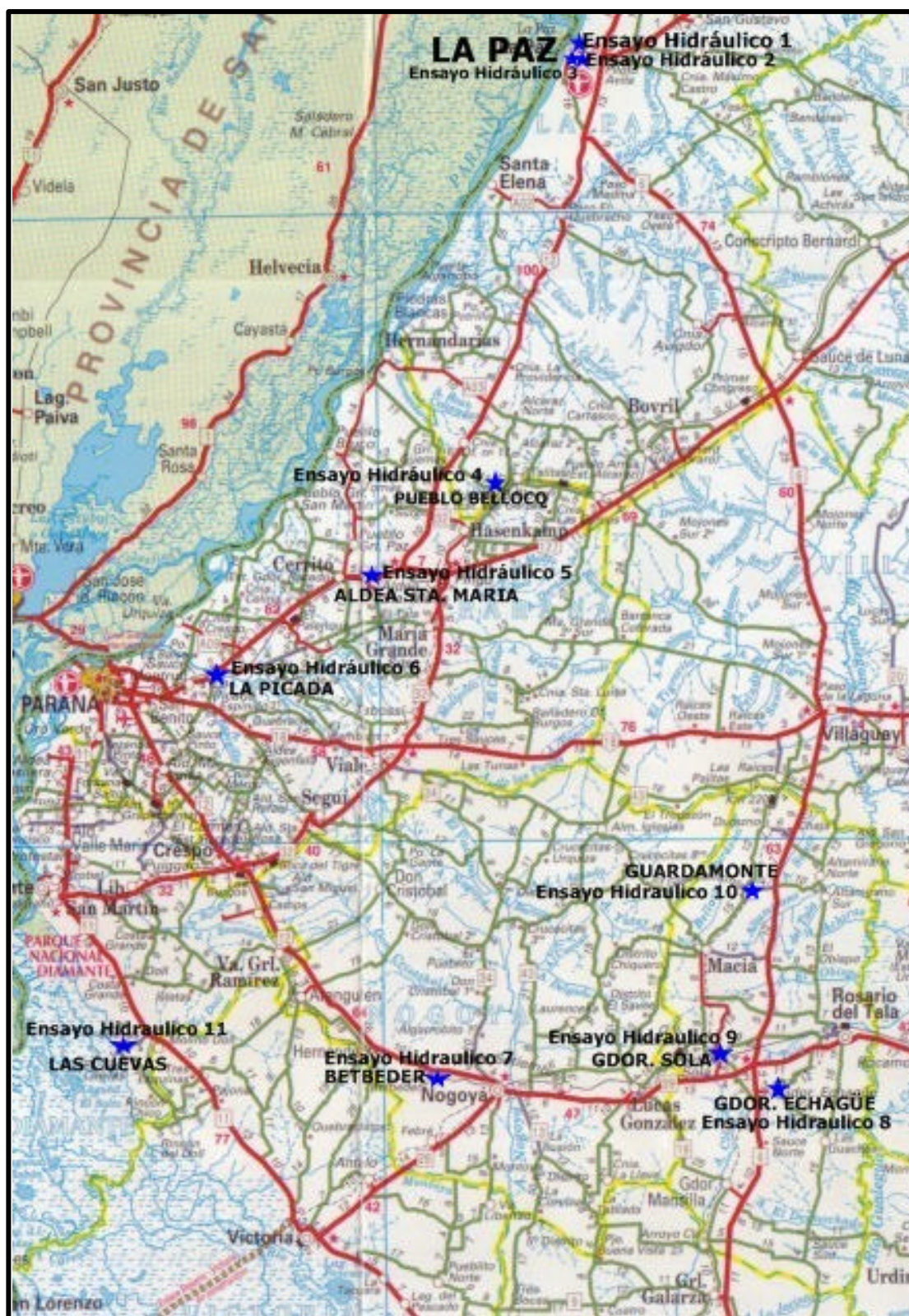


figura 12.6.1.

Para la selección de los lugares de ensayo se siguieron los criterios metodológicos aplicados en estudios anteriores. Se evaluaron las posibilidades de contar con pozos existentes con aptitud para el ensayo. El conocimiento previo indicaba que era necesario conocer y diferenciar los parámetros hidráulicos representativos de los sistemas acuíferos involucrados. Tratando de comprender las diferencias esperables de los comportamientos de los acuíferos, se estableció como necesidad básica que los pozos estudiados permitan al menos parametrizar las aguas subterráneas tanto de la región centro-oeste de la provincia como los de las regiones adyacentes.

Los ensayos consistieron en bombeo a caudal constante, midiendo nivel estático, nivel dinámico y las sucesivas lecturas de los descensos hasta la estabilización, luego de la cual se procedió a la recuperación del pozo con mediciones de ascensos y evaluación de la depresión residual.

En la mayoría de los casos estudiados el acuífero es semiconfinado. La metodología aplicada para la interpretación de los ensayos de bombeo fue la desarrollada por Hantush (1956) pues se consideró la más adecuada para determinar los parámetros **T** y **S**, para una condición de flujo en régimen no permanente o variable en este tipo de acuífero.

Complementariamente se interpretaron los datos correspondientes al período de recuperación del pozo, en este caso, por aplicación de la metodología de Theis (1935). Para ello se analizó la relación entre la depresión residual ( $s'$  = diferencia entre el nivel dinámico en recuperación y el nivel estático), en escala aritmética y el tiempo relativo ( $t/t'$ , donde  $t$  es el tiempo desde el inicio del bombeo y  $t'$  el tiempo desde parada de la bomba, es decir, tiempo de inicio de la recuperación) en escala logarítmica.

La prueba de recuperación sólo permite obtener la transmisividad **T**, pero su uso está orientado además, a complementar los resultados anteriores brindando información del comportamiento del acuífero, del grado de conexión hidráulica entre el pozo y el acuífero, de las condiciones singulares de los ensayos, si existen recargas, si se presentan límites físicos, etc.

Se describe a continuación el desarrollo y los resultados obtenidos en cada ensayo.

### 12.6.1. Ensayo 1 – La Paz

Aprovechando la batería de pozos del Municipio de La Paz, en el Departamento del mismo nombre, se realizaron tres ensayos de bombeo, midiendo descensos y recuperación en dos pozos de observación. El denominado Ensayo 1 utilizó una perforación (Pozo N° 6) ubicada a 145 m del pozo de bombeo (en este caso Pozo N° 11).

Según la información recopilada, el perfil estratigráfico generalizable para las tres pruebas es similar. El pozo tiene 94 m de profundidad, encontrándose arena por debajo de los 17 m, por encima existen sedimentos arcillosos y calcáreos. Desde los 17 m hasta los 92 m es prácticamente todo arena. A los 92 m aparece arcilla nuevamente. De ese tramo de arena tan extenso existen tramos de filtro desde los 30 m a 37,5 m y desde los 60 a los 77,5 m (en total 15 m aproximadamente).

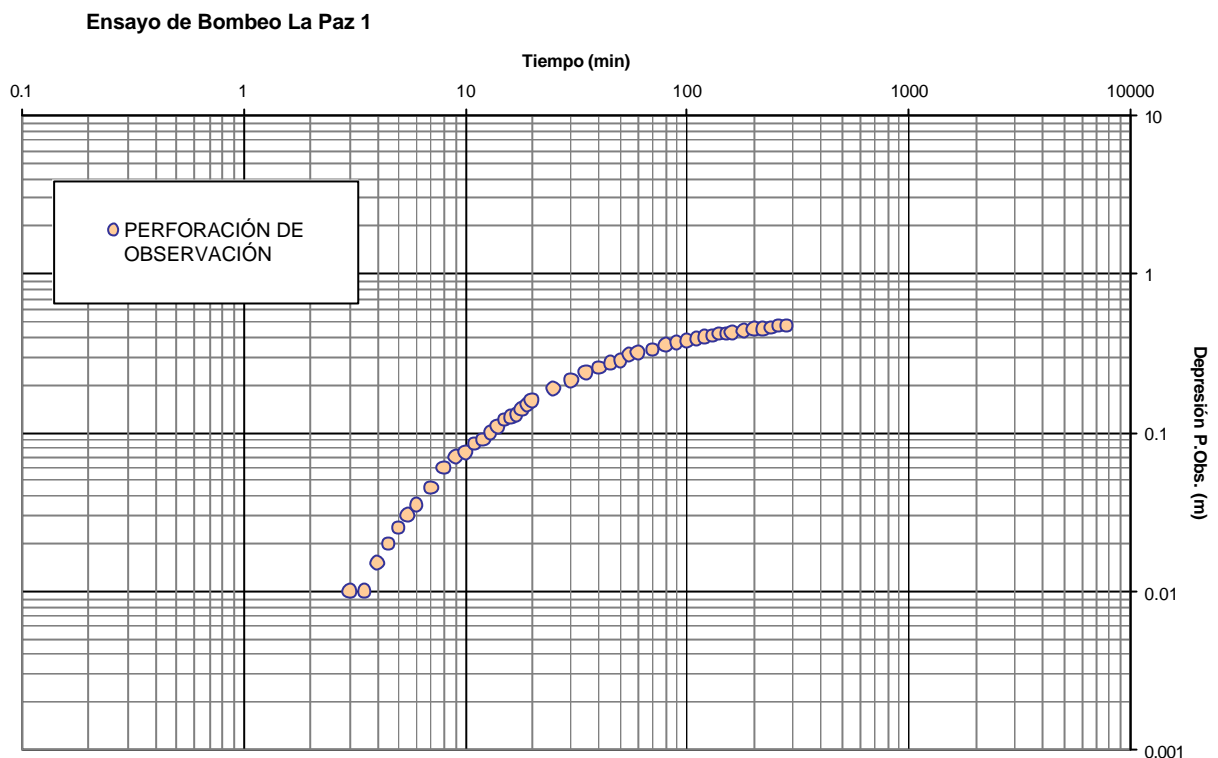
El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 145 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 10 horas de bombeo y 6 horas de recuperación. El caudal bombeado fue de 130 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.1.1** y las **figuras 12.6.1.1; 12.6.1.2. y 12.6.1.3.**

Interpretación del ensayo de bombeo: La **figura 12.6.1.4** representa, en escala doble logarítmica, la depresión observada en función del tiempo.

Por las características litológicas anteriormente descritas, la perforación ensayada está enteramente conformada por arenas bajo un estrato arcilloso que le provee cierto grado de confinamiento.





**figura 12.6.1.4**

Su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), muestra que existe una correspondencia aceptable con la de Theis hasta que se ajusta con la de Hantush, para un valor de  $r/B = 0,3$

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 51' \quad s = 0,19 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 1306.7 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0.00088$$

La permeabilidad  $K$ , considerando un espesor del acuífero de 75 m es

$$K = 1306.7 \text{ m}^2/\text{día} / 75 \text{ m} = 17.4 \text{ m/d} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 483.3 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0.0056 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T'$  .  $e'$  y dado que  $e' = 17 \text{ m}$ ,

$$K' = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Ensayo de Recuperación: Los valores se volcaron en una gráfica semilogarítmica de acuerdo a la metodología de Theis (1935). En ella se representó la depresión residual  $s'$  respecto a  $t/t'$  en relación logarítmica (**figura 12.6.1.5.**).

La línea de tendencia de los puntos presenta un comportamiento uniforme entre valores de  $t/t' = 5$  y  $30$ , a partir del cual se manifiesta un cambio en la tendencia. Se interpretó que el mejor ajuste indica que la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,37 \text{ m}$ .

Luego resultó

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds' \quad T = 1543.4 \text{ m}^2/\text{día}$$

Ensayo de Bombeo Recuperación La Paz 1

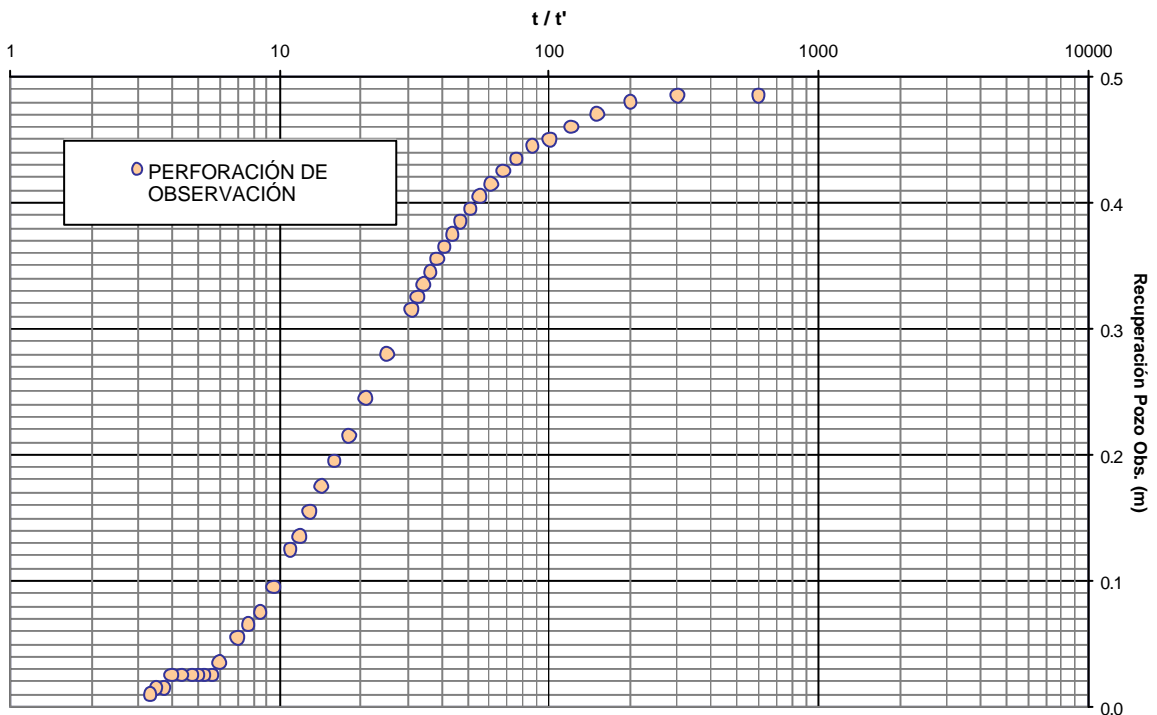


figura 12.6.1.5.

### 12.6.2 Ensayo 2 – La Paz

Aprovechando la batería de pozos del Municipio de La Paz, Departamento del mismo nombre, se realizaron tres ensayos de bombeo, midiendo descensos y recuperación en dos pozos de observación. El denominado Ensayo 2 utilizó la misma perforación (Pozo N° 6) para observación, ahora distante 175 m del pozo de bombeo (en este caso Pozo N° 8).

Según la información recopilada, el perfil estratigráfico es generalizable a las tres pruebas de La Paz. El pozo tiene 94 m de profundidad, encontrándose arena por debajo de los 17 metros, por encima existen sedimentos arcillosos y calcáreos. Desde los 17 m hasta los 92 m es prácticamente todo arena. A los 92 m aparece arcilla nuevamente. De ese tramo de arena tan extenso existen tramos de filtro desde los 30 a 37,5 m y desde los 60 a los 77,5 m (en total 15 m aproximadamente).

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 175 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 6.5 horas de bombeo y 2.5 horas de recuperación. El caudal bombeado en este caso fue de 87 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.2.1** y las **figuras 12.6.2.1; 12.6.2.2. y 12.6.2.3.**

Interpretación del ensayo de bombeo: La **figura 12.6.2.4** representa, en escala doble logarítmica, la depresión en función del tiempo observada.

