Biblioteca Digital
F C E N - U B A

BIBLIOTECA CENTRAL LUIS F LELOIR
BIBLIOTECA CENTRAL LELOIR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UBA

Tesis de Posgrado

Contribución al conocimiento de la geología e hidrogeología del sistema acuífero termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

Silva, Adrian Angel

1999

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:
Silva, Adrian Angel. (1999). Contribución al conocimiento de la geología e hidrogeología del sistema acuífero termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3300_Silva.pdf

Cita tipo Chicago:
Silva, Adrian Angel. "Contribución al conocimiento de la geología e hidrogeología del sistema acuífero termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1999.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3300_Silva.pdf

EXACTAS UBA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

UBA
Universidad de Buenos Aires

Dirección: Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA - Tel. (++54 +11) 4789-9293

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

Tesis Doctoral

Autor

Lic. Adrian Angel Silva

Director

Dr. Jorge Néstor Santa Cruz

Codirector

Dr. Cesar Fernández Garrasino

1999

(TOMO I)

Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

Autor: Adrian Angel Silva
Director: Jorge Néstor Santa Cruz
Codirector: César Fernández Garrasino
Año: 1999

Palabras clave: Geología, Hidrogeología, Agua Subterránea, Termalismo, Chacoparanense, Entre Ríos.

Resumen:

El alumbramiento de aguas termales de la región oriental de la Cuenca Chacoparanense (sector uruguayo) es conocido desde mediados de la década del 40 a consecuencia de la prospección en busca de petróleo. Las posibilidades de alumbramiento en el sector argentino han sido motivo de diversas especulaciones geológicas hasta mediados de la década del 90 donde las perforaciones en busca de aprovechar el recurso se sucedieron en pocos años con diversos resultados.

En la República Oriental del Uruguay se ha realizado con anterioridad estudios parciales tendientes a la cuantificación del Recurso Hidrotermal y sus posibilidades, (TAHAL, 1986, HIDROSUD, 1988, entre otros). El objetivo de este estudio es la correlación e interpretación geológica e hidrogeológica, en un contexto regional, a consecuencia del alumbramiento en el sector Argentino

Las Formaciones continentes y/o relacionadas con el Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental son las denominadas Formación Piramboiá (Tacuarembó), Formación Botucatú (Rivera) y Formación Serra Geral, (Arapey), ampliamente estudiadas en afloramiento y que tienen continuidad en el subsuelo argentino. En el área de estudio han caracterizadas y correlacionadas en este estudio. El Sistema Acuífero Termal ha sido definido en función de sus características litológicas, hidráulicas e hidroquímicas relacionándolo con sus áreas de recarga en el Uruguay y diferenciándolo hidrogeologicamente de los acuíferos que en unidades las misma Formaciones se hayan en el subsuelo en brasileño.

Se presentan aquí, la geofísica de prospección, la geología de las perforaciones y cinco años de control hidráulico e hidroquímico del recurso que permitió confeccionar el mapa hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal y la cartografía temática relacionada incluyendo una evaluación estimativa del recurso.

Contributions to the Knowledge of Geology and Hydrogeology of the Hydrothermal System in Argentine Chacoparanense Basin

Author: Adrian Angel Silva
Director: Jorge Néstor Santa Cruz
Codirector: César Fernández Garrasino
Year: 1999

Words key: Geology, Hydrogeology, Grondwater, Hydrothermal, Chacoparanense, Entre Ríos.

Abstrac:

The presence of thermal water in the eastern area of Chacoparanense bowl (República Oriental del Uruguay) is known since the decade of 1940 because of the researches in search of petroleum. Although some institutions made studies to quantify the hydrothermal system, they said nothing about regional aspects.

The possibility of finding hydrothermal groundwater in Argentina has motivated speculations until 1990. The formations which constitute the thermal system of the Chacoparanense bowl are: Piramboiá, Botucatú (Rivera) y Serra Geral (Arapey). This research characterize and correlate the continuity of them in Argentina. Their litology, hydraulics and hydrchemistry characteristics have been related to the areas in Uruguay y Brasil.

The following thesis shows the geophisical exploration, geologic drilling and five years of hydraulics and hydrochemistry which let us made the Hydrogeological Map and the thematic mapers. It is included a evaluation about the amount of water that it could be found.

Indice

TOMO I	Página
1. INTRODUCCION	5
1.1. Motivación y Síntesis del Estudio	6
1.2. Objetivos	6
1.3. Metodología	7
1.3.1. Recopilación y síntesis bibliográfica	8
1.3.2. Revisión, interpretación y descripción de información de campo y Perforaciones disponibles y realizadas en distintas reparticiones Nacionales o empresas.	8
1.3.3. Trabajos de Campo y ejecución de perforaciones	8
1.3.4. Análisis de laboratorio	9
1.3.5. Procesamiento e interpretación de la información	9
1.3.6. Cartografía temática	10
2. GEOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO	11
2.1. Rasgos Físicos y Ubicación del Area de Estudio	12
2.2. Climatología	13
2.3. Edafología	18
2.4. Fito y Zoografía	19
2.5. Geografía Económica	20
2.6. Geografía Humana	23
3. ANTECEDENTES GEOLOGICOS	25
3.1. La Cuenca Chacoparanense	26
3.1.1. Introducción	26
3.1.2. Rasgos tectónicos de la Región Occidental de la Cuenca Chacoparanense	26
3.1.3. El Borde Occidental de la cuenca Chacoparanense	35
3.1.4. Rasgos Tectónicos de la Región Oriental de la Cuenca Chacoparanense	35
4. ESTRATIGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO	47
4.1. Características de las perforaciones de interés realizadas en la Cuenca Chacoparanense.	48
4.1.1. Las perforaciones en territorio Argentino	48
4.1.2. Las perforaciones en territorio Brasileño	53
4.1.3. Las perforaciones en territorio Uruguayo	54
4.2. Estratigrafía de las regiones vinculadas al área de estudio	56
4.2.1. Estratigrafía de la Provincia de Misiones	56
4.2.2. Estratigrafía de la Provincia de Corrientes	60
4.2.3. Estratigrafía de las Comarcas Adyacentes. República Oriental del Uruguay	66
4.3. Estratigrafía del área de estudio en la parte oriental de la Provincia de Entre Ríos y propuestas de sus correlatos regionales	68
4.3.1. Unidades Litoestratigráficas y Propuesta Estratigrafía de las unidades atravesadas en los pozos de estudio Federación –1,Concordia - 1, Colon –1, Villa Elisa – 1, Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú - 1	101
4.3.2. Propuestas sobre la correlación de los niveles Triásicos – Cretácicos del subsuelo de la Provincia de Entre Ríos	112

4.4. Estratigrafía propuesta para la Región de la Cuenca Chacoparanense comprendida por las Provincias de Chaco, Córdoba, Formosa, Santa Fe y Santiago del Estero a la luz de las nuevas perforaciones 121
4.5. Conclusiones sobre la propuesta estratigrafía del área de estudio para los niveles Triásico – Cretácicos en el marco, regional Cretácicos en el marco regional. 128
4.6. Lineamientos estructurales y propuesta de un modelo de control estructural para los niveles Jurásico – Cretácicos en la Provincia de Entre Ríos 132

5. HIDROGEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO 139
5.1. Hidrogeología General propuesta para el área de estudio 140
5.1.1. El Basamento Hidrogeológico de la Región 140
5.1.2. Los acuíferos de la Sección Infrabasaltica 141
5.1.3. Los acuíferos de la Sección Interbasaltica 145
5.1.4. Los acuíferos de la Sección Suprabasaltica 150
5.2. Características Hidrogeológicas del Sistema Acuífero Termal 157
5.2.1. Características, extensión y geometría del Sistema Acuífero Termal 157
5.2.2. Estudios geoeléctricos en la región 160
5.2.3. Propuesta de un Modelo de Correlación entre Geoeléctrica y Estratigrafía 166
5.2.4. Posibles áreas de recarga y relación con la climatología 169
5.2.5. Inventario de las Captaciones de Agua Termal de la región 173
5.2.6. Características de las captaciones y representatividad de los muestreos y ensayos 178
5.2.7. Salinidad Total, Conductividad y pH 180
5.2.8. Temperatura de las aguas y relación con el Gradiente Geotérmico 183
5.3. Hidráulica del Sistema Acuífero Termal 189
5.3.1. Presiones y Piezometría 189
5.3.2. Porosidad y Permeabilidad 193
5.3.3. Ensayos de Hidráulica y Paráremos Hidráulicos del Sistema 199
5.4. Hidroquímica del Sistema Acuífero Termal 210
5.4.1. Metodología, Toma de muestra y Monitoreos 210
5.4.2. Características generales de las aguas 212
5.4.3. Especies Catiónicas Mayoritarias 219
5.4.4. Especies Aniónicas Mayoritarias 221
5.4.5. Especies Iónicas Minoritarias 222
5.4.5. Clasificación e Interpretación 225
5.4.6. Geotermómetros 229
5.5. Isotopos del Agua en el Sistema Acuífero Termal 231
5.5.1. Introducción y generalidades 231
5.5.2. Metodología y Toma de muestra 233
5.5.3. Resultados del análisis de Oxigeno 18 y Deuterio 233

6. CONCLUSION GENERAL 235
6.1. Limitaciones y Alcances del Modelo Hidrogeológico Conceptual 236
6.2. Extensión Regional, Estratigrafía e Hidroestratigrafía 236
6.3. Geometría, áreas de recarga propuestas y características hidrogeológicas e hidráulicas generales del Sistema Acuífero Termal 243
6.4. Características Químicas e Isotópicas del Sistema Acuífero Termal 245
6.5. Reservas Totales y Recargas Anuales. Modelo Hidrogeológico Conceptual 246