Su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), muestra que existe una correspondencia aceptable con la de Theis hasta que se ajusta con la de Hantush, para un valor de  $r/B = 0,75$

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 105' \quad s = 0,18 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 923.1 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0.00088$$

La permeabilidad **K**, considerando un espesor del acuífero de 75 m es

$$K = 923.1 \text{ m}^2/\text{día} / 75 \text{ m} = 12.3 \text{ m/d} = 0,14 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 233.3 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0.017 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 17 \text{ m}$ ,

$$K' = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

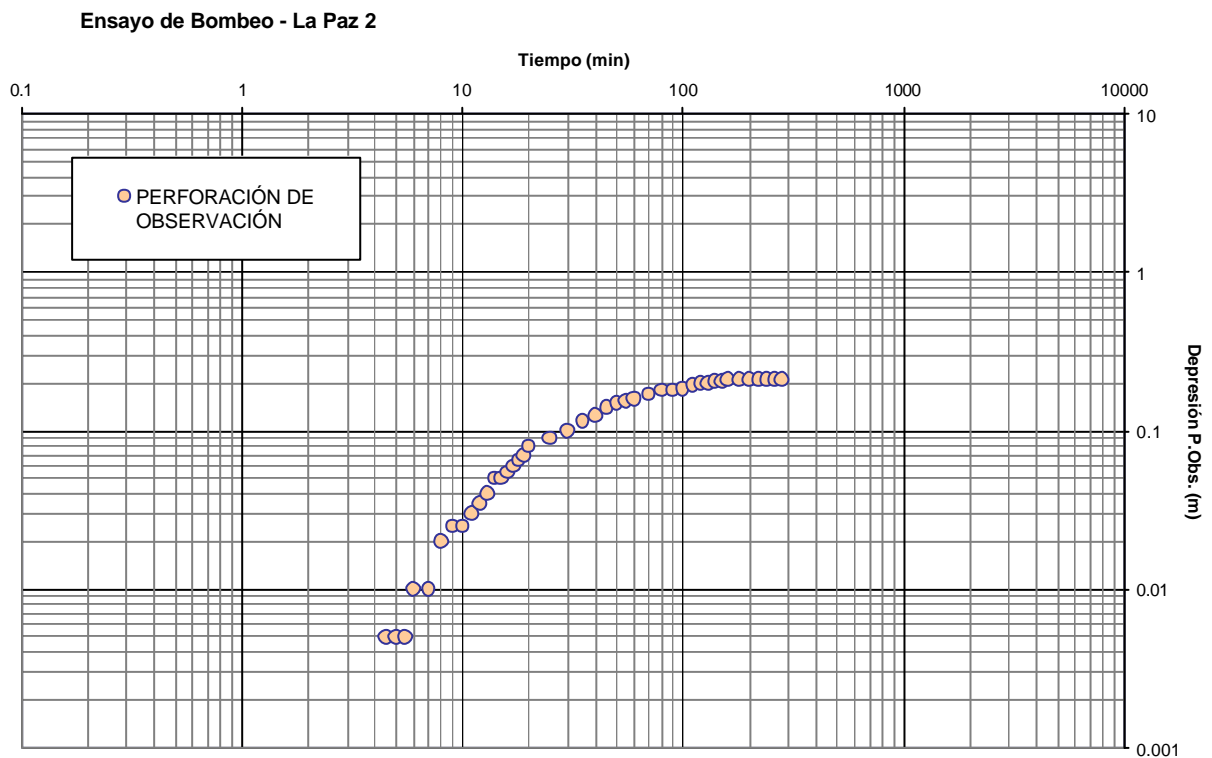


figura 12.6.2.4

Ensayo de Recuperación: Los valores se volcaron en una gráfica semilogarítmica de acuerdo a la metodología de Theis (1935). En ella se representó la depresión residual  $s'$  respecto a  $t/t'$  en relación logarítmica (**figura 12.6.2.5.**).

La línea de tendencia de los puntos presenta un comportamiento uniforme a partir de  $t/t' = 70$ . Se interpretó que el mejor ajuste indica que la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,21$  m.

Luego resultó

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 1819.8 \text{ m}^2/\text{día}$$

Ensayo de Bombeo - Recuperación La Paz 2

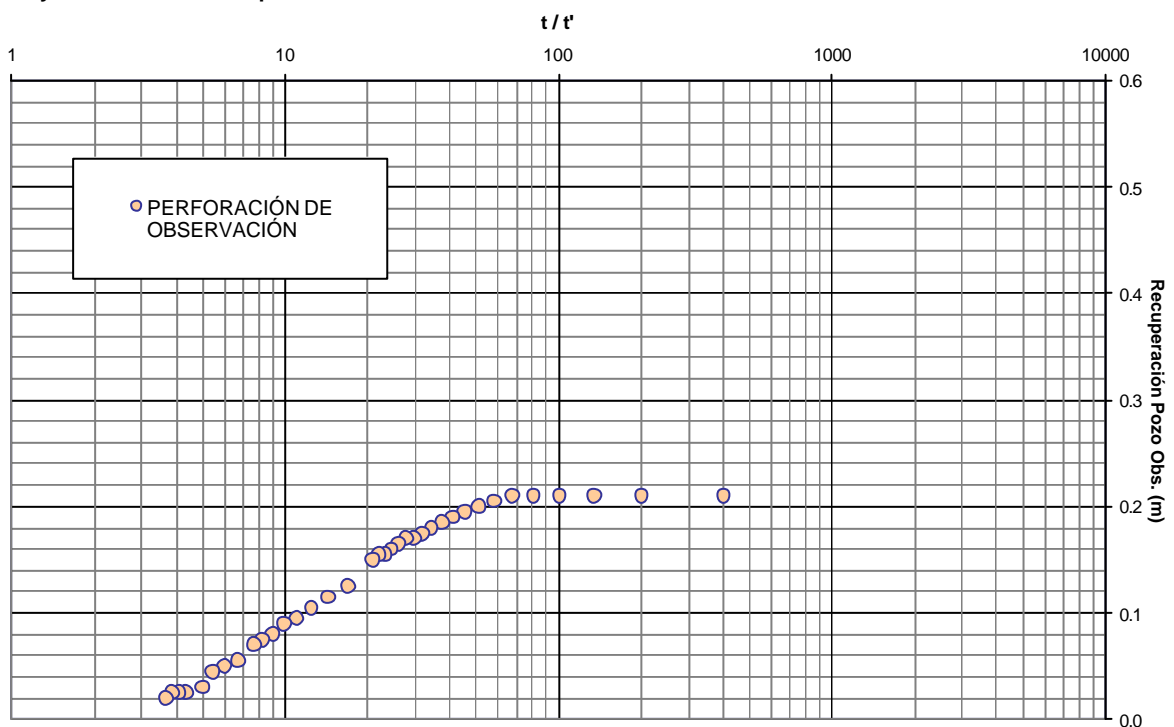


figura 12.6.2.5.

### 12.6.3. Ensayo 3 – La Paz

Este ensayo 3 utiliza las mismas perforaciones que el ensayo 2, es decir, la información proviene del pozo ubicado a 175 m del pozo de bombeo.

El pozo tiene 94 m de profundidad, encontrándose arena por debajo de los 17 metros, por encima existe sedimentos arcillosos y calcáreos. Desde los 17 m hasta los 92 m es prácticamente todo arena. A los 92 m aparece arcilla nuevamente. De ese tramo de arena tan extenso existen tramos de fitro desde los 30 a 37,5 m y desde los 60 a los 77,5 m (en total 15 m aproximadamente).

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 175 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 13 horas de bombeo y 6 horas de recuperación. El caudal bombeado fue de 87 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.3.1** y las **figuras 12.6.3.1; 12.6.3.2. y 12.6.3.3.**

Interpretación del ensayo de bombeo: La **figura 12.6.3.4** representa, en escala doble logarítmica, la depresión en función del tiempo observada.

Su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), muestra que existe una correspondencia aceptable con la de Theis hasta que se ajusta con la de Hantush, para un valor de **r/B = 0,3**

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 83' \quad s = 0,12 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 1384.6 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0.00104$$

Ensayo de Bombeo - La Paz 3

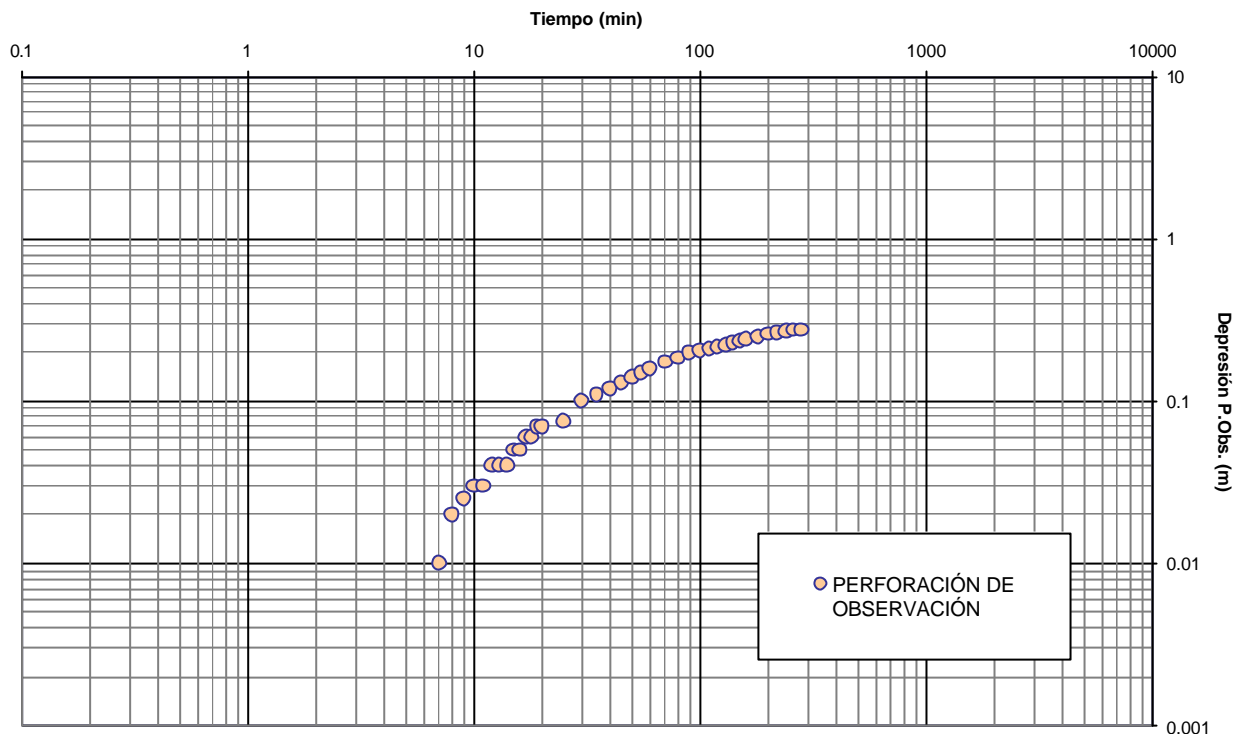


figura 12.6.3.4

La permeabilidad **K**, considerando un espesor del acuífero de 75 m es

$$K = 1384.6 \text{ m}^2/\text{día} / 75 \text{ m} = 18.5 \text{ m/d} = 0,21 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 583.3 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0.0041 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T'$ .  $e'$  y dado que  $e' = 17 \text{ m}$ ,

$$K' = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Ensayo de Recuperación: Los valores se volcaron en una gráfica semilogarítmica de acuerdo a la metodología de Theis (1935). En ella se representó la depresión residual  $s'$  respecto a  $t/t'$  en relación logarítmica (figura 12.6.3.5.).

La línea de tendencia de los puntos presentada hasta los valores de  $t/t' = 20$  resulta adecuada para el estudio. Se interpretó que un valor conservativo de la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,23$  m.

Luego resultó

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 1661.6 \text{ m}^2/\text{día}$$

Ensayo de Bombeo - Recuperación La Paz 3

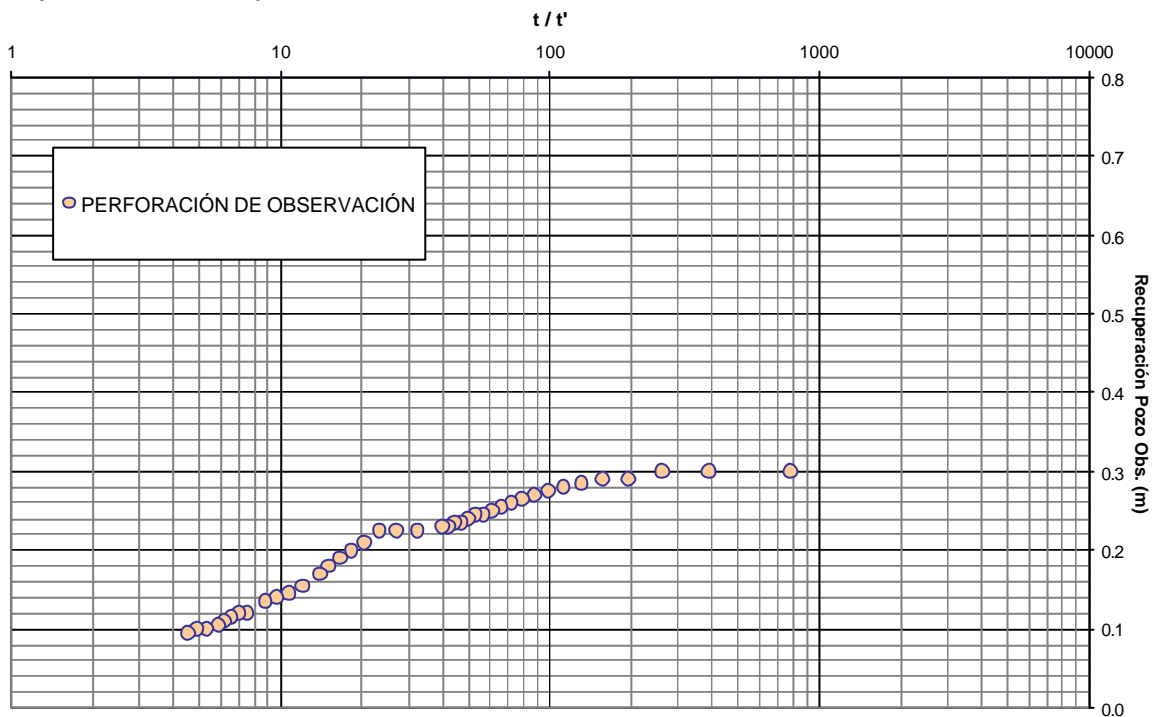


figura 12.6.3.5.

#### 12.6.4. Ensayo 4 – Pueblo Belloq

La prueba hidráulica de la localidad de Las Garzas (Pueblo Belloq), perteneciente al Departamento Paraná, fue realizado a la hora 15:00, luego de que el pozo estuviese en reposo desde las 10,30 horas del día anterior.



El pozo de bombeo fue realizado en el año 1980, siendo la profundidad de aproximadamente 65 a 70 metros. El pozo de observación, ubicado a 9,80 m del de bombeo fue realizado en el año 1978. La profundidad también de aproximadamente 65 a 70 metros. La cota de boca de pozo es similar en ambos pozos, del orden de 83 m s.n.m.

El equipo de bombeo tiene una capacidad de 5.000 l/h, con funcionamiento automático que impide maniobras manuales, en particular cuando aun no había concluido la evolución de los descensos el equipo cortó imprevistamente lo que obligó a registrar su recuperación inmediatamente.

No se cuenta con datos del subsuelo. El perfil estratigráfico generalizado surgido del análisis e interpretación geológica no presenta cambios substanciales con los observados en Hasenkamp.

El pozo tiene 54 m de profundidad, la arena del acuífero se encuentra a unos 39 metros, cubierto por suelos actuales, arcillas de la Fm Hernandarias y 2 metros de calcáreo (entre 37 y 39 m). El espesor de arenas va de 39 a 53 metros por debajo del cual se encentraría con al menos un metro de arcillas (este último metro está descrito como piedra, aunque aquí se ha interpretado que es arcilla).

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 9,80 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. El ensayo se interrumpió a los 60 minutos por corte de energía y se procedió a la recuperación por 140 minutos. El caudal bombeado es 5 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.4.1** y las **figuras 12.6.4.1 ; 12.6.4.2. y 12.6.4.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.4.4.** se representa, la relación en escala doble logarítmica, del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo.

Su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), si bien no es suficiente información, mostraría correspondencia aceptable con la de Theis hasta ajustar con la de Hantush, para un valor de  $r/B = 0,2$ .