TOMO II	Página
7. CARTOGRAFIA TEMATICA	**252**
7.1. Geología y Estratigrafía	**253**
7.1.1. Geología del Mesozoico, Area de Estudio y Ubicación de las perforaciones citadas en la Cuenca Chacoparanense Argentina.	**253**
7.1.2. Mapa Geológico de las Unidades de Interés Hidrogeológico en el área de estudio	**256**
7.1.3. Mapa de Lineamientos Estructurales y Gravimetría en el área de estudio	**259**
7.1.4. Mapa de Altimetría (cota) del techo de la Formación Serra Geral en el área de estudio	**262**
7.1.5 Mapa Altimétrico de la Base de la Formación Serra Geral en el área de estudio	**265**
7.1.6 Mapa Isopáquico de las Formación Serra Geral en el área de estudio	**268**
7.1.7 Mapa de Síntesis de la información Geológica y Geofísica en el área de estudio	**271**
7.2 Hidrogeología, Hidráulica e Hidroquímica	**274**
7.2.1. Mapa de Isolíneas de Presión de Confinamiento para el Sistema Acuífero Termal	**274**
7.2.2 Mapa Piezométrico para el Sistema Acuífero Termal	**277**
7.2.3. Mapa de Isotermas en Profundidad para el Sistema Acuífero Termal	**280**
7.2.4. Mapa de Isocurvas de Conductividad del Sistema Acuífero Termal	**283**
7.2.5. Mapa de Isocurvas de Sales Totales del Sistema Acuífero Termal	**286**
7.2.6. Mapa de Isocurvas de pH del Sistema Acuífero Termal	**289**
7.2.7. Mapa de Concentración de Cloruros en el Sistema Acuífero Termal	**292**
7.2.8. Mapa de Concentración de Bicarbonatos en el Sistema Acuífero Termal	**295**
7.2.9. Mapa de Concentración de Sulfatos en el Sistema Acuífero Termal	**298**
7.2.10. Mapa de Concentración de Sodio en el Sistema Acuífero Termal	**301**
7.2.11. Mapa de Concentración de Potasio en el Sistema Acuífero Termal	**304**
7.2.12. Mapa de Concentración de Calcio en el Sistema Acuífero Termal	**307**
7.2.13. Mapa de Concentración de Magnesio en el Sistema Acuífero Termal	**310**
7.2.14. Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal en el Area de Estudio	**313**
LISTA BIBLIOGRAFICA	**316**
AGRADECIMIENTOS	**351**
ANEXO I. PERFILES GEOLOGICOS Y PERFILAJES DE POZO INTEGRADOS DE LAS PERFORACIONES ARGENTINAS AL SISTEMA ACUÍFERO TERMAL.-	
ANEXO II. CORTES GEOLOGICOS, ESQUEMA HIDROGEOLOGICOS Y DIAGRAMS DE BLOQUES 3D PROPUESTOS PARA EL SISTEMA ACUÍFERO TERMAL.	
ANEXO III. CUADRO ESTRATIGRÁFICO E HIDROESTRATIGRAFICO	
ANEXO IV.- FIGURAS CITADAS EN EL TEXTO	
ANEXO V.- FOTOGRAFIAS CITADAS EN EL TEXTO	
ANEXO VI.- GRAFICOS CITADOS EN EL TEXTO	

CAPITULO 1. INTRODUCCION

" Al hombre instruido le caracteriza el buscar en los problemas aquella precisión que por su naturaleza admiten, por tanto, tan necio es aceptar razonamientos imprecisos de un matemático como pedir demostraciones a un retórico"
Aristóteles de Macedonia, 384 –322 ac

1. INTRODUCCION

1.1 Motivación y Síntesis del Estudio

El Mesozoico de la cuenca Chacoparanense Argentina se relaciona con el aquí llamado Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. El registro de esta edad es conocido desde las primeras perforaciones realizadas por la Dirección de Geología, Minas e Hidrogeología (Actual Subsecretaría de Minería) con el objetivo de brindar abastecimiento de agua al Ferrocarril a principios de siglo y más recientemente hacia mediados del mismo las campañas de exploración y prospección geológica y geofísica de YPF aportaron un importante caudal de información al conocimiento de estos niveles en el subsuelo de dicha cuenca.

A consecuencia de las exploraciones y prospecciones petroleras se han realizando trabajos y estudios que han propuesto distintas correlaciones de las diferentes perforaciones y otros datos indirectos de prospección superficial en la región, entre distintos autores que se citaran oportunamente a lo largo este estudio. Es importante destacar la importancia de la revisión periódica con el aporte eventual de nueva información en particular en el litoral Argentino donde existen pocos afloramientos de los niveles Mesozoicos. Esto último condiciona las posibles interpretaciones que están sujetas de la información de las perforaciones o la geofísica relacionada a las mismas.

En este sentido, recientemente han existido prospecciones geofísicas que culminaron hasta el momento en las perforaciones de las ciudades de Federación, Concordia, Colón, Villa Elisa y Concepción del Uruguay en el litoral entrerriano. La importancia de las mismas no solo radica en el hecho de tratarse las más recientes perforaciones en dicho sector de la Cuenca Chacoparanense, sino que además constituye un punto importante en un área donde la geología del subsuelo es poco conocida y la dispersión de información debido a la ausencia de perforaciones hace muy difícil su interpretación.

Consecuentemente con lo expuesto, el subsuelo del oriente entrerriano presenta uno de los recursos hídricos de relevantes características para la región. Se trata del Sistema Acuífero Termal alumbrado en la comarca, motivo fundamental del presente estudio. Las aguas termales de la República del Uruguay son conocidas ya desde mediados de siglo como consecuencia de las perforaciones realizadas por la actividad petrolera, que permitieron el alumbramiento de uno de los yacimientos termales más importantes en la región y probablemente entre los más extensos del mundo. En Argentina se propusieron varios proyectos de prospección y explotación del recurso hasta que en 1994 se realizo la perforación de alumbramiento de los mismos yacimientos en nuestro país. A fines de 1993 el INA (ex INCyTH) a través del PNDTAS (Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico en Aguas Subterráneas) y con el apoyo de la UNESCO (Of. Reg. Montevideo) comenzó una serie de estudios hidrogeológicos e hidroquímicos que se enmarcaron académicamente dentro de la presente tesis doctoral (FECEN, UBA). El alumbramiento de agua termal en la provincia de Entre Ríos redunda en un importante beneficio no solo como aporte a la geología e hidrogeología de la zona sino también económico para toda la región fundamentalmente dentro de la explotación turística - recreativa e industrial y más subordinada la agronómica, incluyendo también en cierta medida un aporte beneficioso a la salud a través de los centros terapeuticos relacionados a la actividad.

1.2 Objetivos

Como se ha expresado anteriormente este estudio posee un enfoque regional que intenta realizar una contribución sobre la base de la información existente en la actualidad a los aspectos geológicos e hidrogeológicos del Sistema Acuífero Termal de la Mesopotamia Argentina, directamente vinculado con las vulcanitas basálticas, sus intercalaciones clasticas y también con

subyacentes registros continentales Triásicos - Jurásicos. En este contexto podemos diferenciar tres objetivos claramente definidos:

- Contribuir a una mejor comprensión de la geología y estratigrafía de la región del Sistema Acuífero Termal y su correlación en el resto de la cuenca Chacoparanense.
- Contribuir a un modelo conceptual hidrogeológico que pueda considerarse como base de futuros estudios hidráulicos, hidroquímicos e isotópicos.
- Contribuir a un mejor aprovechamiento sustentable del recurso termal de la región y orientar futuras prospecciones y explotaciones del mismo.

En consecuencia y debido a la diversidad y complejidad de los procesos involucrados pueden surgir otros objetivos derivados de los anteriores los que serán expresados convenientemente en los capítulos correspondientes o en los anexos del presente texto.

1.3 Metodología

El presente trabajo ha tenido diferentes etapas que pueden resumirse en los siguientes ítems:

- Recopilación y síntesis bibliográfica
- Revisión, interpretación y descripción de la información de campo y de perforaciones disponible realizada en distintas reparticiones nacionales o empresas
- Trabajos de Campo y ejecución de perforaciones
- Análisis de laboratorio
- Procesamiento e interpretación de la información
- Cartografía temática
- Conclusiones y anexos

1.3.1.- Recopilación y síntesis bibliográfica

La densidad de información disponible sobre la Cuenca Chacoparanense Argentina es notoriamente menor que en el resto del territorio y esta situación es particularmente evidente en los niveles mesozoicos de la región. Es probable que la falta de afloramientos, la baja densidad de la información indirecta de superficie y numero de perforaciones sea una de las causas de la dispersión de información. Las fuentes de información fundamentales en este estudio han sido, las publicaciones nacionales e internacionales referidas al tema en seminarios, congresos, revistas, etc. La información de archivo e informes técnicos de pozo de las ex-empresas estatales como YPF, Gas del Estado, Agua y Energía y Obras Sanitarias.

La información de archivo distintas instituciones intervinientes a lo largo del presente siglo como el Servicio Geológico Nacional, la Ex Secretaria de Minería de la Nación, diversos entes Provinciales y Municipales (particularmente en la Provincia de Entre Ríos), el Instituto Nacional de Agua y Ambiente (Ex INCyTH), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la Universidad Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata, entre otros. Las Universidades e Instituciones extranjeras como la Universidad Federal do Paraná, Dirección de Suelos y Aguas del Uruguay. también la actividad privada a través de distintas empresas nacionales, YPF S.A., extranjeras como Petrobras S.A., consultoras y perforadoras privadas locales y las empresas privadas extranjeras como Shell S.A.

Sin embargo, parte de esa falta de disponibilidad de información se relaciona también con dos factores; La actitud social frente al recurso hídrico en la región en el ámbito individual y las instituciones públicas o privadas que intervienen generando la información geológica de base.

En cuanto al primer factor es importante reflexionar algunas líneas sobre la observación que la el concepto de gestión y preservación del recurso hídrico en general en la región para el individuo común pareciera no encontrarse internalizado. Es decir la "educación hídrica" es pobre o ausente. Esto ultimo nos lleva directamente a un mal manejo del recurso con técnicas y procedimientos obsoletos o sin ninguna conceptualización tecnológica.

La consecuencia es la falta o perdida de oportunidades para obtener información, ya sea porque no ha sido sistematizada o bien porque no se contemplo esta posibilidad. Esto último, como es de esperar, se traduce en algunas de las instituciones con competencia en recursos hídricos. En general las Instituciones Públicas relacionadas con la temática hídrica superponen sus incumbencias provocando una gran dispersión y falta de integración de la información.

Las empresas privadas, por diversos motivos, no sistematizan o no poseen profesionales capaces de sistematizar la información conformando así una especie de "conocimiento" individual y Tecno-verbalista (Benvenaste, 1993) que en pocas oportunidades puede integrarse a un estudio de estas características.

Debe considerarse que parte de esta información sirvió como base de los proyectos de exploración, explotación y confección de pliegos licitatorios para las captaciones de la región en las cuales se tubo responsabilidad incluso sobre la obra en ejecución.

1.3.2.- Revisión, interpretación y descripción de información de campo y perforaciones, disponibles y realizadas en distintas reparticiones nacionales o empresas

Parte de la información existente en la región puede hallarse parcialmente descripta, interpretada o procesada en los informes técnicos, o disponible como dato sin ningún tipo de tratamiento. En todos los caso se ha revisado la información existente y se ha integrado con los datos suministrados conjuntamente con la información generada específicamente para este trabajo.

1.3.3.- Trabajos de Campo y ejecución de perforaciones

Los trabajos de campo han comprendido muy diferentes aspectos en función del objetivo de cada parte del estudio geológico e hidrogeológico. Fundamentalmente podemos desglosar los siguientes ítems:

Prospecciones geofísicas: Comprendieron prospecciones geoeléctricas conjuntamente con empresas privadas y la colaboración de la Universidad de San Juan. Las mediciones se realizaron en distintos puntos del área de interés con el uso de un resistivímetro de alta sensibilidad de manufactura nacional. Se trabajo con 12 votl en corriente continua y tendidos AB de varios kilómetros de longitud. Los puntos o áreas de prospección se determinaron según la geología previa y la demanda de servicio en la región. En las captaciones con responsabilidad de obra se intervino en los perfilajes eléctricos y litológicos de las perforaciones trabajando en conjunto con las empresas contratadas.

Toma de muestra de recortes de perforación: Se realizo la toma de muestra de las captaciones realizadas en la zona oriental de la provincia de Entre Ríos particularmente en las localidades de Federación, Concordia, Colon, Villa Elisa y Concepción del Uruguay. La misma se realizó con la ayuda de las autoridades o empresas intervinientes en cada emprendimiento. La densidad del muestreo varió en función de la mayor o menor responsabilidad del autor en la obra civil, pero en todos los casos se considera suficiente a los fines del presente trabajo.

Toma de muestra de agua: El estudio de un acuífero tan particular como este, nos obliga a elaborar o adecuar metodologías y técnicas que permitan caracterizar la hidroquímica de las unidades de interés. Las etapas sucesivas deben ser:

- Inventario
- Procedimiento de muestreos
- Conclusiones y pautas para preservar o mejorar la calidad del medio ambiente

Inventario:

- -Recopilación de bibliografía existente vinculada al ámbito y tema del estudio y cartografía base.
- -Relevamiento previo de la zona con apoyo de geología y técnicas geofísicas.
- -Fotointerpretación y mapeo de la hidrología y geomorfología.
- -Elección de los lugares para el muestreo de agua superficial y subterránea, censando todas las
- Actividades a fin de poder discernir los tipos de contaminación en la zona, (si los hubiere).
- -Elaboración de una red de muestreo de piezómetros y aforos.
- -Medición de caudales, niveles, conductividad eléctrica, conductividad hidráulica, temperatura, etc. en las zonas posiblemente afectadas, cursos fluviales y piezómetros del área (si los hubiere).
- -Muestreo de agua subterránea.
- -Análisis químicos y/o bacteriológicos.

Debido a la profundidad de los acuíferos de estudio y sus características no se realizó un muestreo de aguas superficiales.

Ensayos de hidráulica: Las captaciones de la región son aguas surgentes y los dispositivos de control de presión en boca de pozo constan de válvulas de seguridad para regular los caudales y manómetro de lectura de presión. Los ensayos se han realizado en todos los pozos aptos para tal fin y en algunos casos como en Colón y Federación se han repetido en diversas oportunidades con el fin de monitorear su comportamiento o realizar otros cálculos auxiliares de caudales, presiones, transmisividades y almacenamiento de los mismos.

Control y monitoreo de las captaciones: Durante un lapso de 5 (cinco) años, en la medida en que se han ido realizando las captaciones del área de estudio, han sido controladas y seguidas con diferente intensidad atendiendo al objetivo de los ensayos hidráulicos y su evolución hidroquímica. Durante 2 (dos) años las captaciones de Federación, Concordia y Colón han sido controladas y seguidas con mayor detalle y frecuencia como se detallara más adelante.

1.3.4.- Análisis de laboratorio

Análisis químicos: Se realizó toma de muestra para análisis en el campo con el auxilio de bandas de reacción Merck con el objeto de cumplir con los monitoreos periódicos . También se tomaron muestras para análisis cuantitativos en diferentes laboratorios a mencionar, Facultad de Farmacia y Bioquímica, CTUA Instituto de Agua y Ambiente, Laboratorio de Agua y Suelos del Uruguay, Laboratorio de Aguas Argentinas y de diversos laboratorios privados.
Análisis isotópicos: Se realizó toma de muestra para análisis de diferentes isótopos en el INGEIS de Bs. As.

1.3.5.- Procesamiento e interpretación de la información

La información fue procesada en diversos programas de informática atendiendo a las distintas aplicaciones, algunas rutinas debieron ser modificadas por el autor para permitir el ingreso de nuevos datos. La base de datos realizada para almacenar información hidrogeológica (Santa Cruz, Silva y Cernadas, 1996) permitió prepara la información disponible para su posterior procesamiento. La

interpretación se desarrollará a partir del Capítulo 4 hasta el capítulo 6 donde se detallaran las conclusiones.

1.3.6.- Cartografía temática

A partir de la cartografía existente e Imágenes satelitales MSS de la región se confeccionó la cartografía de base volcada y digitalizada sobre programas tipo CAD. La confección de los mapas temáticos y su posible correlación con los previamente existentes o anexos partió de la información tomada en las captaciones que fueron georeferenciados con el auxilio de posicionadores (GRAMIX-12) y determinada su altitud con altímetros de precisión (ESCHENBACH). La construcción de la cartografía temática se realizó a partir de métodos de interpolación matemática (Kriging) volcados sobre la base cartográfica. Dicha metodología permitió la confección de la cartografía presentada en el capítulo 7.

CAPITULO 2. GEOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

"El elemento agua domina sobre todos los
demás elementos, él cubre la tierra, él apaga
el fuego y levantándose sobre el aire toma asiento
en su parte superior ocasionando las nubes"
Plinio el Viejo (23dc – 79dc)

2. GEOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 Rasgos Físicos y Ubicación del Area de Estudio

La provincia de Entre Ríos constituye, junto con las de Corrientes y Misiones, la denominada "Mesopotamia argentina", área que salvo el extremo norte de Misiones está delimitada básicamente por los dos grandes ríos Paraná y Uruguay. Particularmente Corrientes es, a su vez, casi una isla dentro de esta mesopotamia, ya que limita: al norte y oeste con el río Paraná y al este con el río Uruguay; en el sur sus límites con la provincia de Entre Ríos están dados por los ríos Guayquiraró y Mocoretá (y sus afluentes) con una escasa extensión de "frontera seca"; asimismo, con Misiones en el noroeste limita mediante los arroyos Itaembé y Chimiray y una breve extensión de "frontera seca". Está enmarcada en el norte por los paralelos 27° 15' y 30° 20' latitud sur; hacia el oeste el río Paraná corre, aunque un poco oblicuamente hacia el sudoeste, casi coincidente con el meridiano 50° W, mientras que el río Uruguay en el límite oriental es mucho más oblicuo hacia el sudoeste, entre los 55° 40' en el norte y casi 58° en el sur, siempre longitud W. El límite sur lo constituye el Sistema Deltaico del Plata y confluencia de los Ríos Uruguay y Paraná en el Estuario aproximadamente a los 34° de latitud sur.

La Provincia de Entre Ríos posee una superficie total de 78.781 Km^2 caracterizada por una geomorfología donde se distinguen un relieve de lomadas y valles de importantes ríos interiores como los Ríos Gualeguay, Gualehguaychú, Guayquiraró, Nogoyá,, Feliciano y gran cantidad de afluentes menores con desembocadura en los grandes ríos Paraná y Uruguay que limitan la provincia en el oeste y el este respectivamente. El complejo sistema deltaico del Plata la limita hacia el sur confiriendo a esa región características propias y posee las cotas topográficas más bajas cercanas al nivel del mar. Las alturas máximas sobre el nivel del mar son del orden de 85 m.s.n.m. en la zona de "Cuchilla Montiel" alto topográfico de gran extensión y rumbo aproximado Sudoeste – Noreste.

La superficie provincial de Corrientes abarca unos 88.000 km^2 , de la que aproximadamente un 20% está cubierta por agua (esteros, lagunas y arroyos, etc.), porcentaje que fluctúa en las estaciones lluviosas y secas. La amplia red hidrográfica está impuesta fundamentalmente en dos "pendientes", hacia los ríos Paraná y Uruguay respectivamente. Los principales ríos de la pendiente occidental son, de sur a norte: Guayquiraró, Corriente, Santa Lucía, San Lorenzo, Empedrado y Riachuelo; los principales de la pendiente oriental son, de sur a norte: Mocoretá, Miriñay y Aguapey. El paisaje es básicamente una llanura suavemente ondulada en parte, con muy pequeños desniveles: en la zona de la desembocadura del Guayquiraró la altura es de unos 30 m.s.n.m. y en las lomadas inmediatamente al oeste del Iberá es de unos 70 m.s.n.m. La altura máxima está dada por el C° Nazareno, integrante de una cordonada baja denominada Tres Cerros, que corre NW-SE, cerca de La Cruz (Dpto. San Martín) y que tiene aproximadamente 200 m.s.n.m. En el ángulo noreste, cercano al límite con Misiones el paisaje es más definidamente ondulado y la altura máxima de la región es del orden de los 95 m.s.n.m. Las partes más altas de la llamada "meseta del Pay Ubre" en el centro-sur de la provincia (cerca de Mercedes) tienen una altura promedio también del orden de los 90-95 m.s.n.m.

La Provincia de Misiones se halla en el ángulo NE de la Argentina. Define al extremo nororiental de la Mesopotamia, región limitada por los ríos Paraná, Iguazú, San Antonio, Pepirí Guazú, y Uruguay. Estos mismos cursos hídricos bordean a la Provincia, cuyo único límite internacional no fluvial (Argentina-Estado de Paraná, Brasil), corresponde a las adyacencias de Bernardo de Irigoyen ("frontera seca").

La Provincia de Misiones es la parte de Argentina más próxima a las zonas de los hallazgos y manifestaciones brasileñas de hidrocarburos, en los Estados de Sao Paulo, Paraná y Santa Catalina. El territorio misionero representa uno de los ámbitos geográficos mejor definidos de la Mesopotamia argentina, destacado por el sustrato superficial - subsuperficial basáltico. Se distingue la llamada

"meseta misionera", que alcanza los 700 a 800 m. sobre nivel del mar (Geografía Universal Ilustrada, 1972; Gentili y Rimoldi, 1979). Según la cartografía del Automóvil Club Argentino (1988), el rasgo orográfico dominante es la lineación serrana longitudinal NE-SO, erguida al SO de Bernardo de Irigoyen, y que comprende a las Sierras de Misiones, del Imán o Itacuará, y de San José, esta última entre la localidad homónima y la ciudad de Apóstoles, ambas próximas al límite con Corrientes. Queda así establecida la divisoria local entre las cuencas hidrográficas del Paraná y del Uruguay, las más importantes de la Provincia.