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 12' \quad s = 0,04 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 238.7 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0.00829$$

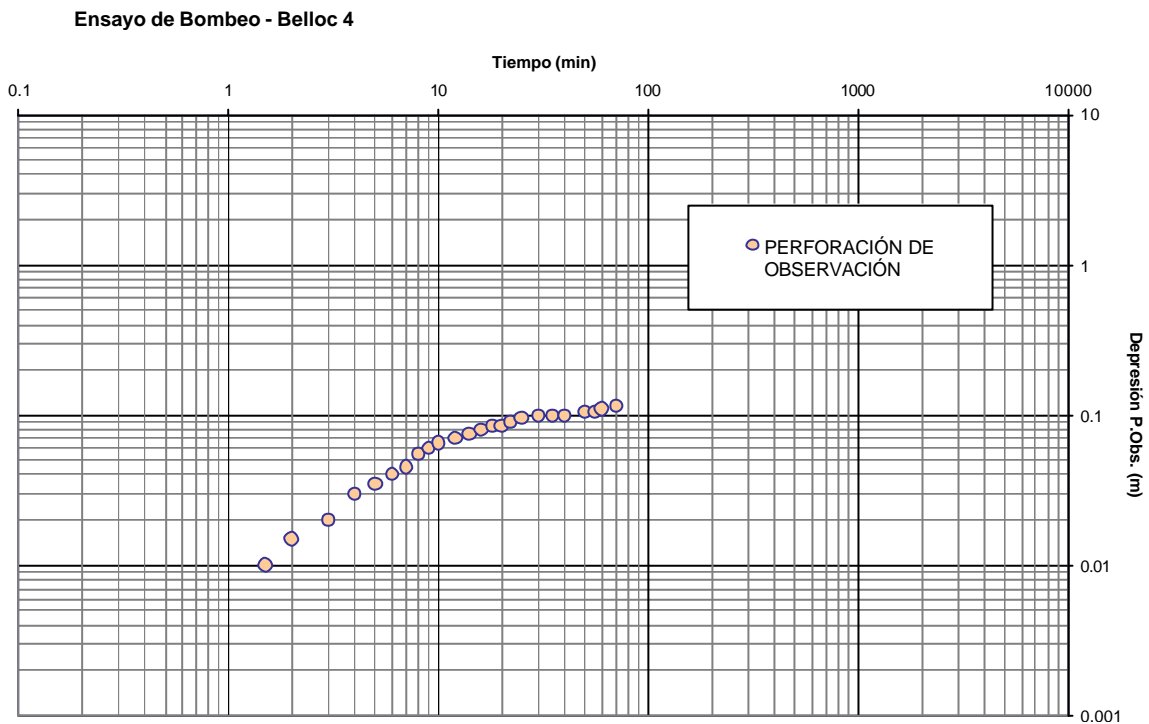


figura 12.6.4.4

La permeabilidad  $K$ , considerando un espesor del acuífero de 14 m es

$$K = 238.7 \text{ m}^2/\text{día} / 14 \text{ m} = 17.1 \text{ m/d} = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 49 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 3,3 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 38 \text{ m}$ ,

$$K' = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.4.5.** representa la depresión residual ( $s'$ ) respecto a  $t/t'$  en relación logarítmica para el pozo de observación. La línea que mejor interpreta el fenómeno corresponde a valores  $t/t' < 25$ , aunque se observa en el tramo final de la recuperación una pendiente aun menor observable en  $t/t' < 6$ .

Considerando la depresión residual para un ciclo logarítmico de  $Ds' = 0,09 \text{ m}$ .

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 244.0 \text{ m}^2 / \text{día}$$

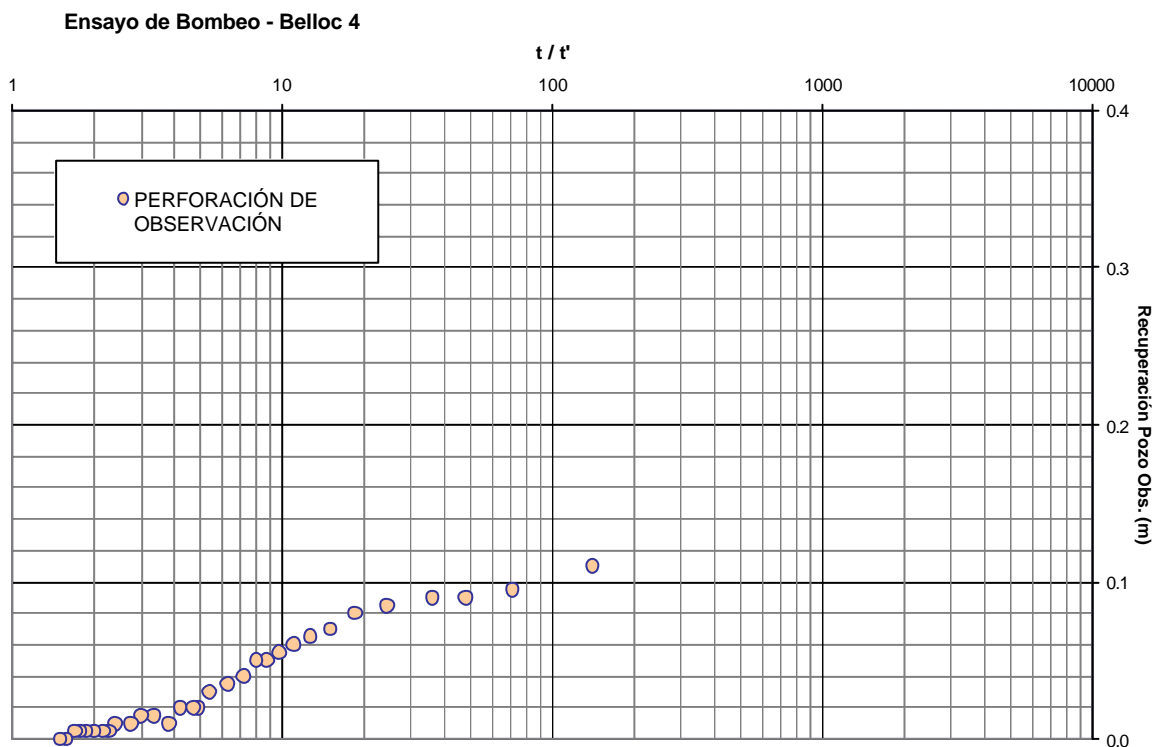


figura 12.6.4.5

### 12.6.5. Ensayo 5 – Aldea Santa María

Se realizó en el predio de la Cooperativa de Agua Potable de la Aldea Santa María, Departamento Paraná, luego de que el pozo permaneciera en reposo durante 12 horas.

El sitio se encuentra en cotas topográficas del orden de 90 m s.n.m. Es un caso similar al anterior, donde el perfil estratigráfico generalizado indica un paquete de Fm Hernandarias que alcanza unos 50 metros. Por debajo de esos 50 metros comienzan las arenas de la formación acuífera (Fm Ituzaingó).

El ensayo duró 9 horas, bombeando un caudal de 12,2 m<sup>3</sup>/h, y tomando niveles de recuperación durante 12 horas. La perforación de observación se encuentra a 23,70 m del pozo bombeado. La depresión máxima fue de 0,34 m.

Los datos del ensayo se pueden observar en la **tabla 12.6.5.1** y **figuras 12.6.5.1; 12.6.5.2. y 12.6.5.3.**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.5.4.** se representa, la relación en escala doble logarítmica, del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo. En dicho pozo, ubicado a 23.7 m del pozo de bombeo, la respuesta fue inmediata después de iniciado el bombeo.

Su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), muestra que existe una correspondencia aceptable con la de Theis hasta los 100' de iniciado el bombeo y luego se ajusta con la de Hantush, para un valor de **r/B = 0,2**

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 10' \quad s = 0,1 \text{ m} \quad 1/u = 110 \quad W(u,r/B) = 1.9$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 442.7 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0,00020$$

La permeabilidad **K**, considerando un espesor del acuífero de 30 m es

$$K = 442.7 \text{ m}^2/\text{día} / 30 \text{ m} = 14.8 \text{ m/d} = 1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 118.5 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0,031 \text{ día}^{-1}$$

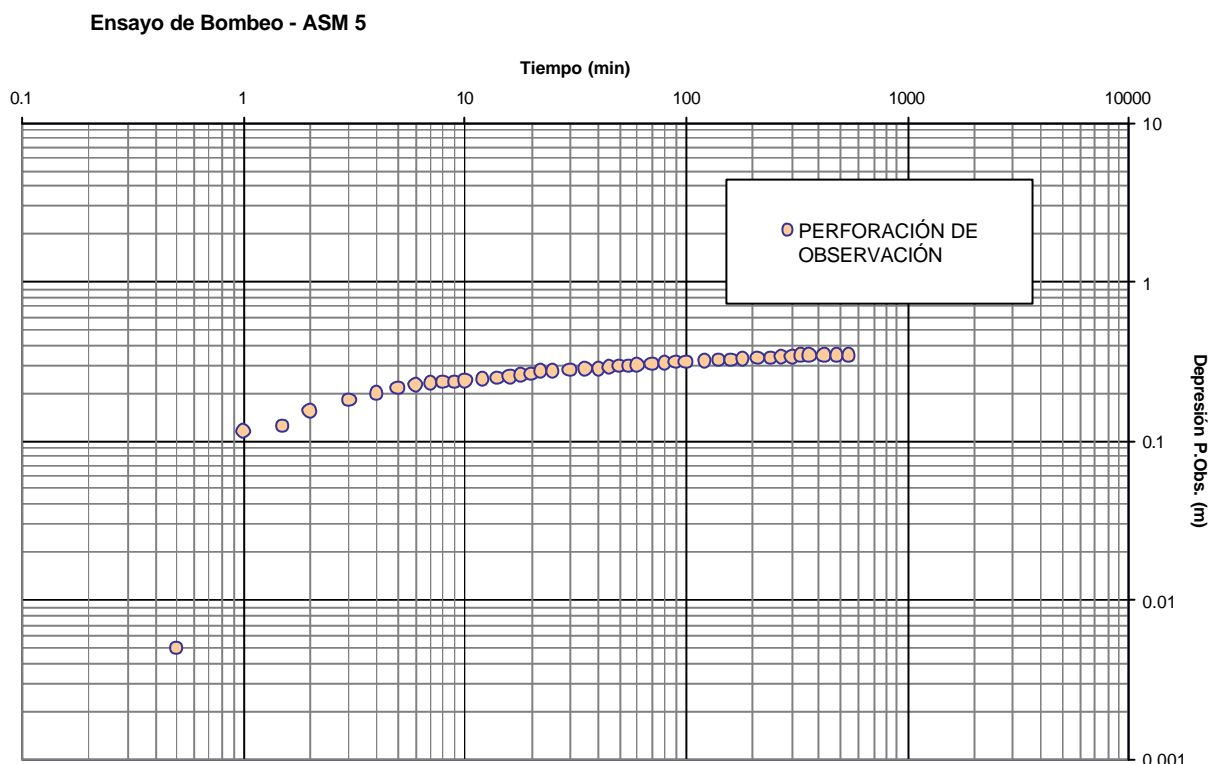


figura 12.6.5.4

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 48 \text{ m}$ ,

$$K' = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.5.5.** representa la depresión residual ( $s'$ ) respecto a  $t/t'$  en relación logarítmica para el pozo de observación. La línea que mejor interpreta el fenómeno corresponde a valores  $t/t' < 100$ , aunque se observa en

el tramo final de la recuperación un sensible disminución de pendiente especialmente valores  $t/t' < 10$ .

En consecuencia, se consideró el tramo donde la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,08$  m.

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 669.9 \text{ m}^2 / \text{día}$$

Ensayo de Bombeo - Recuperación ASM 5

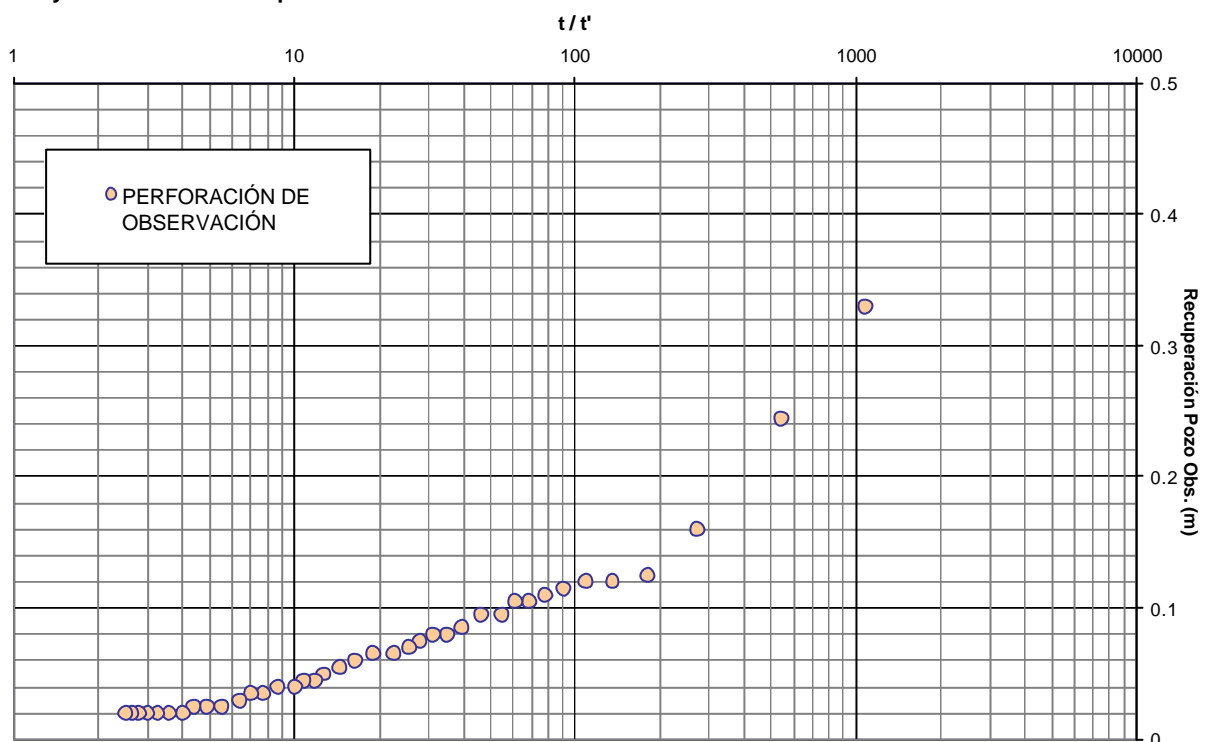


figura 12.6.5.5.

Los resultados obtenidos indicarían preliminarmente que existe recarga proveniente del acuitardo suprayacente. La permeabilidad vertical se observó alta en relación a las características litológicas medias.

### 12.6.6. Ensayo 6 – La Picada

La localidad de La Picada, ubicada en las cercanías del Arroyo Las Conchas, aguas arriba de la Ruta 12, pertenece al Departamento Paraná.

Allí la Cooperativa de Agua Potable informó sobre un ensayo realizado sobre en el pozo de bombeo cuya cota de boca de pozo es 20 m s.n.m. El paquete arcilloso que se sobrepone al acuífero es algo menor a 10 m.

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente al pozo bombeado. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 24 horas de bombeo y 6 horas de recuperación, aunque al cabo de 6 horas de bombeo el pozo se estabilizó, siendo la recuperación sorprendentemente rápida del orden de una hora. El caudal extraído fue de 6 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.6.** y las **figuras 12.6.6.1 ; 12.6.6.2. y 12.6.6.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: Las mediciones efectuadas en el mismo pozo de bombeo dan cuenta que de la rápida estabilización del nivel dinámico, en menos de 15' de extracción, con una depresión de 3.60 m, lo que conduce a un caudal específico de 1,67 m<sup>3</sup>/h/m, valor comparativamente asociado a baja productividad.

Ensayo de Recuperación: Los valores se volcaron en una gráfica semilogarítmica de acuerdo a la metodología de Theis (1935). En ella se representó la depresión residual **s'** respecto a **t/t'** en relación logarítmica. (**figura 12.6. 6.4**)

La depresión residual sólo pudo registrarse hasta 20' de iniciada la recuperación pues a partir de allí se alcanza el nivel estático. Se puede inferir cierta recarga desde el acuitardo superior (Fm Hernandarias) pero se advierte que puede además estar favorecida por una aislación deficiente del pozo.

Ensayo de Bombeo - Recuperación La Picada 6

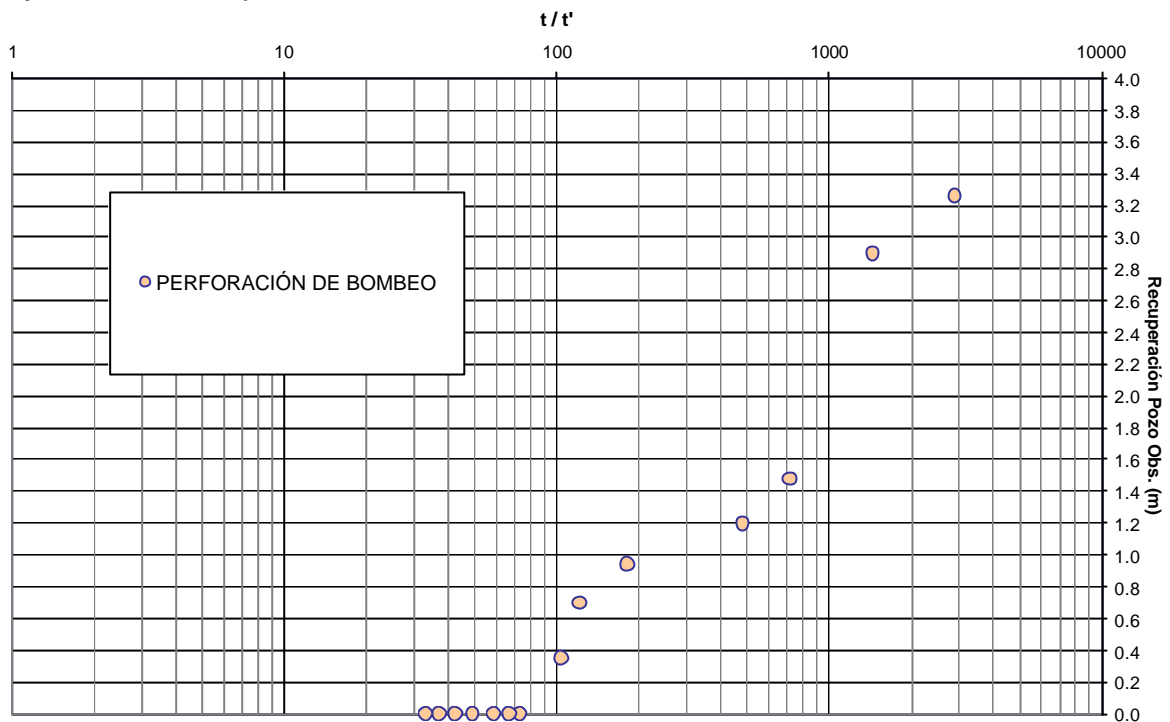


figura 12.6.6.4.

### 12.6.7. Ensayo 7 – Betbeder

Se efectuó un ensayo en la localidad de Betbeder, del Departamento Nogoyá, distante unos 12 km al oeste de Nogoyá.

El pozo de bombeo dista 7,10 m al de observación. El pozo de observación elegido fue construido hace más de 50 años (años 50-60, según se informó).

La perforación de bombeo es más reciente. Los datos que se consignan a continuación fueron aportados por el delegado/encargado de la Junta de Gobierno: de Betbeder “...la profundidad del pozo de bombeo es de 60 m. Desde el fondo hacia arriba tenía, cuando lo realizaron, 29 m de agua”.

El nivel estático se encontraba a 31 metros desde la superficie. La bomba está ubicada a 45 m. Según se informó, la cañería se cambió hace relativamente poco. Los caños anteriores estaban picados, incluso se puede observar parte del



caño retirado, el que tiene manchas negras y de óxido en uno de sus tramos (presumiblemente bacterias precipitantes de hierro y sulfato).

La bomba es de 3 HP y 5,4 Amper, con caudal de 7.000 l/h. Sin embargo a partir de una evaluación expeditiva de aforo volumétrico, se comprobó que el tanque de 12.000 litros de capacidad necesito más de 3 horas para llenarse. Esta situación se agrava en horas de alto consumo energético.

Comenzado el bombeo, el pozo de observación (a tan sólo 7,10 m) tiene un nivel estático de 33.02 m. Luego de 70 minutos de bombeo el pozo no acusó descensos, lo que se dio por terminado el mismo. Las oscilaciones entre 33.02 m y 33.015 que figuran en la planilla de datos de bombeo se podría deber a la apreciación de lectura de la sonda.

Existe casi la certeza de que la razón del no movimiento está vinculada con la obstrucción de los filtros de un pozo que tiene más de 50 años. La Junta de Gobierno que previo a los estudios pensaba colocar una bomba y utilizarlo, luego de realizado el ensayo y evaluado el estado operativo del pozo, ha decidido sellarlo.

#### **12.6.8. Ensayo 8 – Gobernador Echagüe**

El ensayo realizado en la localidad de Gobernador Echagüe, perteneciente al Departamento Tala, comenzando a las 7:40 horas luego de que el pozo estuviese en reposo durante 12 horas.

La perforación tiene 70 m (la boca de pozo en cota 83 m). El perfil estratigráfico indica que, de los 70 m la mayoría es arcilla. La cubierta arcillosa vinculada a la Fm Hernandarias arranca desde 0 hasta 46 m donde recién hay arena y es descripta hasta los 59 metros. De allí hasta los 70 metros el perfil no tiene datos. Se considera acuífero desde los 46 m.

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 10,53 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación.

La duración del ensayo fue de 3.5 horas de bombeo y 4 horas de recuperación. El caudal bombeado fue de 6 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.8.** y las **figuras 12.6.8.1 ; 12.6.8.2. y 12.6.8.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.8.4.** se representa, la relación en escala doble logarítmica, del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo.

La curva obtenida no tiene una forma adecuada, presentando oscilaciones en los primeros 10 minutos de bombeo para luego hacerse casi horizontal, estabilizando el nivel dinámico a partir del minuto 20. Teniendo en cuenta esta dificultad la coincidencia resulta difícil y pobre con la curva teórica de  $r/B = 2$ .

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 15' \quad s = 0,23 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 49.8 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0,00187$$

La permeabilidad **K**, considerando un espesor del acuífero de 24 m es

$$K = 49.8 \text{ m}^2/\text{día} / 24 \text{ m} = 2.1 \text{ m/d} = 2,4 \times 10^{-5} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 5.3 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 1,79 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de **T' . e'** y dado que  $e' = 46 \text{ m}$ ,

$$K' = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s.}$$

Ensayo de Bombeo - Gobernador Echagüe 8

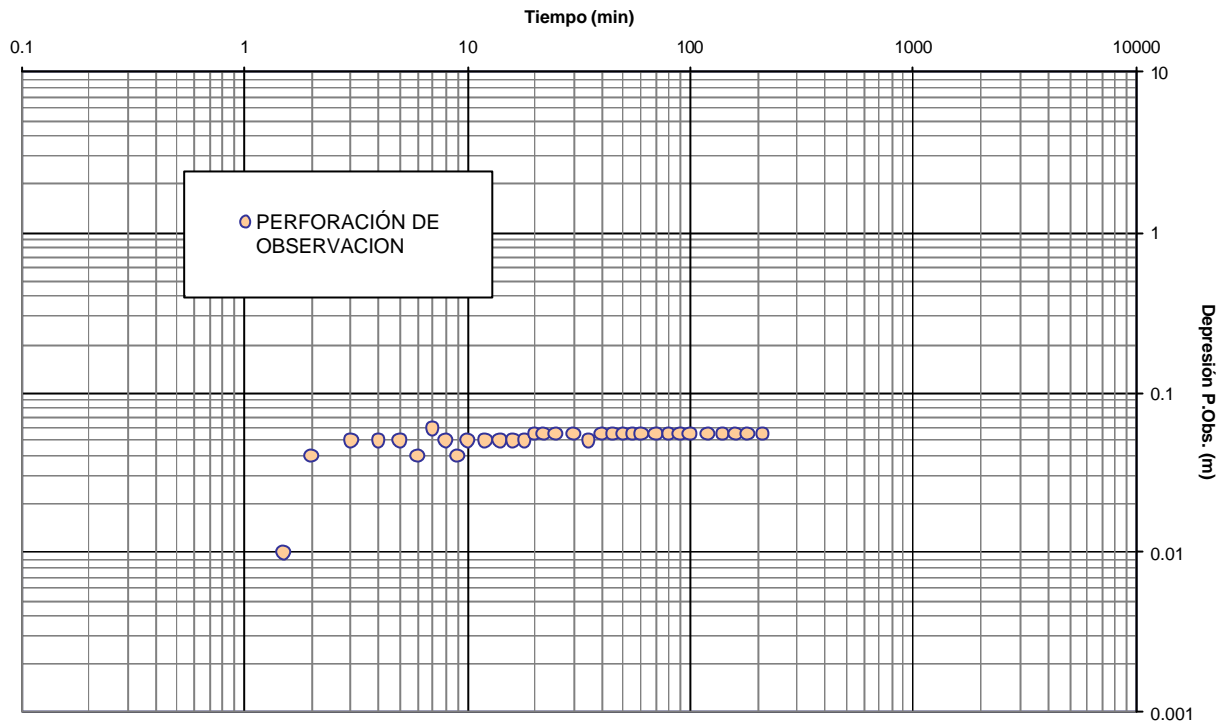


figura 12.6.8.5

Los resultados dejan dudas sobre la habilidad del pozo ensayado para interpretar el comportamiento de este tipo de acuíferos. La transmisividad tan baja, el coeficiente de almacenamiento elevado y la transmisividad vertical excesivamente alta reflejarían la inconsistencia.

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.8.5.** representa la depresión residual (**s'**) respecto a **t/t'** en relación logarítmica para el pozo de observación. La grafica presenta varios escalonamientos lo que dificulta la interpretación; sin embargo, el trazado de la recta de tendencia interpretó el fenómeno correspondiente a valores  $t/t' < 90$ .

Considerando la depresión residual para un ciclo logarítmico de  $Ds' = 0,021$  m.

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 1255 \text{ m}^2 / \text{día}$$

Ensayo de Bombeo - Recuperación Gob Echagüe 8

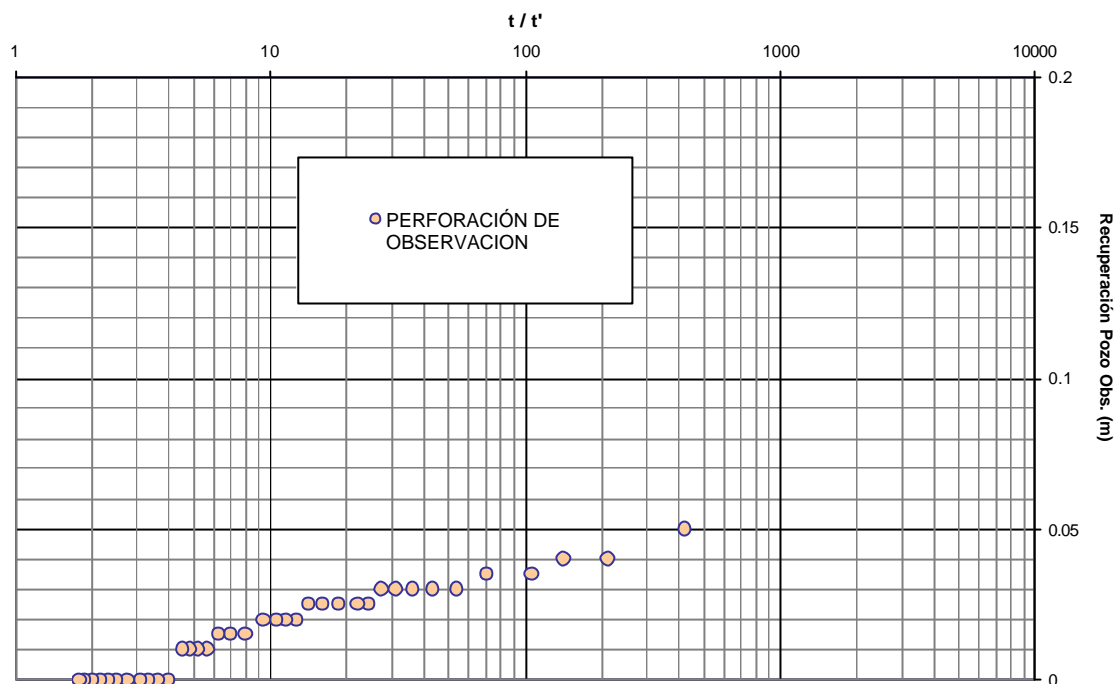


figura 12.6.8.5.

### 12.6.9. Ensayo 9 – Gobernador Sola

El ensayo realizado en la localidad de Gobernador Sola, perteneciente al Departamento Tala, comenzando luego de que el pozo estuviese en reposo durante 12 horas.

La perforación tiene 71 m (la boca de pozo en cota 84 m). La descripción del perfil estratigráfico es relativamente viejo, proveniente del Ferrocarril. La cubierta arcillosa vinculada a la Fm Hernandarias alcanza a 57 m. Desde allí hacia abajo es arena hasta el final, incluso a los 62 metros se indica abundancia de agua y que el material es pedregullo.

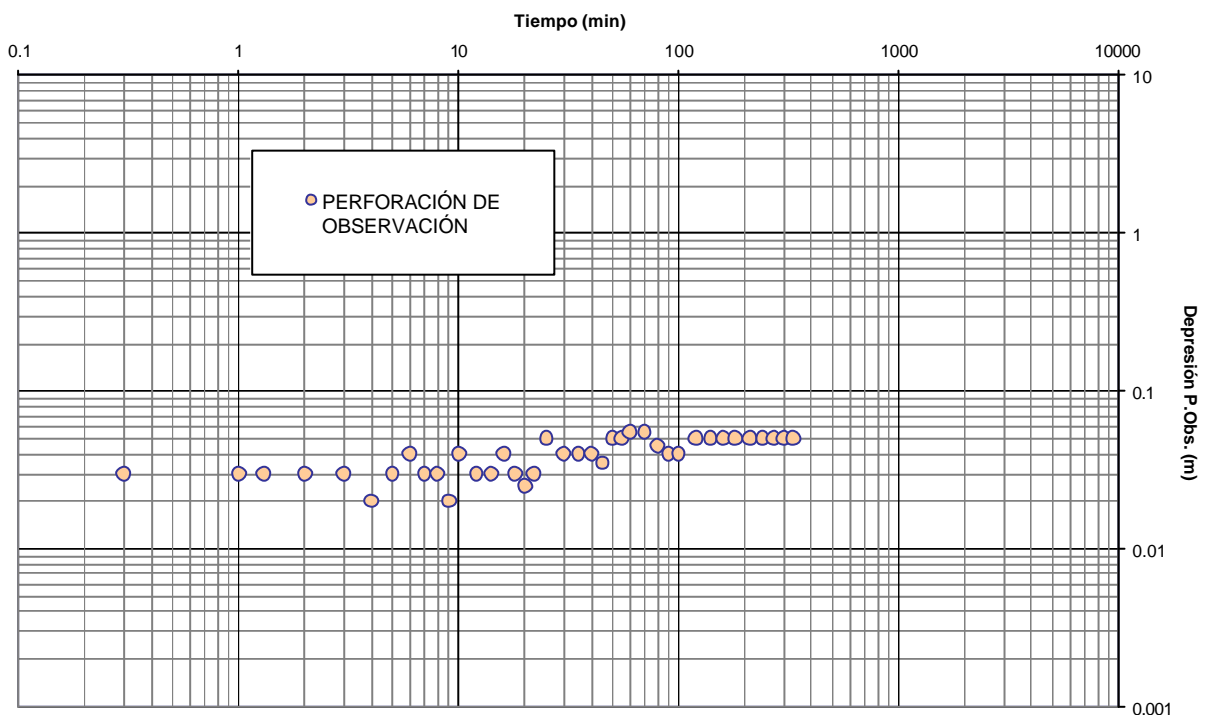
El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 9,30 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 5.5 horas de bombeo y 4 horas de recuperación. El caudal bombeado fue de 10 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.9.** y las **figuras 12.6.9.1 ; 12.6.9.2. y 12.6.9.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.9.4.** se representa la relación en escala doble logarítmica del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo.