En el extremo septentrional, la Sierra de la Victoria, dispuesta transversalmente casi de O a E, separa el dominio imbrífero del Río Iguazú, ubicado al N, de su análogo mayor del Paraná, sito al S. De las divisorias bajan ríos cortos, encajados y de caudal generoso. Frecuentemente, los cauces están controlados por sistemas de diaclasas y fracturas de mantos basálticos, y frentes de coladas, que dan lugar a rápidos, saltos, cascadas, y "cataratas" (Iguazú, Moconá), de significativo potencial hidrodinámico, aún inexplorado (Geografía Universal Ilustrada, 1972; Chiozza y Pelagna de del Río, 1977; Gentili y Rimoldi, 1979; Secretaría de Energía, 1990).

El área de estudio comprende la región oriental de la Provincia de Entre Ríos y sud-oriental de Corrientes tal como se enmarca en el mapa de ubicación (Fig 1). El relieve presenta un gradiente muy ondulado y la zona se encuentra modelada y surcada por infinidad de cursos fluviales y pequeñas cañadas. Se destacan algunas escarpas topográficas formadas por rocas duras como por ejemplo areniscas silicificadas en la desembocadura de los arroyos menores en el Río Uruguay, calcretes o basaltos. El proceso fluvial es el agente geomorfológico más importante como moderador del paisaje de la región. El río Uruguay posee afluentes de poca extensión y deposición paralelos de pobres caudales. EL río Uruguay es el principal colector en la región oriental es de carácter autóctono fluyendo por una vasta zona de Sudamérica de precipitaciones medias ente 1000 - 2000 mm anuales, aunque variables, reflejado en la irregularidad de su régimen. El río Uruguay es en general de tipo meandriforme (anastomosado) con gran cantidad de islas barrera paralelas al cauce (al norte de Gualeguaychú). El mismo se estrecha en Salto Grande cerca de Concordia donde se asienta la presa hidroeléctrica dimensionada para evacuar 57000m3/seg, caudal que corresponde a una creciente de uno cada a 10000 años de ocurrencia. Los caudales máximos del río se manifiestan en su máximo en el mes de octubre con 47154 m3/seg y en estiaje (Febrero) alcanza la mínima bajante de 2.032 m3/seg. De tal forma, su año hidrológico comienza en invierno y termina en otoño (Tófalo, 1986).

2.2 Climatología

El área de estudio en la provincia de Entre Ríos se encuentra ubicada dentro de los climas de dominio Atlántico que deben, con la diferenciación de sus distintos tipos a la existencia de un gradiente térmico atmosférico a consecuencia de las variaciones latitudinales de la radiación solar, combinados con marcadas diferencias pluviométricas.

Está dividida en dos regiones climáticas: una pequeña franja al norte de la provincia que corresponde al clima subtropical húmedo de llanura y otra que cubre el resto de su territorio y corresponde al clima templado húmedo de llanura (Tabla.N°1).

Esto obedece a la convergencia periódica de distintas masas de aire. Una, tropical cálida y húmeda, proviene del anticiclón permanente del Atlántico Sur e ingresa como viento del noroeste, recrudeciendo en el verano por el desplazamiento hacia el sur del anticiclón y por la atracción ejercida en esa estación por la depresión continental noroeste que estimula su ingreso hasta el centro del continente. Por su condición de aire marítimo es el causante del mayor monto de lluvias. Otras masas de aire frío son de origen continental (sudoeste) ó marítimo (sudestada) y también polar.

Su predominio alterando, su frecuencia estacional, sus sucesivas transformaciones y el intercambio meridiano de aire tropical y polar, explican la diferenciación dinámica y gradual del clima. La región de clima subtropical húmedo de llanura se caracteriza por inviernos suaves. La

amplitud térmica no excede los 13°C y el alto grado de humedad del aire reduce su oscilación diaria. La influencia constante de los vientos del nordeste influye en las abundantes precipitaciones (1200 mm anuales).

La región de clima templado húmedo de llanura se caracteriza por su condición de planicie abierta sin restricciones a la influencia de los vientos húmedos del nordeste; al accionar de los vientos secos y refrigerantes del sudoeste (causantes de los cambios repentinos en el estado del tiempo) y a los vientos del sudeste (aire frío saturado de humedad, que da lugar a semanas enteras de cielo cubierto, lluvias y temperaturas muy estables). Este clima, caracterizado por su suavidad y ausencia de situaciones extremas, es el de mayor aptitud para el cultivo secano de cereales y forrajeras para la cría de ganado. La frecuencia de la dirección del viento en las distintas estaciones del año para Entre Ríos. En ellos queda demostrado, tanto el predominio marcado durante el año de los vientos NE, como la mayor incidencia en verano y primavera de los vientos N, EN, E y SE y el aumento en el otoño e invierno, sin ser predominantes, de los vientos S y SO, lo que se debe a un mayor influjo estacional del sistema de presión del Pacífico y Subantártico. También se visualiza la baja incidencia en la región, de los vientos del sector oeste.

En lo que respecta a la velocidad (tomada a dos metros de altura con anemómetro totalizador) las mayores intensidades se registran en los meses de setiembre y octubre, mientras que a abril le corresponden las menores.

En general, toda el área se caracteriza por poseer un régimen de vientos con intensidades de suaves a leves, lo que se evidencia en los promedios diarios mensuales que oscilan entre 10 y 12 km/h. La temperatura media anual decrece conforme al aumento de la latitud. Las temperaturas medias de enero reflejan la situación de máximo recalentamiento del territorio. Los siguientes valores corresponde a la temperatura media mensual promediada para los últimos 20 años (la serie más completa) en el área de estudio considerando las estaciones en Argentina (Entre Ríos). La temperatura media máxima promedio es de 22.6°C y la media mínima promedio es de 10.5°C. En el capítulo 5 se tomará parte de este conceptos al definir el Sistema Acuífero Termal.

Mes	Temperaturas medias
Enero	22.6
Febrero	22
Marzo	19.8
Abril	16.1
Mayo	13.3
Junio	10.6
Julio	10.5
Agosto	11.2
Septiembre	13.3
Octubre	15.8
Noviembre	18.8
Diciembre	21.2

Tabla N°1. Temperaturas medias anuales en el área de estudio (Fuente INTA)

En la isoterma de 25°C hay una inflexión hacia el sur, por influencia del recalentamiento de la parte continental.

Las temperaturas medias de julio reflejan el momento de máximo enfriamiento. Se observa el efecto moderador de los ríos. Corresponde destacar que en pleno verano, en la provincia se han registrado mínimas absolutas inferiores a 10°C, alcanzando estas marcas un valor mínimo de 5°C en febrero. Del mismo modo, en julio se han dado máximas extremas del orden de los 29°C.

Esta circunstancia configura una modalidad del clima argentino: las cuatro estaciones están mal definidas desde el punto de vista térmico y se pasa de una a otra en forma imprecisa.

Las fechas medias de primera y última helada meteorológica, (es decir, cuando el termómetro de mínima colocado en casilla meteorológica a 1,50 m de altura registra temperaturas iguales o menores a 0°C) es entre Mayo y Octubre. Las heladas extremas son las más perjudiciales.

Las tempranas se registran en mayo, mientras que las tardías se producen entre agosto y setiembre, fenómeno que puede llegar a extenderse hasta el mes de octubre para localidades como Villaguay, C. del Uruguay, Gualeguaychú y Paraná. Se destaca que la fecha de la última helada es más irregular que la de la primera. La gran dispersión de las fechas de últimas y primeras heladas constituye una característica del clima de la República Argentina. Ello se debe a un efecto combinado de la variabilidad periódica de la temperatura y a su poca amplitud anual en la época en que ocurren las heladas debido a la influencia oceánica.

En relación con la agricultura el daño que pueden ocasionar las heladas extremas, dependerá tanto de su duración (en horas) intensidad (valor absoluto) y frecuencia (número de veces consecutivas o aisladas que se registren heladas), como de la sensibilidad al frío y estado fenológico del cultivo. En la provincia el perjuicio es mínimo y siempre en áreas muy reducidas sobre todo asociadas al relieve, ya que debido a la suavidad de los inviernos las heladas no son muy significativas, registrándose como récord absoluto una mínima de -8°C.

En el Tabla N° 2 se observa el número de días con heladas meteorológicas para distintas localidades de la provincia. A Gualeguaychú y Villaguay les corresponde la mayor frecuencia en el año y a La Paz, la menor.

Localidades	M	J	J	A	S	O
C. del Uruguay	0.4	3.0	3.0	1.2	0.5	-.-
La Paz	-.-	0.3	2.3	0.5	-.-	-.-
Gualeguay	0.9	1.4	1.4	1.9	0.4	-.-
Concordia	0.2	1.0	1.4	0.8	-.-	-.-
Salto Grande	0.3	1.1	11.9	0.2	-.-	-.-
Villaguay	0.2	4.7	4.7	3.5	1.3	0.2
Las Delicias	0.4	1.9	2.0	1.9	0.5	-.-
Mazaruca	0.7	2.1	2.6	1.9	0.6	-.-
Gualeguaychú	1.4	5.6	5.6	4.9	2.0	0.2
EEA Paraná	0.1	0.4	2.0	1.0	0.2	-.-

Tabla N°2-Numero medio de días con heladas meteorológicas para distintas localidades de Entre Ríos.

Cabe agregar que así como es posible el registro de años extremos con 3, 5 y hasta 30 días con heladas para algunas localidades, existen otros en que el fenómeno no se ha manifestado. Para la actividad agropecuaria también es importante conocer el régimen de las temperaturas mínimas del aire en las capas más cercanas a la superficie del suelo, porque los umbrales térmicos a que descienden en determinados períodos del año no se registran a nivel de casilla, pero significan un peligro para las plantas. En el Tabla N° 3 se observan los datos al nivel de 0,05 m para los tres observatorios agrometeorológicos de las Estaciones Experimentales del INTA en Entre Ríos.

Las fechas extremas de heladas tempranas y tardías que se registran en estas condiciones son: EEA Concordia, del 3 de mayo al 18 de octubre (168 días); EEA C. del Uruguay, del 28 de marzo al 28 de noviembre (245 días); EEA Paraná, del 29 de abril al 27 de octubre (181 días). Es oportuno destacar que el comportamiento térmico a este nivel evidencia la posibilidad permanente de registros mínimos menores a 5°C durante todo el año, si bien la EEA Concordia este fenómeno no es tan frecuente en los meses de enero a diciembre.

Mes	INTA- EEA CONCORDIA 1967-79			INTA-EEA C. DEL URUGUAY 1965-85			INTA-EEA PARANA 1965-85		
	medias abso.	abso. mens.	nº x días c/heladas	medias abso.	abso. mens.	nº x días c/heladas	medias abs.	abso. mens.	nº x días c/heladas
Enero	16.2	3.9	0.0	15.4			16.7	4.0	0.0
Febrero	15.4	5.1	0.0	14.8	0.5	0.0	16.0	3.2	0.0
Marzo	14.5	4.0	0.0	12.7	-0.5	0.1	14.3	0.6	0.0
Abril	9.5	0.2	0.0	9.1	-3.6	0.9	11.2	-3.2	0.3
Mayo	7.1	-5.5	1.3	6.9	-6.6	4.8	9.0	-6.5	1.7
Junio	4.9	-7.7	7.8	3.7	-8.6	10.1	5.9	-8.0	4.9
Julio	5.0	-8.4	6.0	3.7	-9.8	10.4	5.7	-8.9	6.4
Agosto	5.1	-8.2	5.4	3.5	-8.4	9.9	5.5	-7.6	5.1
Setiem	7.0	-7.6	3.9	5.5	-7.9	5.7	7.5	-6.5	2.3
Octubre	9.2	-3.5	0.9	8.5	-5.7	1.8	10.4	-3.8	0.1
Noviem	12.1	0.3	0.0	10.7	-2.1	0.2	12.8	1.9	0.0
Diciem	13.8	3.0	0.0	13.1	1.3	0.0	14.9	4.9	0.0
Anual	10.0	-8.4	25.3	9.0	-9.8	43.9	10.8	-8.9	20.9

Tabla N°3. Temperaturas mínimas del Aire a 0,05m sobre la superficie para tres localidades tipo.

Desde el punto de vista agronómico, el tenor de humedad en el ambiente es importante, ya que:

- Regula la desecación de los suelos
- Influye en el grado de transpiración de las plantas
- Determina la aparición o no de plagas.

También lo es desde el punto de vista humano dado que asociado a la temperatura, es determinante del grado de confortabilidad ambiental. La media diaria anual de humedad relativa para la provincia supera en toda su extensión el umbral del 60% valor que se incrementa de norte a sur (Tabla N° 4).

Localidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
La Paz	64	66	66	72	74	76	73	67	65	66	61	60	68
Concordia	62	66	67	73	78	82	80	75	74	73	64	60	71
Villaguay	62	67	75	79	83	82	81	76	72	70	64	60	73
EEA Paraná	65	67	71	76	78	82	78	72	71	73	68	65	72
C. del Uruguay	64	67	69	75	78	83	80	75	73	72	65	63	72
Victoria	66	69	71	76	79	82	79	74	71	74	71	69	73
Gualeguaychú	62	66	75	79	83	84	82	78	76	74	68	62	73
Mazaruca	71	75	79	81	84	87	85	81	78	79	75	71	79

Tabla N°4. Humedad Relativa Media Mensual y Anual- Periodo 51/60

En términos generales, de noviembre a febrero inclusive, los promedios diarios mensuales se ubican entre el 20 y 70%. En los meses restantes, las medias superan el umbral del 70%, correspondiéndole a junio y julio las medias mensuales más elevadas, superiores al 80%. El efecto combinado de la temperatura, el viento y la humedad relativa influye en la evapotranspiración que es uno de los datos necesarios para el planeamiento del manejo del agua.

Las precipitaciones anuales disminuyen en forma gradual de NE a SO, desde 1200 a 900 mm anuales. En los meses de invierno los mayores porcentajes de lluvia se registran en la parte oriental de la provincia y los menores, en la occidental. Lo contrario ocurre en el verano, época en que la zona más lluviosa se encuentra en la parte occidental.

Durante el otoño la distribución de las lluvias en las distintas localidades es más o menos pareja. En cambio, en los meses de primavera, la zona más lluviosa le corresponde al noroeste de la provincia y la de menores precipitaciones, al sudeste. En general, la época de mayores precipitaciones abarca desde octubre a abril, período en que cae aproximadamente el 73% del total anual. Durante esta época los mayores porcentajes de lluvias están en el oeste de la provincia, región que a su vez tiene los menores porcentajes de la época menos lluviosa (mayo-septiembre).

En la Provincia de Corrientes el clima no es exactamente homogéneo, pero en líneas generales se lo puede caracterizar como: mesotermal (cálido templado), sin estación seca, con precipitaciones máximas en otoño (del orden de los 900-1000 mm anuales en el oeste y aumentando hacia el este) y veranos cálidos (temperaturas del mes más cálido superiores a 22°C). Estas características varían de sur a norte y las lluvias también varían notoriamente desde el oeste hacia el este. Una buena y más detallada descripción climática, con abundancia de cifras, se puede encontrar en el informe de Edison-Consult (1965) y una mejor aún en el trabajo de Bruniard (1982).

Diversos autores han propuesto anteriormente esquemas de subdivisión en las llamadas "regiones naturales", basándose en diferentes criterios o elementos de juicio, algunas de las cuales pasamos a reseñar brevemente. Aparte de las más vagas descripciones antiguas, quien brinda un primer esquema de subdivisión de la provincia es Romero Fonseca (1962) que utilizó un criterio estrictamente aplicado, tomando las áreas donde se hallaban distintos materiales para las construcciones viales; en rigor, subyace aquí un criterio geológico. Su esquema comprende 5 regiones. Posteriormente Bruniard (1966) publica un esquema bastante similar al anterior dividiendo a la provincia en 6 regiones: utiliza como criterio la fisiografía general (incluyendo la morfología), la vegetación y los suelos. Herbst (1971) utilizando un criterio estratigráfico - litológico dividió la provincia en dos "ámbitos": uno oriental y otro occidental, separados por una angosta franja que corresponde a la "cuenca del Iberá" y su principal desagüe, el río Corrientes. Popolizio (1977) hace una subdivisión parecida pero separa una franja occidental denominada "planicie del río Paraná". Finalmente otro interesante esquema fue presentado por el grupo del "Mapa de Suelos", basado fundamental mente en la distribución de suelos y vegetación.

Como síntesis de lo expuesto, un esquema basado en la conjunción de los datos aportados por la geología, esto es, la dominancia de tipos litológicos y la morfología (representada por la altitud general) y sus reflejos, el suelo y en menor grado la vegetación, es la proposición actual. La provincia queda dividida en cuatro regiones principales (Popolizio, 1977):

- I La región "alta", con dominio de substratos de rocas duras, con dos subregiones: Ia) predomina la porción nororiental que es la continuación del paisaje misionero, con subyacente de basaltos, cubiertos por una capa de suelos rojos y originalmente -en parte- cubierta por selva; las alturas promedio son del orden de los 90m.s.n.m. y la morfología es la de una llanura ondulada, en escalones descendentes hacia el sudoeste. Ib) La "meseta mercedeña" o del Pay Ubre, en la que subyacen basaltos y cuarcitas y areniscas, con escasa cobertura de suelos; la vegetación es de monte, parque y/o praderas y morfológicamente también es ondulado, aunque más suavemente que en la región anterior; las máximas alturas (C° Pajarito) son de 113 m.s.n.m., bajando en forma continua hacia el sur.

- 2) La región "arenosa", que constituye un triángulo limitado por el río Paraná al norte y oeste y el borde occidental de la "cuenca del Iberá" y del valle del río Corriente respectivamente; subyacen sedimentos eminentemente arenosos y limosos, más o menos friables; el paisaje es el de una llanura incisa por varios valles fluviales y los respectivos interfluvios en forma de cordones también arenosos. Parte de los valles fluviales son zonas de esteros. La vegetación original fue de "monte".

- 3 Una región "llana" que ocupa la extensión entre los ríos Miriñay y Aguapey, con substrato de rocas duras (basaltos y cuarcitas/areniscas) pero cubiertas por un espesor relativamente grueso de sedimentos areno-arcilloso; es la llamada región de los "malezales", en parte inundada durante largos períodos, y con manchones de "monte" en las partes más altas.

- 4. La región "deprimida", constituida por la cuenca del Iberá con sus lagunas, esteros y malezales y los valles fluviales de los ríos Corriente, Aguapey y Miriñay. Asimismo quedan incluidos en esta "región" los complejos de esteros de la región "arenosa" (2) (esteros del Riachuelo, de Las Maloyas, Carambola, etc.). La provincia de Misiones posee clima subtropical sin estación seca, o tropical - subtropical húmedo homogéneo, con algunas heladas y escasos períodos de sequía (temperatura máxima absoluta: 35,5-42,2°C; precipitaciones pluviales: 1500 a 2000 mm. anuales) (Geografía Universal Ilustrada, 1972; Chiozza, 1977; Chiozza y Petagna de del Río, 1977; Secretaría de Energía, 1990).

2.3 Edafología

Las provincias de Entre Ríos y Corrientes debido a la diversidad de factores pedogenéticos concurrentes y el grado de incidencia de cada uno se ellos en situaciones particulares y alternativas, reflejadas en la morfogénesis de los individuos-suelos, hace que estas provincias, como pocas en el país, exhiba un verdadero catálogo de suelos.

Dentro de su territorio se encuentran hasta hoy 8 de los 10 Ordenes que contempla la clasificación taxonómica del sistema norteamericano vigente (Soil Survey Staff, 1975). El suelo superficial que cubre el área configura un complejo biológico, químico y físico que responde a la acción combinada de factores del medio ambiente actual y pasado.

Los materiales generadores de suelos y la clase de minerales que los componen, temperaturas medias y extremas, su frecuencia, relativa precipitación pluvial total y su régimen, fluctuación de la capa freática (profundidad y duración) constancia e intensidad de los vientos, relieve general, tipo y grado de pendiente. La incidencia particular de cada uno de ellos condiciona una gran variedad de unidades edáficas, particularmente en la Provincia de Corrientes.

En esta extensa región, el material madre es quizás uno de los elementos que más inciden en el carácter del individuo-suelo. Así se encuentran suelos desarrollados a partir de materiales que se hallan en segundo o tercer ciclo de evolución, sedimentos que sufrieron redeposiciones sucesivas, y por lo tanto se muestran pobres en materiales primarios meteorizables. Entre las litologías aflorantes que contribuyen a la génesis de los suelos de la región son los sedimentos lacustres, limolíticos, arcillosos, sedimentos fluviales arenosos, arcillosos, arcillo-arenoso, las areniscas consolidadas y no consolidadas y el basalto (Edison Consult, 1965).