La gráfica obtenida presenta inconsistencias y oscilaciones en los primeros 100 minutos de bombeo para luego hacerse casi horizontal, estabilizando el nivel dinámico a partir del minuto 120. Teniendo en cuenta esta dificultad la coincidencia resulta difícil y pobre, asimilable con la curva teórica de  $r/B = 0.2$

Ensayo de Bombeo - Gobernador Sola 9



**figura 12.6.9.5**

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 8.7' \quad s = 0,02 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 954.9 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0,02668$$

La permeabilidad  $K$ , considerando un espesor del acuífero de 14 m es

$$K = 954.9 \text{ m}^2/\text{día} / 14 \text{ m} = 68 \text{ m/d} = 0,7 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 46.5 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0,44 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 46 \text{ m}$ ,

$$K' = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s.}$$

Los resultados son dudosos, lo que indica la inhabilidad del pozo ensayado para interpretar el comportamiento de este tipo de acuíferos.

#### Ensayo de Bombeo - Gobernador Sola 9

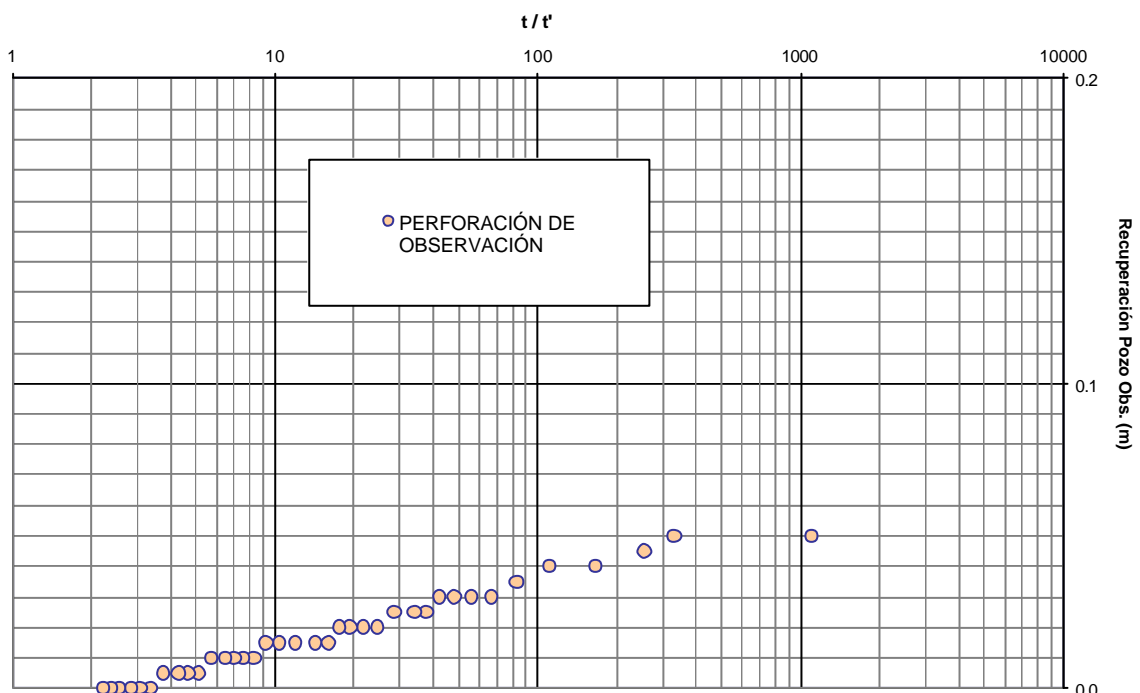


figura 12.6.9.5.

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.9.5.** representa la depresión residual (**s'**) respecto a **t/t'** en relación logarítmica para el pozo de observación. La grafica presenta varios escalonamientos lo que dificulta la interpretación; sin embargo, el trazado de la recta de tendencia interpretó el fenómeno correspondiente a valores  $t/t' < 300$ .

Considerando la depresión residual para un ciclo logarítmico de  $Ds' = 0,028$  m.

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 1568.8 \text{ m}^2 / \text{día}$$

#### **12.6.10. Ensayo 10 – Guardamonte**

El ensayo realizado en la localidad de Guardamonte, perteneciente al Departamento Tala, tuvo su inicio luego de que el pozo estuviese en reposo durante 12 horas.

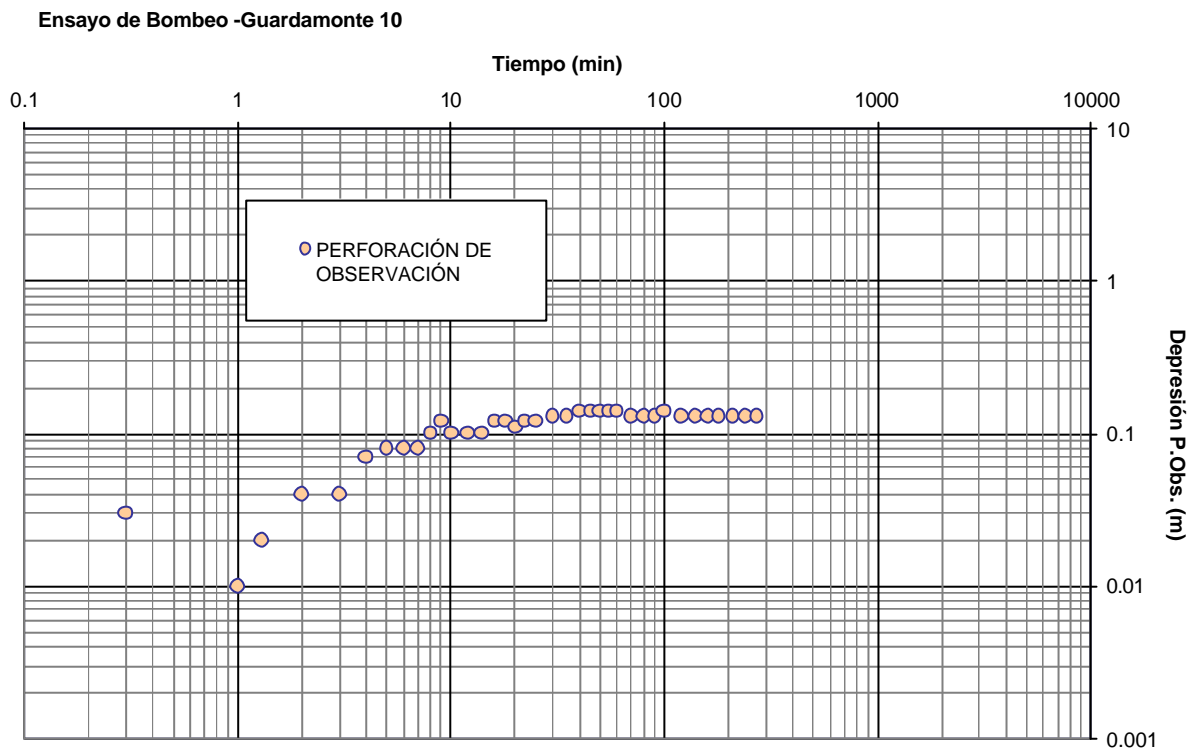
La perforación tiene 50 m (la boca de pozo en cota 73 m IGN). La cubierta arcillosa se extiende desde la superficie hasta los 39,5 m de profundidad. Desde allí se encuentra arena hasta el final, incluso se indican como arena mediana los primeros tramos y luego arena gruesa.

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 8 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 4.1 horas de bombeo y 70 minutos de recuperación. El caudal bombeado fue de 3.3 m<sup>3</sup>/h.

Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.10.** y las **figuras 12.6.10.1 ; 12.6.10.2. y 12.6.10.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.10.4.** se representa la relación en escala doble logarítmica del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo.

La gráfica obtenida presenta algunas lecturas inconsistentes que impide definir correctamente el comportamiento cuando se aparte de la curva de Theis. Una coincidencia tentativa fue siguiendo la curva teórica de  $r/B = 0.2$



**figura 12.6.10.4**

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 4' \quad s = 0,04 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 157.6 \text{ m}^2/\text{día}$$

El valor obtenido es muy bajo comparado con pruebas hidráulicas realizadas en este acuífero en estudios de la región centro de Entre Ríos.



$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0,00273$$

La permeabilidad  $K$ , considerando un espesor del acuífero de 11 m es

$$K = 157.6 \text{ m}^2/\text{día} / 11 \text{ m} = 14.3 \text{ m/d} = 0,17 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 40 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0,1 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 39 \text{ m}$ ,

$$K' = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

En líneas generales el resultado se consideró no representativo, pero se destaca además que el distanciamiento entre pozos es también un factor influyente.

$$T = 201.3 \text{ m}^2 / \text{día}$$

Ensayo de Bombeo - Guardamonte 10

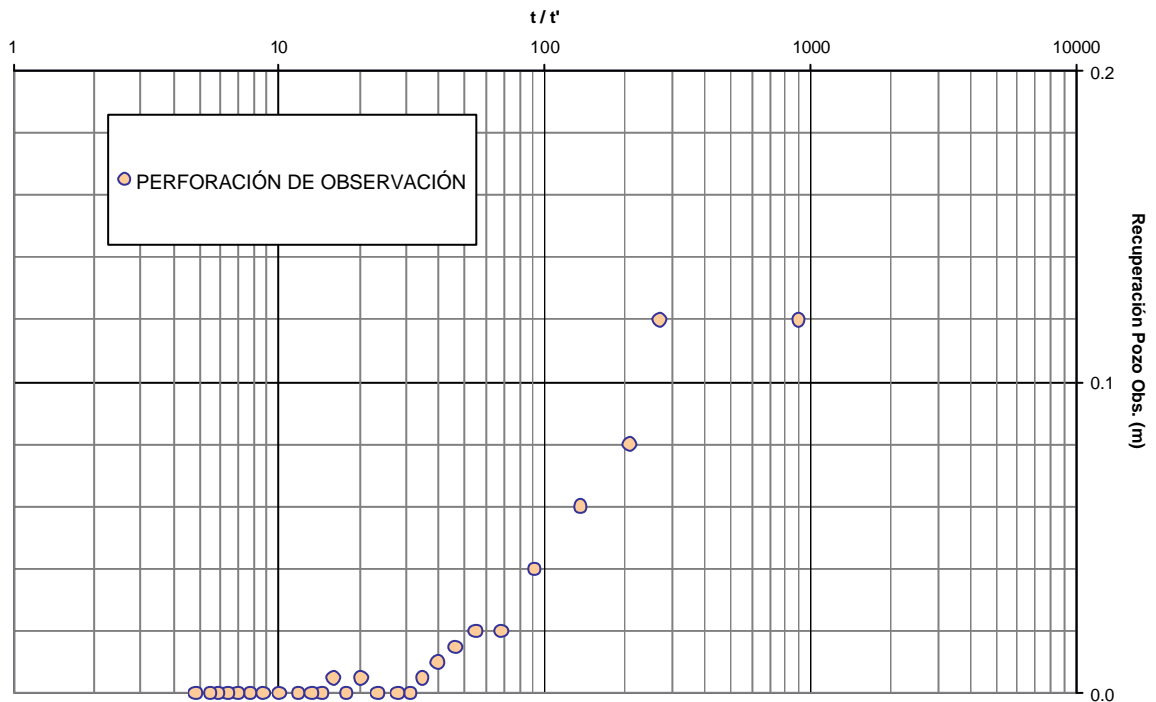


figura 12.6.10.5.

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.10.5.** representa la depresión residual (**s'**) respecto a **t/t'** en relación logarítmica para el pozo de observación. La línea de tendencia de los puntos presenta un comportamiento uniforme a partir de  $t/t' = 200$ . Se interpretó que el mejor ajuste indica que la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,072$  m.

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

### 12.6.11. Ensayo 11 – Las Cuevas

El ensayo realizado en la localidad de Las Cuevas, perteneciente al Departamento Diamante, comenzó luego de que el pozo estuviese en reposo durante 14 horas.

El encargado de la Junta de Gobierno precisó las características estratigráficas de la perforación. Indicó que entre los 0 y 41 m arcilla, luego arena hasta los 44 m. A esa profundidad aparece el calcáreo, a los 46 arcilla y a los 48 calcáreo. A 65 metros hay arcilla azul. En 71,50 m aparece arenilla que pasa a arena gruesa a los 85 m. A los 87 m se tiene arcilla nuevamente.

Una consideración que merece tenerse en cuenta en relación a la interpretación de la estratigrafía es que el nivel estático medido está en 56 m.

El ensayo consistió en levantar la información correspondiente a un pozo de observación, ubicado a 22,30 m de la perforación de bombeo. Se tomaron Nivel Estático (NE) y descensos durante el bombeo, y ascensos durante la recuperación. La duración del ensayo fue de 2 horas de bombeo y 1 hora de recuperación. El caudal bombeado fue de 9.6 m<sup>3</sup>/h.

Durante el desarrollo del ensayo se manifestaron variaciones en la tensión eléctrica lo que provocaba cambios o saltos en el régimen de funcionamiento de la bomba, afectando su curva de funcionamiento.

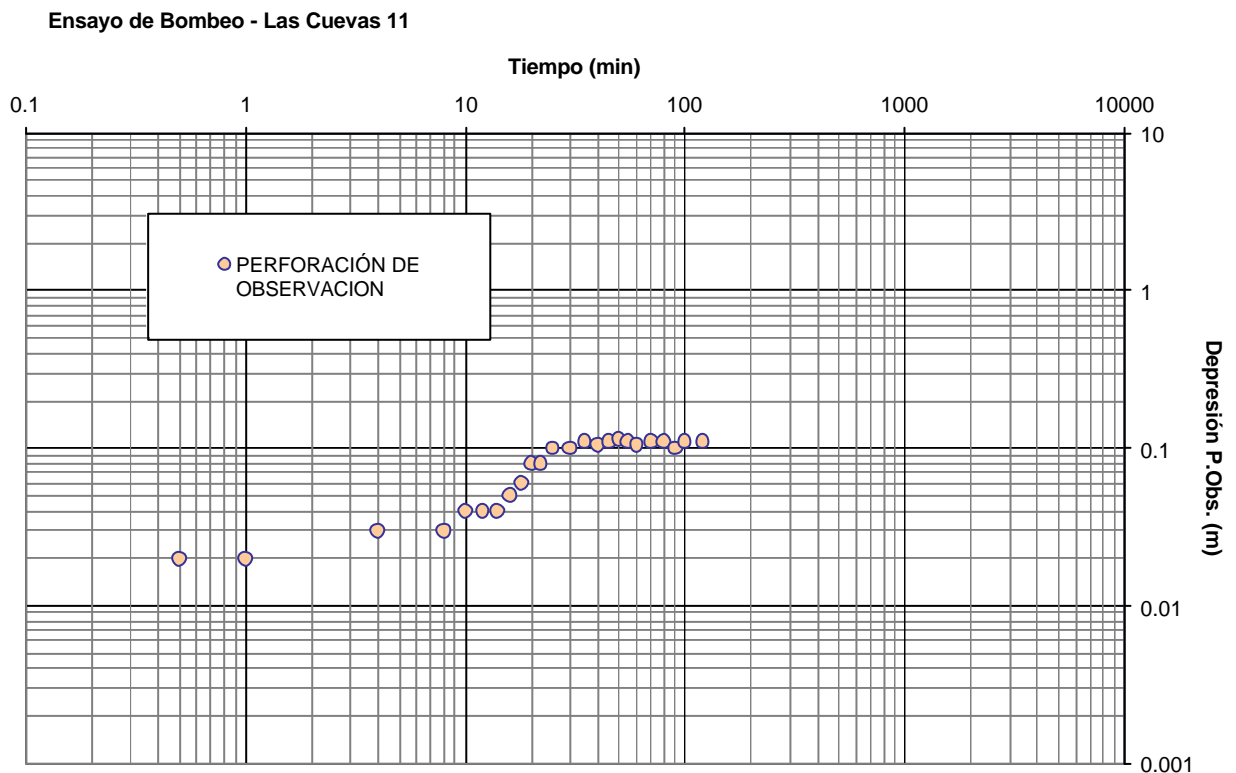
Los datos de nivel estático, descensos y ascensos se pueden observar en la **tabla 12.6.11.** y las **figuras 12.6.11.1 ; 12.6.11.2. y 12.6.11.3**

Interpretación del ensayo de bombeo: En la **figura 12.6.11.4.** se representa la relación en escala doble logarítmica del abatimiento en el pozo de observación en función del tiempo.