El sistema norteamericano de clasificación taxonómica vigente (Soil Survey Staff, 1975) contempla dos criterios diferentes para agrupar a suelos dentro de sus categorías menores a nivel de Familia. Uno de ellos, utilizado para dividir los Subgrupos, tiene en cuenta la textura, mineralogía, temperatura, etc. El otro da énfasis a los conceptos que expresan propiedades con significado sobre uso, manejo, o comportamiento del suelo (Soil Survey Staff, 1975).

La región que abarca ambas provincias en su conjunto presentan, de acuerdo con su relieve, varios ambientes con caracteres propios, todos íntimamente relacionados con su origen geológico y

la acción de los agentes modeladores. La característica de cada suelo es la resultante de la influencia de los factores formadores, tales como el clima y los agentes bióticos, actuando sobre el material originario, condicionado por el relieve, a través del tiempo, a los que podría sumársele la acción del hombre. En la provincia se sucedieron procesos geológicos cambiantes, que se reflejan en la complejidad de los materiales de superficie. Así también, la evolución de los suelos es diferente en ambas regiones y aún dentro de cada una de ellas.

En la región se observan suelos poco evolucionados, sobre sedimentos modernos y otros que han adquirido un desarrollo completo con la formación de los horizontes A-B-C, a partir de materiales más antiguos. En las condiciones climáticas actuales, los suelos están sometidos a lavados continuos. Este proceso de lixiviación induce a la formación de suelos ácidos, además de producir lamelas texturales (B incipiente) en el caso de los suelos arenosos (Entisoles) (INTA, 1970). En áreas planas, con texturas más finas, sobre materiales más antiguos, se notan procesos idénticos, pero evidentemente también con la formación de un horizonte B-textural, dando lugar a suelos muy evolucionados y fuertemente desarrollados del tipo A1-A2-B2-C (Molisoles y Alfisoles).

Cuando las condiciones son netamente hidromórficas, los suelos presentan características propias de reducción, con la presencia de formaciones especiales, con coloraciones que van del gris pálido al amarillo-verdoso. Las áreas que reciben aguas de drenaje de zonas más elevadas con aportes de sodio, general suelos salinos-alcalinos; éstos se manifiestan en superficies relativamente pequeñas (UNNE-INTA, 1970; INTA, 1980, 1981). En las áreas de esteros, especialmente en los del Iberá, se desarrollan suelos orgánicos (Histosoles), constituidos por tejidos vegetales en diferentes grados de descomposición y sedimentos fluvio-lacustres, de espesores variables.

En la región también se encuentran los suelos mas desarrollados, en especial en el sector noreste (Corrientes y Misiones), donde la intemperización del basalto exhibe su máxima expresión con la formación de suelos altamente evolucionados (Ultisoles). En su parte meridional se observan suelos con distintos grados de desarrollo, desde incipientes sobre afloramiento rocoso, hasta aquellos con horizontes A1-A2-B2-C (Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles). En el extremo sudeste con relieve relativamente escarpado a partir de material calcáreo, han evolucionado suelos con horizontes genéticos bien diferenciados en los que se evidencia una marcada lixiviación dando lugar a la formación de un horizonte iluvial (B-textural); en estas situaciones el relieve juega un papel preponderante (Vertisoles, Molisoles). No obstante, en el valle aluvial de los ríos de la región y otros ambientes similares, existen suelos formados por capas de sedimentos de granulometría variada, sin llegar a constituir horizontes genéticos (Entisoles, Inceptisoles). La acción conjugada de diversos factores produjo la alteración, descomposición y desintegración de los basaltos aflorantes en casi toda la superficie misionera y parte del territorio correntino, y generó los típicos "suelos rojos" de la comarca, pertenecientes a los "latosoles", ricos en óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio (Angelelli, 1937; Teruggi, 1955; Cordini y Riggi, 1959; Riggi y Feliú de Riggi, 1964; Secretaría de Energía, 1990). Esta cubierta edáfica poco profunda, -no más de 1,5 m.-, conocida como "la tierra colorada de Misiones", es originalmente fértil, a pesar de la rápida descomposición de la materia orgánica. El lavado, por infiltración y escurrimiento pluviales, da lugar a mantos arcillosos, con alto contenido de hierro y aluminio. Los suelos descriptos, continuamente húmedos, dan base y sustento a uno de los componentes principales del ecosistema local: el heterogéneo bosque nativo, dónde se identificaron más de 1200 ejemplares florísticos y hasta 100 especies arbóreas por hectárea, algunas con efectivo valor maderable (blandas y duras), y quebrachales cuyo rinde llega a 70 m2. por hectárea.

2.4 Fito y Zoografía

La Provincias Mesopotámicas se han clasificado desde región Húmeda subtropical (Entre Ríos) hasta Selva tropical - Subtropical mixta hidrófila o higrofítica estratificada (Misiones). Este bosque se halla hoy afectado por la impronta cultural, que ha modificado el paisaje primitivo. Tres niveles

arbóreos, de hasta 30-40 m. de altura, reúnen variedades de lapacho negro, ibirá, ibirapitá, palo rosa, cedro, petiriby, incienso, quebracho, pino, guatambú blanco, laurel, virapitá, viraró, timbó, paraíso, angico, caibotí, guayaibí, y especies de caáguazú (yerba mate). Espesos estratos arbustivos y herbáceos, a más de helechos arborescentes y bambúseas, constituyen densos sotobosques, asociados a bejucos, lianas, epífitas, y parásitas, que descienden en cortinados, desde las altas arboladuras. A ras del suelo y en cuerpos de agua, se desarrolla el estrato inferior de gramíneas, musgos, líquenes y variadas hidrófilas (Geografía Universal Ilustrada, 1972; Chiozza y Petagna de del Río, 1977; Secretaría de Energía, 1990). Ríos, arroyos, cuerpos de agua, y espesuras boscosas albergan una fauna autóctona diversificada, con profusión de aves y reptiles, en retirada por impacto antrópico.

2.5 Geografía Económica

El río Uruguay y Paraná han sido históricamente el escenario político y económico más importante de la región. La importancia de los ríos sobre las culturas de la región se remonta a tiempos precolombinos. Cabe citar que los Guaraníes desarrollaron una cultura y una intensa actividad económica a expensas de estos grandes cursos fluviales que incluso engalanan la mitología de estos pueblos (por ejemplo la leyenda del Irupé). Durante la época de la colonia las primeras exploraciones y asentamientos estuvieron directamente relacionados a los cursos fluviales tal es así que las ciudades de Asunción, Santa Fe y Corrientes entre otras tuvieron significativa importancia en el trafico colonial de la época. La plata del Potosí era transportada (aunque ilegalmente en un comienzo) a través de estos grandes ríos hasta el puerto de Buenos Aires y coincidentemente en aquellos tiempos (siglos XVII y XVIII) la Compañía de Jesús poseían las misiones que eran centros de comercio e intercambio regionales para los cuales estas vías de navegación eran de fundamental importancia.

Posteriormente a la Revolución de Mayo la infraestructura colonial heredada comprendía a estas vías de navegación como fundamentales para el control del territorio es por ello que las ciudades más guarnecidas militarmente eran las ciudades del estuario del Plata consideradas puertas de acceso al interior del país. Esta situación geopolítica es claramente sostenida al menos hasta mediados del siglo XIX. La batalla de la "Vuelta de Obligado" fue consecuencia del control de la navegabilidad de estos ríos y su importancia en el comercio exterior.

Más modernamente, tras la organización política de la Nación luego de 1860, estos ríos si bien continuaron siendo importantes vías de comunicación el desarrollo tecnológico y la estabilidad política fueron incorporando otras alternativas que lenta y gradualmente a lo largo del siglo XX provocaron una lenta disminución de su importancia económica y estratégica.

Actualmente los ríos Paraná y Uruguay son vías de trafico fluvial relativamente importantes en algunas actividades productivas. Surge de ello la necesidad de realizar obras de tales como el dragado, balizamiento, construcción de instalaciones portuarias que han tenido mayor relevancia con la creación del Mercosur. En particular el río Uruguay posee un organismo binacional: la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) cuyo objetivos garantizar el cumplimiento de los principios y reglas aplicables a sus uso. tiene la facultad de preparar y dictar una serie de reglamentaciones tendientes a lograr las garantías y el buen ordenamiento de la navegación , pesca, calidad de agua, etc.

El aprovechamiento hidráulico de los cursos fluviales de la provincia de Entre Ríos tiene su origen durante fines del siglo pasado. Los primeros colonos recurrieron la construcción de tajamares o terraplenes y en algunos casos verdaderos embalses de roca sólida cuyo objeto era el aprovechamiento del agua en los molinos harineros. Esto ocurrió en innumerables arroyos interiores, pero los ríos Paraná y Uruguay escapan a las posibilidades de dichos emprendimientos por su magnitud. La primera obra civil de gran magnitud cuyo objeto es el aprovechamiento hidroeléctrico y secundariamente el control de la navegación y las inundaciones es la Generadora Hidroeléctrica de Salto Grande.

Dicha obra fue emplazada en un paraje conocido anteriormente como Salto Grande en referencia a que en ese lugar los basaltos de la Formación Serra Geral afloraban sobre el pelo de agua de río formando una pequeña caída del agua.

La obra se proyecto y comenzó en 1946 y se inauguró en 1979 y comprometió el trabajo de grupos interdisciplinarios encargados de diferentes aspectos de la misma. Además comprendió un conjunto de obras anexas como por ejemplo el traslado de la ciudad de Federación, primer y único caso de esta magnitud en nuestro país y contempla aún la construcción de un canal aliviador y de navegación con el objeto de hacer al curso fluvial navegable hasta Misiones.

Si bien han existido otros proyectos (de dudosa viabilidad) como Paraná Medio ninguno ha superado la etapa de estudio y factibilidad. En consecuencia de ello, Salto Grande es la obra más importante en su género en la provincia y la segunda del país después de Yaciretá. La agricultura es la más noble e importante de las ocupaciones humanas, es la actividad más antigua desarrollada por el hombre, pues nace cuando este deja de ser mero recolector de frutas, granos y hojas silvestres y comienza a ser "trabajador de la tierra".

El trabajo de campo en la región se ha ido perfeccionando lentamente y en sus técnicas actuales es el resultado de una secular experiencia en la materia. En los últimos tiempos la agricultura, muestra una tendencia hacia la especialización, facilitada por los mejores rendimientos, la creciente demanda de alimentos y materias primas y el mejoramiento de sistemas de transporte. En la provincia, la agricultura fue una importante actividad hasta mediados de siglo. En las colonias agrícolas se realizaba en la chacra y generalmente como actividad mixta compartiendo espacios con la ganadería extensiva.

El excesivo laboreo en los suelos ya mencionados llevó a una significativa disminución de las hectáreas sembradas. Los pequeños y medianos productores tiene un notorio grado de mecanización pero es obsoleto en la practica moderna. Esto llevo a la incorporación de praderas de uso ganadero para cubrir los déficit de rinde de los lotes iniciales. Para cosecha fina la producción se concentra en lino y trigo (aunque en menor proporción), para cosecha de grano grueso maíz y sorgo. El cultivo de arroz es el más importante de la región esto se debe a que los Vertisoles son los más extendidos en la provincia y su textura franco arcillosa limita el desarrollo radicular favoreciendo a este cultivo por sobre el rendimiento de otros. El arroz por el valor agregado y el volumen de producción ha generado un industria arrocera conexa a su cultivo (molinos arroceros, ect.). Este cultivo ha sido un importante modificador del paisaje por sus particulares requerimientos de riego.

El consumo de arroz requiere de su procesamiento previo de descascarado, despeliculado, pulido y de abrillantado, de ahí, su importante valor agregado y su destacado papel en la posibilidad local de empleos. Las principales cooperativas arroceras se encuentran en la localidades de San Salvador, Villa Elisa y La Clarita.

Los Erisoles mas característicos de suelos arenosos son empleados en la producción de citrus y en la forestación que si bien son actividades económicamente importantes están geográficamente limitadas a las márgenes de la zona norte del río Uruguay.

La horticultura es una actividad limitada al pequeño productor, el cultivo bajo cubierta (invernáculos) y la utilización de abonos orgánicos y fertilizantes han permitido importantes producciones. Las especies más cultivadas son tomates, lechuga, acelga , apio, chaucha, rabanillo, berenjena, albahaca, espinaca, etc. La ganadería es una de las actividades más importantes de la provincia. Se debe diferenciar la ganadería llevada a cabo por productores en grandes campos de aquella realizada en chacra. En esta última la infraestructura es deficiente. Una característica importante de la ganadería es la baja calidad de la pradera natural los verdeos y pasturas suelen ser insuficientes para cubrir en periodos fríos las necesidades ganaderas. Esto se relaciona con el hecho de que la ganadería se encuentra en los suelos agrícolas menos productivos siendo estos los más "jóvenes" y frecuentemente anegadizos complicando el rinde de pasturas naturales. Tal es así que

las raza bobinas más comunes son Holando Argentino y Aberdeen Angus más tolerantes para resistir la invernada.

La avicultura y apicultura son actividades intensivas que revisten una importancia relativamente grande en la región, actualmente muchos de sus productos se exportan directamente y desde mediados del siglo pasado la producción de huevos de gallina de la provincia surtía los almacenes porteños. Sin embargo esta actividad y su relación con el uso de suelo es compleja de determinar actualmente.

La urbanización de la provincia de Entre Ríos comienza a ser significativa a lo largo del siglo XIX. Previamente al mismo, las reducciones jesuíticas, algunas ciudades fundadas durante el virreinato por orden de Carlos III relacionadas con la expedición contra los portugueses de 1776 - 1779 confiriendo una línea de fortines y determinados "rancherías" estratégicamente ubicados como La Bajada (actual ciudad de Paraná), constituían el paisaje urbano de fines del siglo XVIII. A comienzos del siglo XIX y a consecuencia de las migraciones o "éxodos" impuestos a la banda oriental por el entonces gobierno porteño incrementaron la población de la región cuya ciudad más importante fue Concepción del Uruguay que llego a ser nombrada capital de la efímera República del Entre Ríos, fundada por J. Ramírez en 1827. El crecimiento urbano de las ciudades a lo largo del siglo XX condice con las características ya conocidas para otras regiones del mundo es decir la inmigración extranjera de fines de siglo XIX y principios del XX y la migración rural a las aras urbanas posterior a 1930.

Como se explicara en lo sucesivo la evolución de la población y el cambio tecnológico de los tiempos fue modificando las ciudades y la industria. En tiempos modernos se puede considera las siguientes industrias como las más importantes de la provincia.

- Industria forestal- papelera
- Industria frigorífica
- Industria Minera

La industria forestal a través del monocultivo de suelos es intensa en la zona central - norte de la cuenca del río Uruguay. La misma produce un agotamiento del suelo y complejiza la competencia de las especies locales en los nichos ecológicos que le han sido propicios durante miles de años. El Yatay (palmera subtropical) ha sido tal vez una de las especies más afectadas hasta ordenar su preservación en el Parque Nacional Los Palmares en 1966.

La industria frigorífica ha sido la mayor responsable de la descarga de efluentes y contaminación orgánica en la región, la minimización de su impacto solo es posible comprendiéndo la velocidad de digestión de los grandes ríos de lo contrario podrían haberse parecido mucho a nuestro célebre Matanza-Rieachuelo. La explotación minera de tosca, piedra de construcción y canto rodado es de vieja data en la zona. Las caleras ya eran explotadas en tiempos coloniales, como la calera del Parque Nacional con orden de exploración de la Real Audiencia de Buenos Aires de 1762 con el objeto de proveer de material a las construcciones de la capital porteña. la explotación de áridos en general se remonta hasta nuestros días con sus consecuencias en la destrucción del suelo edáfico y la modificación del paisaje natural.

Los cultivos más importantes de la Provincia de Corrientes y Misiones son yerba mate, te, tung (oleaginosa), tabaco, y soja, cuya suma tiene gravitación en el valor bruto de la producción total. De modo secundario, han de citarse azúcar, mandioca, esencias y productos frutihortícolas. En Misiones la citricultura perdió posiciones por razones fitopatológicas, y se halla en recuperación. La pobre actividad ganadera, a menudo destinada al consumo doméstico, o al comercio y trueque vecinal de subsistencia, se concentra en la cría de bovinos y porcinos, que no cubre la demanda provincial. La explotación de ovinos, caprinos y equinos es totalmente secundaria. En general, el sector agropecuario se distingue por minifundios y explotaciones pequeñas - medianas, de organización familiar, y baja tecnología.

La actividad forestal (maderas y leñas) provee los otros recursos primarios de relevancia económica. Ofrece numerosas variedades, de distintas trabajabilidad, condiciones mecánicas, estabilidad dimensional, densidades, y resistencia a la intemperie. Se explota tanto por "raleo", como por "tabla rasa"; los "renovales" de reforestación son rasgos típicos del paisaje, en muchos parajes misioneros.

La pesca está radicada principalmente en el Paraná y Uruguay, y algunos cursos interiores; la producción es reducida y las capturas sólo abastecen a mercados locales y autoconsumo, o al trueque de subsistencia. La actividad minera, toda a cielo abierto, y vinculada esencialmente a la industria de la construcción, es poco importante y obsoleta. Se limita a la explotación de arenas, ripio, tierras lateríticas, y rocas basálticas.

También se obtienen materiales ornamentales y suntuarios, y variedades de piedras semipreciosas. El aprovechamiento de acuíferos semiconfinados comenzó en 1951; se han realizado más de 2000 pozos y su utilización muestra tendencia creciente, tanto en consumo humano como industrial. Las manufacturas reconocen dos componentes principales: la agroindustria, con secaderos de te, y molinos de yerba mate, y la foresto-industria, que reúne fábricas de pasta celulósica y papel.

Completan la estructura sectorial establecimientos productores de aglomerados y maderas aserradas (aserríos), terciadas y laminadas. Las actividades turísticas y servicios conexos están en expansión, a escala nacional e internacional; durante 1992, visitaron la Provincia un total aproximado de 560.000 personas. A esta circunstancia favorable, contribuyen el paisaje natural, el patrimonio histórico - cultural, los 1080 Km. de fronteras con Paraguay y Brasil y el conjunto de obras de infraestructura de grandes dimensiones.

Los sectores primarios y manufactureros agrícola - forestales son componentes destacados del producto bruto misionero, con participación creciente de los rubros turísticos. La yerba mate y maderas abastecen mayormente a la demanda doméstica extraprovincial. No así el te, tabaco, tung y pasta celulósica, comercializados también en mercados externos, y por lo tanto, sujetos a las variaciones de los precios internacionales, al tipo de cambio real para las exportaciones, y a los costos argentinos. Los datos de los analistas señalan el grado de "primarización" de las exportaciones argentinas. Desde el punto de vista de las posibles diversificaciones exportables misioneras, cabe citarse miel, cítricos, aceites esenciales, y especies, más algunos de sus derivados.

La direccionalidad del intercambio resulta altamente variable, en función de los respectivos precios internos de los dos países limítrofes. La oferta sostenida y en aumento, la depreciación del cruzeiro frente al dólar, y los crecientes excedentes exportables, dotan de alta competitividad a los productos brasileños y son factores de asimetría económica y elevada incidencia en el comercio local.

2.6 Geografía Humana

La provincia de Entre Ríos posee una población total de 1.020.257 de habitantes (INDEC, 1991) componiendo el 3,13% de la población total del país. Con una superficie de 78.781 Km^2 posee una densidad de habitantes media de 13,0 hab/km^2. Pose un 78% de población urbana y un 22% de población rural.

La provincia posee 6.198.524 Ha de suelo utilizable por el hombre, del mismo el 70,4% comprende pasturas naturales y bosques naturales, caminos parques y viviendas. Del 20,4% restante se sirve la agricultura con 1.298.121 Ha ocupadas en un 49% de forrajeras, un 20,5% cereales y granos, 21,6% oleaginosos, 5,4% forestales, 3 % frutales y 0,5 en otros cultivos. La superficie forestada es pequeña en relación al recurso con 78.352Ha, comprende un 12,6% de pinos, 68,7 de eucaliptos y 15% de sauces. La ganadería cuenta con 5.034.759 de cabezas de ganado un 76% bovinos, 15% ovinos y el resto entre porcinos, equinos, caprinos y otros. La producción minera se divide en rocas de aplicación un 71,8% y no metalíferos un 28,2%.