La gráfica obtenida presenta oscilaciones en los primeros 10 minutos de bombeo para luego su cotejo con el grupo de curvas teóricas desarrolladas por Walton (1962), muestra que existe una correspondencia aceptable con la de Theis hasta los 30' de iniciado el bombeo y luego se ajusta con la de Hantush, para un valor de  $r/B = 0,3$

En el punto de coincidencia se tiene:

$$t = 8.9' \quad s = 0,039 \text{ m} \quad 1/u = 10 \quad W(u,r/B) = 1$$



**figura 12.6.11.4**

$$T = Q \cdot W(u,r/B) / 4 \cdot p \cdot s = 470.1 \text{ m}^2/\text{día}$$

El valor obtenido se considera dentro del orden de magnitud esperable comparado con pruebas hidráulicas realizadas en este acuífero en estudios de la región centro-este de Entre Ríos.

$$S = 4 \cdot t \cdot T \cdot u / r^2 = 0,00234$$

La permeabilidad **K**, considerando un espesor del acuífero de 20 m es

$$K = 470.1 \text{ m}^2/\text{día} / 20 \text{ m} = 23.5 \text{ m/d} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

El factor de filtración es  $B = 74.3 \text{ m}$ , resultando una transmisividad vertical de

$$T' = T / B^2 = 0,085 \text{ día}^{-1}$$

La permeabilidad vertical es el producto de  $T' \cdot e'$  y dado que  $e' = 60 \text{ m}$ ,

$$K' = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Ensayo de Bombeo - Las Cuevas 11

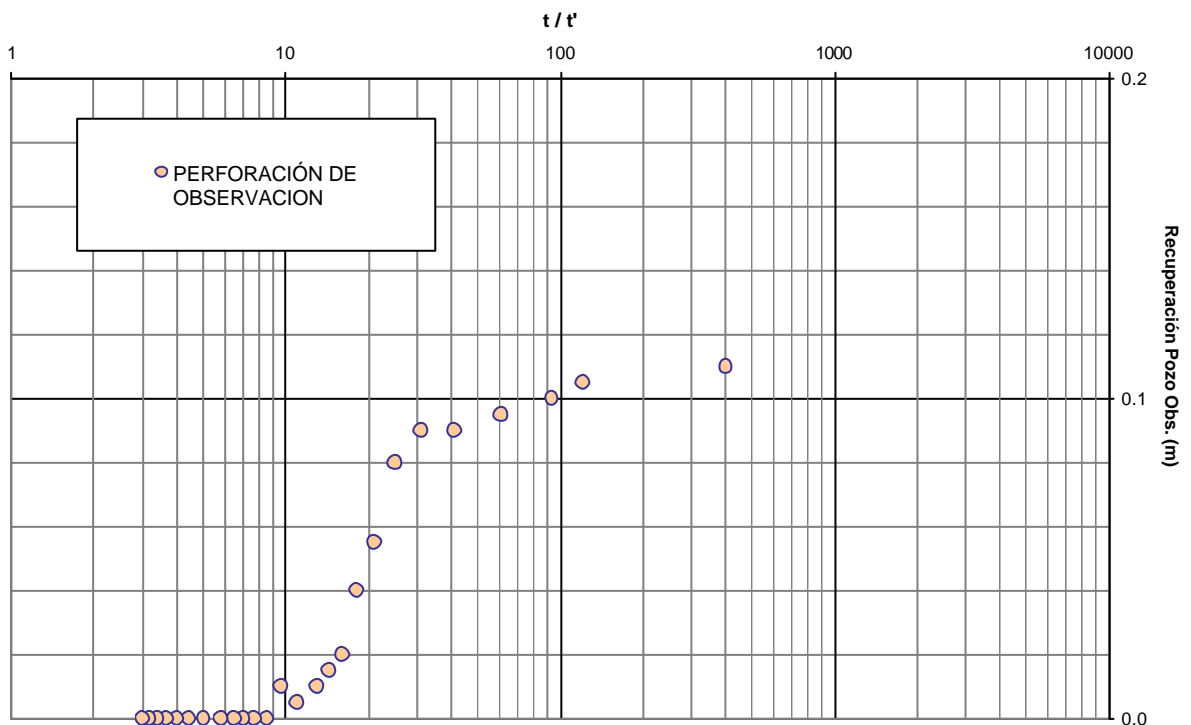


figura 12.6.11.5.

Ensayo de recuperación: La **figura 12.6.11.5.** representa la depresión residual (**s'**) respecto a **t/t'** en relación logarítmica para el pozo de observación. La línea de tendencia de los puntos con comportamiento uniforme se observa a partir de  $t/t' = 20$ . Se interpretó que el mejor ajuste indica que la depresión residual para un ciclo logarítmico es  $Ds' = 0,08$  m.

$$T = 2,3 \cdot Q / 4 \cdot p \cdot Ds'$$

$$T = 527.1 \text{ m}^2 / \text{ día}$$

Los valores obtenidos se corresponden con este tipo de acuífero.

### 12.6.12 Síntesis de Resultados

En la tabla **12.6.12** adjunta se indican los parámetros obtenidos de la interpretación de los ensayos.

Nombre	Características de los pozos y ensayos				Bombeos				Recuperación	Observaciones
					Criterios de Theis, Hantush, Boulton, según corresp.		Otras determinaciones			
	r (m)	Q (m3/hora)	Q (m3/día)	T (m²/día)	S	Depresión máx. (m)	Caudal específico (m³/h.m)	T (m²/día)		
1 La Paz	P.O	145	130	3120.0	1306.7	0.00088			1543.4	
2 La Paz	P.O	175	87	2088.0	923.1	0.00088			1819.8	
3 La Paz	P.O	175	87	2088.0	1384.6	0.00104			1661.6	
4 Belloc	P.O	9.8	5	120.0	238.7	0.00829			244.0	se corta antes de estabilizarse
5 Aldea Santa María	P.O	23.7	12.2	292.5	442.7	0.00020			670.0	
6 La Picada	P.B	-	6	144	-	-	3.60	1.67	-	Pozo de bombeo
7 Betbeder	P.O	7.1	4.7	112.8	-	-			-	Deficiente equipo y perforación de observación obstruida
8 Gobernador Echague	P.O	10.53	6	144.0	49.8 (?)	0.00187			1255.0	
9 Gobernador Sola	P.O	9.3	10	240.0	-	-			1568.8	Pozo de observación mal conservado
10 Guardamonte	P.O	8	3.3	79.2	-	0.00274			201.3	Pozo de observación mal conservado
11 Las Cuevas	P.O	22.3	9.6	230.4	470.1	0.00234			527.1	Ensayo de corta duración

tabla 12.6.12

De la interpretación de los ensayos se presentan las siguientes conclusiones:

- Las pruebas hidráulicas realizadas en las perforaciones de la zona centro poseen un grado de confinamiento relativamente alto, siendo tratadas como acuíferos confinados y/o semiconfinados. En este sentido se observa un comportamiento homogéneo en la mayoría de las pruebas realizadas.
- El parámetro hidráulico más representativo es la transmisividad. Los valores dominantes del acuífero estudiado, en condiciones medias, acusan cierta variabilidad siendo el rango de valores entre 400 – 1800 m<sup>2</sup>/día.
- Se verificó también aquí que la onda piezométrica provocada por el bombeo, en pozos de observación cercanos, traslada su efecto rápidamente, acusando descensos inmediatos del nivel hidráulico.
- En relación al grado de confinamiento, los estudios dan cuenta de de condiciones de confinamiento relativo si se los compara con los resultados observados en otras regiones de Entre Ríos. En este sentido, el coeficiente de almacenamiento posee valores del orden de 0,001 para pruebas ubicadas más al noroeste, típico de acuíferos semiconfinados. En los almacenamientos calculados para el sector central existe mayor dispersión en los valores obtenidos.
- La transmisividad media para la subregión central se considera preliminarmente, dentro del rango 1200 – 1800 m<sup>2</sup>/día.
- Los resultados obtenidos indican que, más allá de la variación regional de los parámetros hallados, se verifica en todos los casos que existe recarga diferida proveniente del acuitardo suprayacente.

- Al igual que lo observado en otras regiones adyacentes ya estudiadas en la Provincia de Entre Ríos, este resultado reafirma la hipótesis de que la recarga se produce *in situ*, en este caso estudiado, a través de la Formación Hernandarias.
- Algunas inconsistencias observadas durante las pruebas hidráulicas provienen del estado de deterioro de los pozos o incluso del conjunto del sistema de explotación: perforaciones mal mantenidas, obstrucción de filtros, equipos de bombeo obsoletos, deficiente distribución de energía eléctrica, etc.
- Se recomienda implementar líneas directrices que atiendan a mejorar los programas de mantenimiento y conservación de los pozos en explotación.
- Se recomienda profundizar el conocimiento de los sistemas explotados y contribuir al manejo de los recursos subterráneos, a través de la inclusión en los programas de estudio, de la realización de bombeos de larga duración, que, junto con una red de piezómetros de control, permitan verificar los parámetros hidráulicos obtenidos en el presente estudio y obtener un modelo de predicción de la evolución de los niveles. Este tipo de actividad, requiere del compromiso y de una programación con acuerdo y participación de todos los actores interesados en la gestión y uso del agua subterránea.

### **13. CONCLUSIONES**

**13.1.** La región de estudio presenta una cubierta superior limoarcillosa que supera los 70 m de potencia en los sectores topográficamente más elevados de la Provincia (cotas 110–119 m IGM / Villa General Ramírez, Aranguren, etc.) y la menor potencia (7,5 m), en los valles de los cauces de ríos y arroyos, siendo los más importantes el arroyo Nogoyá y el río Gualeguay. Debajo de esta cubierta se encuentran formaciones arenosas (a veces con contenidos importantes de grava y canto rodado) de origen fluvial y litoral, que alojan los acuíferos más explotados para consumo humano, animal, uso industrial y en menor medida para riego.

**13.2.** Las formaciones geológicas que almacenan el agua, reciben según su ubicación espacial y temporal (en Entre Ríos), los nombres de: Formaciones Ituzaingó (depósitos fluviales del Río Paraná, Plioceno-Pleistoceno Inferior) y Paraná (depósitos litorales y marinos, Mioceno Medio a Superior – Plioceno Medio).

**13.3.** Formación Ituzaingó está compuesta por arenas ocráceas, blancas, rojizas, con intercalaciones pelíticas de tonos verdosos y grises. Su composición mineralógica es predominantemente cuarzosa con cantidades menores de feldespatos, micas, magnetita y otros máficos. Esta unidad presenta diversos grados de compactación, desde totalmente suelta a medianamente friable y hasta sumamente dura debido a la infiltración de óxidos e hidróxidos de hierro y también sílice. Es una formación típicamente fluvial, depositada por el río Paraná, en condiciones probablemente similares a la actual. El espesor máximo de esta formación, fue registrado en Corrientes con 150 m, disminuyendo hacia el sur hasta llegar a 8-10 m en las cercanías de la ciudad de Paraná (Iriondo, 1980)

**13.4.** La Formación Paraná, fue depositada a fines del Mioceno superior por una ingresión marina que se produjo desde el NE de la Patagonia y cubrió parte de las provincias de: Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones y parte de Uruguay y Paraguay. El “Mar Paranense”, dio lugar a cuatro asociaciones sedimentarias (Camacho, 1967). Está compuesta por arcilitas gris verdosas, oscuras, poco micáceas, algo calcáreas, compactas, que suelen contener yeso, restos carbonosos, intercalaciones tobáceas y abundante contenido fosilífero. Mediante análisis sedimentológicos y evidencias faunística, se determinó un ambiente de depositación nerítico proximal (Iriondo, 1973).

Acumulaciones marinas someras y litorales distinguen a la Formación Paraná, en una faja de 70 Km. de ancho extendida a la vera del río homónimo,



desde la ciudad de Corrientes hasta la ciudad de Victoria en Entre Ríos. (Herbst, 1985).

**13.5.** Formación Paraná, si bien subyace a Ituzaingó, en parte del área de estudio se contacta lateralmente, distribuyéndose ambas en un rango hipsométrico de 37 a 40 m IGN. Esto dificulta determinar con precisión la distribución lateral de ambas, en algunos sectores de Entre Ríos. Nuestra región de estudio es uno de los sectores involucrados.

**13.6.** Ambas formaciones (Ituzaingó y Paraná), están relacionadas hidrogeológicamente.

**13.7.** La densidad final de censo (acuífero Ituzaingó/ Paraná), fue de 1 (un pozo), cada 65 Km<sup>2</sup>.

**13.8.** La profundidad promedio del nivel hidráulico de los Acuíferos Ituzaingó/Paraná en la región, es de 27,17 m (1,85 m el mínimo y 54,80 m el máximo)

**13.9.** El 88 % de las fuentes censadas en la región, explotan el Acuífero Ituzaingó-Paraná.

**13.10.** El Acuífero Ituzaingó/Paraná, se utiliza en primer lugar para la provisión de agua potable, uso industrial, y hasta el momento en un bajo nivel para riego.

**13.11.** 12 % de las fuentes censadas son niveles de agua alojados en el contacto Tezanos Pinto/Hernandarias hasta una profundidad no mayor de 4 a 5 m. En la Formación Hernandarias se encuentra (sin determinar aún su continuidad) un nivel con caudales insuficientes para extracciones importantes, pero que resuelven la provisión de agua para uso doméstico y abrevado de ganado en zonas suburbanas. La presencia de este nivel está asociado a áreas topográficamente elevadas del ámbito en estudio.

**13.12.** La red de flujo (MAPA 2), construida con los valores de cota hidráulica de cada pozo censado en el Acuífero Ituzaingó-Paraná se construyó con curvas equidistantes 5 m. En el trazado de las curvas no se tuvo en cuenta el valor de cota hidráulica de los pozos N° 15, 24, 25, 27, 40, 44, 45, 46, 47, 67, 69, 74, 77, 78, 87, 89, 95, 102, y 105, por encontrarse sus niveles en la cubierta Cuaternaria superpuesta al acuífero. De la observación de la Red surgen dos áreas netamente separadas por una divisoria subterránea que atraviesa la zona de estudio en diagonal (por el centro), con orientación NW - SE. Las dos áreas que quedan separadas por esta divisoria subterránea, regional, contienen las aguas subterráneas

que descargan al arroyo Nogoyá y al río Gualeguay. Tres divisorias menores atraviesan estos dos sectores. Una, al W de la zona de estudio, paralela y distante 6 a 10 km al E de la ruta provincial N° 32. Y otras dos, en el sector E - una, parte entre las localidades de Gobernador Sola y Maciá, hacia el N, siguiendo prácticamente la línea del ferrocarril hasta la localidad de Raíces. La otra, parte del centro de la zona de estudio, pasa por Almacén Iglesias y continúa hasta la localidad de Raíces. Estas tres últimas divisorias son de significación local, debiendo comprobarse su influencia a nivel regional según su correspondencia con un contexto más amplio que el de la zona estudiada.

**13.13.** El escurrimiento subterráneo en la mitad W de la zona de estudio se realiza en varias direcciones: NW-SE en coincidencia con uno de los tributarios más importantes del arroyo Nogoyá, el Don Cristóbal, NE-SW, en correspondencia con afluentes menores del Nogoyá, y N - S en correspondencia con la descarga superficial del Nogoyá.

**13.14.** El escurrimiento subterráneo en la mitad E de la zona de estudio se realiza en dirección W-E desde la divisoria que coincide con la línea de ferrocarril (Gobernador Sola, Maciá, Guardamonte, Raíces) hacia el río Gualeguay. Otra línea de escurrimiento subterráneo arranca con rumbo N, siguiendo las nacientes del arroyo Raíces, para terminar descargando en sentido W – E en el río Gualeguay.

**13.15.** Los valores de cota hidráulica más elevados (hasta 60 m IGN) se observan en las áreas topográficas más elevadas (localidades de Crespo, Camps, Villa General Ramírez, Aranguren). La cota hidráulica más baja es la equipotencial de 25 m IGN y se encuentra en el borde E del área, manteniendo prácticamente un paralelismo con el río Gualeguay.

**13.16.** Para toda el área investigada, al igual que en otras regiones de Entre Ríos, se observa una correspondencia entre morfología y flujos superficial y subterráneo.

**13.17.** Se procesaron ochenta y siete (87) análisis químicos. Las determinaciones para todos los puntos fueron: pH, conductividad, residuo seco, alcalinidad total, dureza total, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, sodio, potasio, calcio y magnesio. Los promedios, máximos y mínimos para las determinaciones realizadas en el agua de 87 (ochenta y siete) pozos censados en el acuífero Paraná/Ituzaingó, pueden observarse en la **tabla 12.3.3.**

	pH	C.E.	R.S.	Dur	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> H	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K	RAS *
		umho/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
<b>Prom</b>	7.7	1725	1179	329	2	444	225	273	8	83	29	292	7	6.8
<b>Máx.</b>	8.5	8300	5200	1601	31	648	2005	1587	50	402	143	1260	20	15.9
<b>Mín.</b>	7	440	310	59	0	290	6	5	0	9	3	20	2	0.5

\* Relación Adsorción Sodio

**tabla 12.3.3.**

**13.18.** Se determinaron en 36 (treinta y seis) muestras análisis de: hierro, arsénico y flúor. Los pozos elegidos para la ejecución de estos cationes fueron prioritariamente, los pozos que proveen agua a comunidades (municipios, juntas de gobierno, cooperativas de agua y escuelas) y 2 (dos) análisis de boro en pozos seleccionados en un sector donde se pretende hacer riego artificial. En la **tabla 12.3.4.** se muestran los máximos y mínimos para las determinaciones de hierro, arsénico, flúor y boro en las muestras extraídas del acuífero.

	Hierro	Arsénico	Flúor	Boro
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Máx</b>	0.80		1,1	0.14
<b>Mín</b>	0	<0,005	0,25	0

**tabla 12.3.4.**

**13.19. Consumo humano** De los ítem desarrollados para cada una de las determinaciones se desprende que el gran inconveniente para consumo humano del agua del acuífero es debido a la elevada concentración de residuo seco, dureza, sulfatos y cloruros. En el centro de la zona de estudio existe una franja que se extiende de Norte (Pozos N° 103 a N° 97) a Sur (Pozo N° 70) donde los residuos secos (**MAPA 3**) presentan concentraciones superiores a los 1.500 mg/l (límite establecido por el CAA **tabla 4.8**). De allí se discontinúa en un sector sin información, hasta volver a observarse un valor excedido en los límites en la localidad de Lucas González (Pozo N° 50) límite Sur del área. La misma franja se repite para las concentraciones de sulfatos (**MAPA 6**) con valores superiores a los 400 mg/l (límite establecido por el CAA **tabla 4.8**). En tercer lugar se repite para los cloruros (**MAPA 7**) cuyo límite máximo admitido es de 350 mg/l. Si bien en un espacio más reducido pero ocupando la misma distribución en esta franja nos encontramos con concentraciones de dureza (**MAPA 4**) superiores a 400 mg/l (máximo tolerable CAA **tabla 4.8**.) Fuera de esta

franja el único pozo que excede el valor de residuo, dureza, sulfatos y cloruros es el Pozo N° 79 próximo a Don Cristóbal. En este último caso se trata de un valor puntual.

**13.20.** El **Mapa N° 9 – Sodio**, ha sido construido con la finalidad de observar la relación del catión Na, con los aniones SO<sub>4</sub> y Cl. En el Mapa puede observarse una franja ocupada por vabres mayores de 200 mg/l (49 de 98 pozos del total) subiendo a concentraciones de 400 mg/l hasta 1.260 mg/l (25 de 98 pozos del total). El sector ocupado por estas concentraciones, coincide prácticamente con la misma área donde los residuos, sulfatos y cbruros se encuentran por encima del límite permitido. Si bien no hay norma en nuestro país que haya puesto un límite para la concentración de sodio, se conoce que en relación a la actividad fisiológica humana, la ingesta de agua con alta concentración de Na<sup>+</sup> puede afectar la tensión arterial y la actividad renal. Pese a ello la gran mayoría de las normas de potabilidad no lo considera como limitante, probablemente porque su determinación analítica recién se precisó en la década del 50 con la utilización del fotómetro de llama. La única norma conocida sobre potabilidad respecto al sodio, es la canadiense que le fija un límite de 200 mg/l (8,7 meq/l).

**13.21.** En conclusión, surge de lo expuesto que en la región investigada hay algunas limitantes en el agua subterránea en relación a **las concentraciones de residuos, dureza, sulfatos y cloruros (estos últimos asociados al catión sodio)** para consumo humano. En cuanto al nitrato la limitación es puntual. Solo referida a los cuatro pozos.

**13.22.** En la **tabla 12.4.** se muestran los pozos del acuífero Ituzaingó/Paraná, que presentan concentraciones fuera de límite para consumo humano en lo que respecta a residuo, dureza, cloruros, sulfatos y nitratos según las normas del potabilidad de Código Alimentario Argentino (**tabla 4.8.**).

**13.23.** En cuanto a los análisis especiales, el hierro, supera el valor de 0,3 mg/l permitido por el CAA para consumo. Estos pozos son el **Pozo N° 2 y Pozo N° 17** que corresponden a las localidades de Raíces y Gobernador Sola. El arsénico supera el límite de 0,05 mg/l en el **Pozo N° 61 (0,06 mg/l)** perteneciente a la **Escuela N° 94** de la Provincia de ER. En cuanto a los fluoruros algunas muestras no llegan al valor de 0,7 mg/l (límite menor exigido en el CAA) (**tabla 12.3.2.**)

**13.24.** Si bien no es objeto de este estudio el acuitardo sobrepuesto al acuífero, superan los 45 mg/l de nitratos los Pozos: N° 24 (50 mg/l), 25 (230 mg/l), 45 (50 mg/l), 69 (50 mg/l), 77 (200 mg/l) y 105 (180 mg/l).

Nº MUEST	Res Seco a 105 °C	Dur Total (c/ CO3 Ca)	Cloruros	Sulfatos	Nitratos
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4	2080		391	644	
18	2050	468	578	536	
29	2150	479	503	632	
30	5000	1601	2005	883	
31	4200	1239		1153	
43	5100	1360	1598	1497	
45		419			50
48	2200	468	496	698	
50	2100	582	541	624	
53		409			50
58	1910	462	407	599	
70	5200	1192	1845	1193	
71	4150	1073	902	1587	
72	1800		391	498	
79	2100	547	488	617	
90		444			
93	1630			476	
94	2400	407	490	503	
96	2280	631	410	871	
97	2670	790	649	876	
98	2670	720	637	868	
103	2330	507	515	647	
104	2955	674	827	792	
106					50

**tabla 12.4.**

**13.24.** De las representaciones gráficas de los análisis químicos, de acuerdo al método desarrollado por Piper (1944) se obtuvieron para las muestras extraídas del Acuífero, los porcentajes distribuidos como se muestra en la **tabla 12.5.1.**

<b>38 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas sódicas</b>	<b>43.68 %</b>
<b>31 muestras</b>	<b>Cloruradas y / o sulfatadas sódicas</b>	<b>35.63 %</b>
<b>16 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas cálcicas y / o magnésicas</b>	<b>18.39 %</b>
<b>2 muestras</b>	<b>Bicarbonatadas sódica y/o Clor y/o sulf sód</b>	<b>2.30 %</b>

**tabla 12.5.1.**

En las aguas del acuífero, se observa en la composición iónica, que entre los aniones domina en un 67 % el  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y en un 33% los cloruros y/o sulfatos y entre los cationes el  $\text{Ca}^{++}$  y el  $\text{Na}^+$  subordinan al  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$ .

**13.25. Aptitud de Agua para riego** La aptitud de agua para riego se estimó en base al Diagrama de la *U. S. Salinity Laboratory Staff, Índice SAR (1954)*, basado en la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a  $25^\circ\text{C}$  versus la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, denominada índice SAR (Razón Adsorción Sodio). Los resultados se distribuyen como indica la **tabla 12.5.2.**

Cantidad de muestras	Clase	Porcentaje
29	C3 – R2	33.33
20	C2 – R1	22.99
15	C3 – R1	17.24
13	C4 – R3	14.94
2	C3 – R3	2.30
2	C4 – R4	2.30
1	C2 – R2	1.15
5	Fuera de gráfico	5.75

**tabla 12.5.2.**

En referencia a esta clasificación, la misma ha sido creada para ambientes áridos por lo que resulta exigente para los de clima húmedo como el del área de estudio. Del total de las muestras analizadas, se desprende una gran variación en la clasificación de las muestras. Los promedios de conductividad en la zona son  $1725\ \mu\text{mho}/\text{cm}$  y del RAS 6.8. De los porcentajes resultantes se desprende que en la región estudiada, el agua del acuífero resulta con limitantes en gran parte de las muestras para ser utilizada en riego.

**13.26.** La realización y posterior análisis de once (11) pruebas de bombeo, ejecutadas en el sector oeste de la provincia (enmarcado por los límites físicos de los cursos de los ríos Guayquiraró al norte, Paraná al oeste, Gualeguay al este y el deslinde morfológico determinado por predelta al sur), permitió estimar los parámetros hidráulicos **T** (transmisividad) y **S** (almacenamiento) de los acuíferos estudiados, así como estimar **T'** (transmisividad vertical) del acuitardo sobrepuesto al acuífero. En diez de los ensayos se contó con lecturas en pozo de observación y en el restante, sólo se pudo obtener información del pozo de bombeo. En la mayoría de

los casos estudiados el acuífero es semiconfinado. La metodología aplicada para la interpretación de los ensayos de bombeo fue la desarrollada por Hantush (1956) pues se consideró la más adecuada para determinar los parámetros **T** y **S**, para una condición de flujo en régimen no permanente o variable en este tipo de acuífero. Complementariamente se interpretaron los datos correspondientes al período de recuperación del pozo, en este caso, por aplicación de la metodología de Theis (1935). Para ello se analizó la relación entre la depresión residual ( $s' =$  diferencia entre el nivel dinámico en recuperación y el nivel estático), en escala aritmética y el tiempo relativo ( $t/t'$ , donde  $t$  es el tiempo desde el inicio del bombeo y  $t'$  el tiempo desde parada de la bomba, es decir, tiempo de inicio de la recuperación) en escala logarítmica. La prueba de recuperación sólo permite obtener la transmisividad **T**, pero su uso está orientado además, a complementar los resultados anteriores brindando información del comportamiento del acuífero, del grado de conexión hidráulica entre el pozo y el acuífero, de las condiciones singulares de los ensayos, si existen recargas, si se presentan límites físicos, etc. En la tabla 12.6.12 adjunta se indican los parámetros obtenidos de la interpretación de los ensayos.

Nombre	Características de los pozos y ensayos				Bombeos				Recuperación	Observaciones
					Criterios de Theis, Hantush, Boulton, según corresp.		Otras determinaciones			
	r (m)	Q (m3/hora)	Q (m3/día)	T (m <sup>2</sup> /día)	S	Depresión máx. (m)	Caudal específico (m <sup>3</sup> /h.m)	T (m <sup>2</sup> /día)		
1 La Paz	P.O	145	130	3120.0	1306.7	0.00088			1543.4	
2 La Paz	P.O	175	87	2088.0	923.1	0.00088			1819.8	
3 La Paz	P.O	175	87	2088.0	1384.6	0.00104			1661.6	
4 Belloc	P.O	9.8	5	120.0	238.7	0.00829			244.0	se corta antes de estabilizarse
5 Aldea Santa María	P.O	23.7	12.2	292.5	442.7	0.00020			670.0	
6 La Picada	P.B	-	6	144	-	-	3.60	1.67	-	Pozo de bombeo
7 Betbeder	P.O	7.1	4.7	112.8	-	-			-	Deficiente equipo y perforación de observación obstruida
8 Gobernador Echague	P.O	10.53	6	144.0	49.8 (?)	0.00187			1255.0	
9 Gobernador Sola	P.O	9.3	10	240.0	-	-			1568.8	Pozo de observación mal conservado
10 Guardamonte	P.O	8	3.3	79.2	-	0.00274			201.3	Pozo de observación mal conservado
11 Las Cuevas	P.O	22.3	9.6	230.4	470.1	0.00234			527.1	Ensayo de corta duración

tabla 12.6.12

**13.27.** Las pruebas hidráulicas realizadas en las perforaciones de la zona centro poseen un grado de confinamiento relativamente alto, siendo tratadas como acuíferos confinados y/o semiconfinados. En este sentido se observa un comportamiento homogéneo en la mayoría de las pruebas realizadas.

**13.28.** El parámetro hidráulico más representativo es la transmisividad. Los valores dominantes del acuífero estudiado, en condiciones medias, acusan cierta variabilidad siendo el rango de valores entre 400 – 1800 m<sup>2</sup>/día. 13.28. Se verificó también aquí que la onda piezométrica provocada por el bombeo, en pozos de observación cercanos, traslada su efecto rápidamente, acusando descensos inmediatos del nivel hidráulico.

**13.29.** En relación al grado de confinamiento, los estudios dan cuenta de de condiciones de confinamiento relativo si se los compara con los resultados observados en otras regiones de Entre Ríos. En este sentido, el coeficiente de almacenamiento posee valores del orden de 0,001 para pruebas ubicadas más al noroeste, típico de acuíferos semiconfinados. En los almacenamientos calculados para el sector central existe mayor dispersión en los valores obtenidos.

**13.30.** La transmisividad media para la subregión central se considera preliminarmente, dentro del rango 1200 – 1800 m<sup>2</sup>/día.

**13.31.** Los resultados obtenidos indican que, más allá de la variación regional de los parámetros hallados, se verifica en todos los casos que existe recarga diferida proveniente del acuitardo suprayacente.

**13.32.** Al igual que lo observado en otras regiones adyacentes ya estudiadas en la Provincia de Entre Ríos, este resultado reafirma la hipótesis de que la recarga se produce *in situ*, en este caso estudiado, a través de la Formación Hernandarias.

**13.33.** Algunas inconsistencias observadas durante las pruebas hidráulicas provienen del estado de deterioro de los pozos o incluso del conjunto del sistema de explotación: perforaciones mal mantenidas, obstrucción de filtros, equipos de bombeo obsoletos, deficiente distribución de energía eléctrica, etc.

**13.34.** Se recomienda implementar líneas directrices que atiendan a mejorar los programas de mantenimiento y conservación de los pozos en explotación.

**13.35.** Se recomienda profundizar el conocimiento de los sistemas explotados y contribuir al manejo de los recursos subterráneos, a través de la inclusión en los programas de estudio, de la realización de bombeos de larga duración, que, junto con una red de piezómetros de control, permitan verificar los parámetros hidráulicos



obtenidos en el presente estudio y obtener un modelo de predicción de la evolución de los niveles. Este tipo de actividad, requiere del compromiso y de una programación con acuerdo y participación de todos los actores interesados en la gestión y uso del agua subterránea.

**13.36.** Del balance hídrico global surge para la totalidad del área de estudio que es factible la recarga del acuífero, estimándose la infiltración en el 7% de la lluvia media anual, resultando:

	%	mm/a	hm <sup>3</sup> /a
<b>P</b>	100	1095	5.650
<b>Evtr</b>	75	821	4.236
<b>Ex</b>	25	274	1.414

**13.37.** Las cuencas hídricas más importantes del área, exceden la superficie estudiada y son la del río Gualeguay y la del río Nogoyá con tributarios y afluentes. Los valores de las determinaciones químicas de los análisis de aguas superficiales de los ríos y arroyos interiores de la zona (río Gualeguay y arroyos Nogoyá, Clé, y Don Cristóbal), están dentro de los límites establecidos por las normas del Código Alimentario Argentino. La representación gráfica de los análisis químicos de acuerdo al Diagrama de Piper permite ver que, en las aguas superficiales de la zona, entre los aniones predomina en un 100 % el CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y entre los cationes el primer lugar lo ocupa el Na<sup>++</sup> y el Ca<sup>+</sup> y subordinados a éstos están el Mg<sup>++</sup> y el K<sup>+</sup>. La aptitud de agua para riego estimada en base al Diagrama de la *U. S. Salinity Laboratory Staff, Índice SAR (1954)* basado en la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica a 25 °C versus la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, denominada índice SAR (Razón Adsorción Sodio) determinó que las aguas de: el río Gualeguay, los arroyos Nogoyá y Don Cristóbal clasifiquen como C1 – R1, y el arroyo Clé como C2 – R1, significando agua de salinidad baja con una baja a media concentración de sodio.

**13.38.** Los suelos a nivel de orden que predominan en el área son los Vertisoles y los Molisoles. En menor medida los Alfisoles.

**13.39.** Geomorfológicamente el área se describe por dos superficies: una plana (Area de Tala) y otra con ondulaciones (Lomadas loésicas de Crespo.)

**13.40.** De acuerdo a la metodología desarrollada por Knoche y Borzacov (1947), mediante el empleo del climatograma el clima varía entre **cálido y templado, y seco-húmedo y húmedo**, con cierto rasgo seco en invierno, considerando las dos estaciones que influyen en el área (Paraná y Lucas González).

#### **14. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES CONSULTADAS**

**Auge M. 2001.** Acuífero Guaraní. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) # 57: 53-58 y # 58: 56-60. Buenos Aires.

**Auge M. y Santi M. 2002.** Disponibilidad de agua subterránea para la producción arrocerá de la Provincia de Entre Ríos. Prov. ER – CFI. Inéd: 1-53, 11 mapas, 30 tablas, 63 figuras. Buenos Aires.

**Auge M. y Santi M. 2003.** Riego con agua subterránea en la región arrocerá de Entre Ríos – Argentina. Rev. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (AIDIS) ISSN 0328-2937 # 71: 64-71. Buenos Aires.

**Auge M., Santi M. y Sánchez C., 2004.** Flujo y explotación de un acuífero semiconfinado como indicadores de su recarga. Entre Ríos – Argentina. XXXIII International Hydrogeology Congress. Proceedings. Zacatecas, México.

**Auge M., Sánchez C. y Santi M., 2005.** Hidrogeología de la región arrocerá de Entre Ríos. IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río IV. Córdoba.

**Custodio E. y Llamas M. R. 1983,** Hidrología subterránea. Ed. Omega. 2T:1-2.359. Barcelona.

**Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.** Datos de precipitación y temperatura media de la Estación Meteorológica Lucas González (1982 – 2009).

**Gentili C. Y Rimoldi H., 1979.** Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias. Geología Regional Argentina. T I: 185 - 223. Córdoba.

**Hantush M. S. 1956,** Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Trans. Am. Geophys. Union. Vol. 37 (6).

**INTA** (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Estadísticas Agrometeorológicas. Datos de precipitación y temperatura media de la estación Agro meteorológica Paraná (1934 / 2009).

**INTA** (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Estación Experimental Regional Agropecuaria Paraná, 1979. “Suelos y Erosión de la Provincia de Entre Ríos”. Tomo I y II. Plan Mapa Suelos de la Provincia de Entre Ríos. Convenio INTA – Gobierno de Entre Ríos.

**Instituto Geográfico Nacional.** Cartas topográficas y satelitales de la Provincia de Entre Ríos. República Argentina.

**Iriondo M., 1980.** El Cuaternario de Entre Ríos. Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Revista 11: 125-141, Santa Fe.

**Iriondo M. y Santi M.**, 2002. La Formación Salto Chico en el subsuelo de Entre Ríos. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología. VII Reunión Argentina de Sedimentología. Resúmenes: 91.

**Knoche W. y Borzacov V.**, 1947. Provincias climáticas de la Argentina. En Geografía de la República Argentina. (GAEA). T VI: 140-174. Buenos Aires.

**Piper A.**, 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 25: 914-923.

**Santi M. y Casa H.**, 2001. “Aguas Subterráneas. Departamento Nogoyá” – Carta de Suelos de la República Argentina – Convenio Provincia de Entre Ríos – INTA.

**Sanguinetti J., Santi M., Casa H.**, 2002. “Estudio de aguas subterráneas Etapa III”. Convenio Prov. ER–CFI. Inéd: 1-75, 7 tablas, 14 figuras y 5 mapas. Buenos Aires.

**Santi M.**, 2002. “Estudio de agua subterránea en el sudoeste de la Provincia de Entre Ríos”. Convenio Prov. ER–CFI. Inéd: 1-76, 32 tablas, 54 figuras y 10 mapas. Buenos Aires.

**Santi M. y Bianchi G.** 2004. Estudio de aguas subterráneas en la región sudeste de la Provincia de Entre Ríos. Convenio Prov. ER–CFI. Inéd: 1-95, 47 tablas, 69 figuras y 9 mapas. Buenos Aires.

**Santi, M., Bianchi G. y Rezzónico G.**, 2007. Agua subterránea en la región sudeste de la Provincia de Entre Ríos – IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Paraná, Entre Ríos, Argentina. (pág. 307-318).

**Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Sistema Nacional de Información Hídrica.** Estadística Hidrológica Río Gualaguay – Serie 1993 / 2008. Estadística Hidrológica Arroyo Nogoyá – Serie 1985 / 2008.

**Theis C. W.** 1935, The lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge af a well using groundwater storage. Trans. Geophys. Union. 16 th Ann. Meeting, pr. 2.

**Thornthwaite C. y Mather J.**, 1957. Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climate Drexel Inst. of Techn. # 10: 185-311.

**U.S. Salinity Laboratory Staff**,1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Agric. Handbook 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.

**Walton W. C.**, 1962. Selected analytical methods for well and aquifer evaluation. Illinois State Water Surv. Bull. 49: 81. Urbana.

***TABLAS***

## INDICE DE TABLAS

### 4. **ANTECEDENTES**

- 4.1. Precipitación mensual de la Estación Agrometeorológica Paraná – Serie 1934/2009.  
INTA Estación Experimental Paraná.
- 4.2. Precipitación mensual de la Estación Agrometeorológica Lucas González para la serie 1982/2009. Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.
- 4.3. Temperaturas medias de la Estación Paraná para la serie 1934/2009.  
INTA Estación Experimental Paraná.
- 4.4. Temperaturas medias d de la Estación Agrometeorológica Lucas González para la serie 1982/2009. Dirección de Hidráulica de Entre Ríos.
- 4.5. Caudales medios mensuales - Estación: 3037 - Arroyo Nogoyá – Ruta Provincial N° 11.
- 4.6. Caudales medios mensuales. Estación 3004 – Río Gualeguay - Rosario del Tala.
- 4.7. Antecedentes de censo hidrogeológico. Disponibilidad de Agua Subterránea para la producción arrocerá de la Provincia de Entre Ríos. Etapa 1. (CFI – DHER).  
Estudios de Aguas subterráneas Etapa III. (CFI –DHER)  
Estudio de aguas subterráneas en el Sudoeste de Entre Ríos. Etapa 1. (CFI –DHER).
- 4.8. NORMA DE POTABILIDAD. Código Alimentario Argentino.

### 9. **ANTECEDENTES**

- 9.1. Balances hídricos mensuales mensuales. Reserva de Agua Útil de 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450mm. Serie 1982/2009. **Estación Lucas González.** (soporte digital)
- 9.2. Balance Sintético E. Lucas González: Precipitación – Evapotranspiración Potencial. Evapotranspiración real. Reserva de agua útil 200mm.
- 9.3. Exceso hídrico. Estación Lucas Gonzáles. – Agua útil = 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm.
- 9.4. Balances hídricos mensuales mensuales. Reserva de Agua Útil de 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 450mm. Serie 1982/2009. **Estación Paraná.** (soporte digital)

- 9.5. Balance Sintético E. Paraná: Precipitación – Evapotranspiración Potencial. Evapotranspiración real. Reserva de agua útil 200mm.
- 9.6. Exceso hídrico. Estación Paraná – Agua útil = 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm.
- 9.7. Estadística hidrológica Arroyo Nogoyá. Serie 1990 – 2009.
- 9.8. Estadística hidrológica Río Gualeguay. Serie 1993 – 2009.
- 9.9. Índice de Escurrimiento – Arroyo Nogoyá.
- 9.10. Índice de Escurrimiento – Río Gualeguay.
- 9.11. Infiltración (en el texto).
- 11. AGUAS SUPERFICIALES**
- 11.1. Análisis químicos de aguas superficiales.
- 12. AGUAS SUBTERRANEAS**
- 12.1.1. Datos de censo hidrogeológico (en soporte digital)
- 12.1.2. Promedios, máximos y mínimos del censo hidrogeológico.(en el texto)
- 12.3.1. Método empleado y desviación estándar para cada una de las tabla ( texto)
- 12.3.2. Análisis químicos (en soporte digital).
- 12.3.3. Promedios, máximos y mínimos. Análisis comunes (en el texto)
- 12.3.4. Promedios, máximos y mínimos. Análisis especiales (en el texto)
- 12.4. Determinaciones fuera de límite en el acuífero Ituzaingó/Paraná. (en el texto)
- 12.5.1. Porcentajes de tipo se agua según Diagrama de Piper (en el texto)
- 12.5.2. Porcentajes de Clase de agua para riego (en el texto)
- 12.5.3. Aptitud de agua para riego en cada muestra.
- 12.6.1.1. Datos Ensayo 1 La Paz (en soporte digital)
- 12.6.2.1. Datos Ensayo 2 La Paz (en soporte digital)
- 12.6.3.1. Datos Ensayo 3 La Paz (en soporte digital)
- 12.6.4.1. Datos Ensayo 4 Pueblo Belloq (en soporte digital)
- 12.6.5.1. Datos Ensayo 5 Aldea Santa María (en soporte digital)
- 12.6.6.1. Datos Ensayo 6 La Picada (en soporte digital)
- 12.6.7.1. Datos Ensayo 7 Betbeder (en soporte digital)
- 12.6.8.1. Datos Ensayo 8 Gobernador Echagüe (en soporte digital)
- 12.6.9.1. Datos Ensayo 9 Gobernador Sola (en soporte digital)
- 12.6.10.1. Datos Ensayo 10 Guardamonte (en soporte digital)
- 12.6.11.1. Datos Ensayo 11 La Cuevas (en soporte digital)
- 12.6.12. Síntesis de los resultados (en texto )



***FIGURAS***

## **INDICE DE FIGURAS**

### **3. UBICACIÓN DEL ÁREA**

3.1. Área de estudio (en el texto)

### **6. CLIMA**

6.1 Precipitación y temperatura media. Paraná.

6.2 Precipitación y temperatura media. Lucas González.

6.3 Precipitación. Año húmedo. Paraná.

6.4 Precipitación Año Seco. Paraná.

6.5 Precipitación anual. Precipitación media. Paraná.

6.6 Precipitación. Año húmedo. Lucas González.

6.7 Precipitación Año Seco. Lucas González.

6.8 Precipitación anual. Precipitación media. Lucas González.

6.9 Temperatura media anual. Temperatura media. Paraná.

6.10 Temperatura media anual. Temperatura media. Lucas González.

6.11 Velocidad promedio mensual de viento a 2 m de altura.  
Paraná y Lucas González.

6.12 Climatograma. Clasificación climática según Knoche. Paraná.

6.13 Climatograma. Clasificación climática según Lucas González.

### **7. GEOMORFOLOGIA**

7.1. Mapa Geomorfológico. Área de estudio. (en el texto)

### **8. SUELOS**

8.1 Mapa de Suelos. Zona de estudio (en el texto)

### **9. BALANCE HIDRICO**

9.1. Estación Paraná: Precipitación – Evp – Evr

9.2. Estación Lucas González Precipitación – Evp – Evr

### **10. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA**

10.1. Perfiles Geológicos Centro Oeste.

### **11. AGUAS SUPERFICIALES**

11.1. Ubicación de muestras de aguas superficiales (en el texto).

11.2 Diagrama de Piper (en el texto).

11.3 Diagrama de Riego. CE – RAS (en el texto).

### **12. AGUAS SUBTERRANEAS**

12.5.2. Diagrama de Piper.

- 12.5.3. Diagrama de Piper.
- 12.5.4. Diagrama de Piper.
- 12.5.5. Diagrama de Piper.
- 12.5.6. Diagrama de Riego. CE – RAS.
- 12.5.7. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.8. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.9. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.10. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.11. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.12. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.13. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.14. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.15. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.5.16. Diagrama de Riego. CE – RAS
- 12.6.1. Ubicación de sitios de Ensayos (en el texto).
  - 12.6.1.1. Bombeo 1 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.1.2. Recuperación 1 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.1.3. Depresión Residual 1 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.1.4. Bombeo 1 La Paz (texto)
  - 12.6.1.5. Depresión Residual 1 La Paz (texto)
  - 12.6.2.1. Bombeo 2 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.2.2. Recuperación 2 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.2.3. Depresión Residual 2 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.2.4. Bombeo 2 La Paz (texto)
  - 12.6.2.5. Depresión Residual 2 La Paz (texto)
  - 12.6.3.1. Bombeo 3 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.3.2. Recuperación 3 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.3.3. Depresión Residual 3 La Paz (soporte digital)
  - 12.6.3.4. Bombeo 3 La Paz (texto)
  - 12.6.3.5. Depresión Residual 3 La Paz (texto)
  - 12.6.4.1. Bombeo 4 Pueblo Bellocq (soporte digital)
  - 12.6.4.2. Recuperación 4 Pueblo Bellocq (soporte digital)
  - 12.6.4.3. Depresión Residual 4 Pueblo Belloqc (soporte digital)
  - 12.6.4.4. Bombeo 4 Pueblo Bellocq (texto)

- 12.6.4.5. Depresión Residual 4 Pueblo Bellocq (texto)
- 12.6.5.1. Bombeo 5 Aldea Santa María (soporte digital)
- 12.6.5.2. Recuperación 5 Aldea Santa María (soporte digital)
- 12.6.5.3. Depresión Residual 5 Aldea Santa María (soporte digital)
- 12.6.5.4. Bombeo 5 Aldea Santa María (en el texto)
- 12.6.5.5. Depresión Residual 5 Aldea Santa María (texto)
- 12.6.6.1. Bombeo 6 La Picada (soporte digital)
- 12.6.6.2. Recuperación 6 La Picada (soporte digital)
- 12.6.6.3. Depresión Residual 6 La Picada (soporte digital)
- 12.6.6.4. Depresión Residual 6 La Picada (texto)
- 12.6.8.1. Bombeo 8 Gobernador Echagüe (soporte digital)
- 12.6.8.2. Recuperación 8 Gobernador Echagüe (soporte digital)
- 12.6.8.3. Depresión Residual 8 Gobernador Echagüe (soporte digital)
- 12.6.8.4. Bombeo 8 Gobernador Echagüe (en el texto)
- 12.6.8.5. Depresión Residual 8 Gobernador Echagüe (texto)
- 12.6.9.1. Bombeo 9 Gobernador Sola (soporte digital)
- 12.6.9.2. Recuperación 9 Gobernador Sola (soporte digital)
- 12.6.9.3. Depresión Residual 9 Gobernador Sola (soporte digital)
- 12.6.9.4. Bombeo 9 Gobernador Sola (en el texto)
- 12.6.9.5. Depresión Residual 9 Gobernador Sola (texto)
- 12.6.10.1. Bombeo 10 Guardamonte (soporte digital)
- 12.6.10.2. Recuperación 10 Guardamonte (soporte digital)
- 12.6.10.3. Depresión Residual 10 Guardamonte (soporte digital)
- 12.6.10.4. Bombeo 10 Guardamonte (en el texto)
- 12.6.10.5. Depresión Residual 10 Guardamonte (texto)
- 12.6.11.1. Bombeo 11 Las Cuevas (soporte digital)
- 12.6.11.2. Recuperación 11 Las Cuevas (soporte digital)
- 12.6.11.3. Depresión Residual 11 Las Cuevas (soporte digital)
- 12.6.11.4. Bombeo 11 Las Cuevas (en el texto)
- 12.6.11.5. Depresión Residual 11 Las Cuevas (texto)

**MAPAS**

## INDICE DE MAPAS

- 12.1. Base cartográfica – Escala 1: 200.000
- 12.2. Red de flujo – Escala 1: 200.000
- 12.3. Residuo seco – Escala 1: 100.000
- 12.4. Dureza – Escala 1: 100.000
- 12.5. Bicarbonatos – Escala 1: 200.000
- 12.5. Sulfatos – Escala 1: 200.000
- 12.7. Cloruros – Escala 1: 200.000
- 12.8. Nitratos – Escala 1: 200.000
- 12.9. Sodio – Escala 1: 200.000
- 12.10. Composición química del agua subterránea  
según Diagrama de Piper – Escala 1: 200.000
- 12.11. Aptitud de agua para riego – Escala 1: 200.000