El sistema vial mesopotámico está adecuado a los cursos fluviales periféricos e interiores, y también sigue las lineaciones serranas principales, muchas veces acompañadas por "picadas"

madereras y yerbateras. Procedente de Buenos Aires, a través de Entre Ríos y Corrientes, el ferrocarril sólo penetra en el SO de la Provincia, hasta Posadas, punta de riel del FCGU (Ferrocarril General Urquiza, trocha media 1m.). Mediante el puente internacional a Encarnación, sobre el Paraná, empalma con la red paraguaya. Además, Misiones posee los aeropuertos internacionales de Posadas y Puerto Iguazú. El transporte fluvial ha perdido gravitación, salvo el correspondiente al tráfico fronterizo con Paraguay y Brasil, y entre puertos y amarraderos locales. La navegación de mayor calado depende de las esclusas de Yaciretá (Río Paraná).

El aislamiento geográfico de Misiones ha sido eliminado merced a la expansión del transporte automotor (pasajeros y cargas), y las obras trans - fluviales de Puerto Iguazú-Foz do Iguaçú (Brasil), Posadas - Encarnación (Paraguay), Corrientes - Resistencia, Paraná - Santa Fe, Zárate - Brazo Largo, Paso de los Libres - Uruguaiana (Brasil), Colón - Paysandú (Uruguay), y Puerto Unzué (Gualeguaychú)-Fray Bentos (Uruguay). Los centros urbanos más importantes son Posadas (ciudad capital), Oberá, y El Dorado, en ese orden.

Misiones posee 29.801 Km2. y 789.677 habitantes, (INDEC, 1991). Existe aun significativa componente demográfica rural; una característica socio cultural llamativa pero característica de la región, es la coexistencia y superposición de raíces lingüísticas guaraníticas, españolas, portuguesas, eslavas y germanas, que se traduce también en la integración étnica de las comunidades. Fluido intercambio con Paraguay y Brasil destaca a la dinámica poblacional misionera. Posee una densidad media poblacional: 26,5 habitantes/Km2 y la tasa media anual crecimiento población 1980-1991: 28,1%

CAPITULO 3. ANTECEDENTES GEOLOGICOS DE LA REGION MESOPOTAMICA DE LA CUENCA CHACOPARANENSE ARGENTINA

"Esta roca se haya a tan poca profundidad sobre las alturas de Montevideo y Maldonado y en la frontera del Brasil que en el espacio acaso de mil leguas cuadradas, es imposible a los arboles arraigar y al agua penetrar, porque la roca es toda de una pieza"
Félix de Azara, 1797

3.- ANTECEDENTES GEOLOGICOS

3.1 La Cuenca Chacoparanense

3.1.1.- Introducción

La suma total del área de las Cuencas en la Argentina cubre una superficie de 1.750.000 Km2. En el continente solo involucra un área total de 1.350.000 Km2 los 400.000 Km2 restantes corresponden a las Cuencas en el área marina de plataforma con un límite de 200m de profundidad.

Las cuencas han sido definidas en gran parte por geólogos involucrados en la actividad petrolera y estos últimos solo consideran útiles para su explotación el 40% de la superficie de las mismas. Así mismo la distribución y características de las perforaciones profundas en las cuencas Argentinas se vinculan a la actividad petrolera, pero esto último no es impedimento para el estudio de la cuenca, excepto tal vez en el sentido que los datos de profundidad se encuentran o bien muy localizados con gran densidad de información en áreas de interés petrolero y muy distanciados en las áreas exploratorias que tradicionalmente eran estudiadas por YPF durante las últimas décadas pasadas.

3.1.2. - Síntesis de la estratigrafía general de la cuenca

Hacia el Este de la República Argentina se define lo que se considera la cuenca Chacoparanense Argentina (ya que esta puede extenderse a los países limítrofes) cuyos límites se extienden al este de Sierras Subandinas, Sistema de Santa Barbara (Rolleri, 1976) y Sierras Pampeanas abarcando parcial o totalmente las provincias de Buenos Aires, Corrientes , Córdoba, Chaco, Entre Ríos, Formosa, La Pampa, Misiones, Salta, San Luís, Santiago de Estero y Tucumán. Incluso se ha sugerido que podría extenderse más hacia el oeste alcanzando los faldeos orientales de Sierra de Velazco en La Rioja y el SE de Catamarca (Fernández Garrasino, 1989). Como ya hemos sugerido anteriormente se la relaciona con una extensión mucho más amplia hacia el este y el norte llegando a limitar inclusive con las fajas Subandinas al oeste y el escudo de Guyana al este, siendo así una de las cuencas más extensas de América y tal vez del mundo.

En general el estudio de la evolución de la cuenca se ha fundado en datos sísmicos y de perforaciones petroleras efectuadas por YPF, además de datos de superficie que han sido proporcionados por los distintos estudios de las regiones de Puna, Cordillera Oriental, Sierras Subandinas, Sistema de Santa Barbara, Sierras Pampeanas, Mesopotamia e inclusive de Brasil, Paraguay y Uruguay como veremos más adelante. En general los afloramientos más antiguos de la cuenca corresponden a las secuencias de coladas basálticas y unidades sedimentarias de edad jurásica superior de la cuenca. El mapa geológico de la Figura 1 (Mente, 1993), resume las áreas de afloramiento en la región oriental de la cuenca.

Precámbrico - Cámbrico

En el subsuelo occidental de la Cuenca Chacoparanense Argentina se ha propuesto la existencia de depósitos marinos muy deformados similares a la Formación Medina aflorantes en el extremo sur de Salta y Norte de Tucumán (Bossi, 1969) de edad posible Precámbrico superior y Cámbrico inferior por semejanza con Puncoviscana (Turner, 1960). Se supone que durante el cámbrico inferior la cuenca era una extensa zona de sedimentación desde el borde occidental del escudo de Brasilia como lo sugiere Aceñolanza (1982) asignándole edad cámbrico medio a las Sierras Pampeanas, como elemento de control tectosedimentario.

Paleozoico Inferior

Los registros de edades Cámbrico y Ordovícico de la cuenca Chacoparanense ocupan una extensión también muy amplia, desde Bolivia hasta la provincia de Buenos Aires al sur de la Argentina

colindando con el escudo Brasileño hacia el este. En general son un conjunto de depósitos conglomerádicos, areniscas y pelitas marinas.

En el caso de sierras Pampeanas no se han encontrado unidades de edades cámbrica u ordovícica, algunos esquistos y metamórficas si se han asignado al Precámbrico (Borello, 1963; Caminos, 1979; Gordillo y Lencinas, 1979; Lucero Michaut, 1979). La Formación Suncho sin embargo ha sido definida como Precámbrico - Cámbrico inferior debido a sus trazas fósiles (Mirre y Aceñolanza, 1972). Sin embargo la Cordillera Oriental posee niveles de edad Precámbrica, Cámbrica y Ordovícica. A los depósitos psefíticos de estructura diamíctica se les ha atribuido edad Silúrica (Monaldi et. al., 1986; Monaldi y Bosso, 1986).

El Devónico de la cuenca se caracteriza por areniscas cuarcíticas y lutitas marinas con Psefitas y psamitas básales de gran extensión regional. Los depósitos silúricos y devónicos también ocupan una considerable extensión desde Bolivia hasta la Prov. de Buenos Aires, limitadas por las Sierras Pampeanas y la Cordillera Oriental al oeste. El límite entonces podría corresponder a la Cordillera Oriental que no posee acumulaciones Silúricas y Devónicas, lo mismo que las Sierras Pampeanas, de modo que ambas constituían el margen occidental de la cuenca cuya edad sería Ordovícico Superior, aceptando que la orogenia Oclóyica levantó la Cordillera Oriental impidiendo la sedimentación del Silúrico en ella (Fernández Garrasino, 1989).

De acuerdo a lo expuesto por diferentes autores se señala que la cuenca Chacoparanense Argentina se distingue como tal hacia fines del Ordovícico dividiendo la mitad norte de la Argentina en dos ambientes deposicionales, uno occidental abarcando el área de la Puna, Precordillera y Cordillera y otro oriental representado por la cuenca Chacoparanense (Bracaccini, 1960; Fernández Garrasino, 1989). Si bien muchos autores le atribuyen el límite geográfico de la cuenca al área comprendida desde el este de Tucumán, Santiago del Estero, Chaco, Sudeste de Formosa, Mesopotamia, Llanuras Cordobesas, Santa Fe, Llanuras orientales de San Luís, este de La Pampa y Buenos Aires, Fernández Garrasino (1989) involucra también la historia Precámbrica de la cuenca donde la región de sedimentación de la cuenca Chacoparanense pudo extenderse desde Bolivia hasta Buenos Aires con algunos depocentros locales pero sin subdivisiones de importancia, con los bordes definidos en la Sierras Pampeanas y Cordillera Oriental probablemente desde el Ordovícico superior.

La antigüedad de la Sierras Pampeanas es importante dado que es un elemento de control tectosedimentario de la cuenca, cuya antigüedad mínima es Cámbrico inferior cuando cesaron los eventos deposicionales, magmáticos y orogénicos del Ciclo Pampeano. Así puede admitirse un "proto margen" Chacoparanense hacia el oeste previo al descripto anteriormente (Fernández Garrasino, 1989).

Las Sierras Subandinas (excepto el sistema de Santa Bárbara), se disponen entre la cordillera oriental y las llanuras septentrionales del este de Salta, dentro de la misma cuenca Chacoparanense. Hasta donde se conoce y según interpretaciones sísmicas la planicie de Salta muestra la misma sucesión estratigráfica en subsuelo de los cordones subandinos. Así, si los consideramos pertenecientes a la cuenca podemos decir que la faja Subandina son antiguos sedimentos plegados y fallados a partir del Cretácico inferior según sobrecorrimientos vergentes del est, impuesto por empujes de cuño Andino ejercidos por la cordillera oriental cercana. Así el gradiente tectónico disminuye hacia el este presentando una continuidad estratigráfica (Fernández Garrasino, 1989). Solo a partir del Eoceno el Sistema de Santa Bárbara completo el borde norte de la cuenca.

De acuerdo con Carlé R. (1992), que realizó un estudio de la información que corresponde íntegramente al subsuelo (líneas sísmicas y pozos) en una zona limitada por los 64°20' a 62° de long. Oeste y los 24° a 25°30' de lat. Sur. Los afloramientos más próximos se encuentran en las serranías de Santa Bárbara, situada al Oeste de los 64°20'. El mismo concluyó que la faja estudiada está relacionada al ámbito de la Cuenca Chacoparanense. Se pudo propagar una serie de horizontes sísmico - geológicos que corresponden a los siguientes eventos geológicos:

- Tope de Basamento Cristalino.
- Posible tope del Cámbrico - Ordovícico.

- Tope F. Copo (Devónico inf-Silúrico)
- Tope F. Caburé (Devónico inferior)
- Tope F. Rincón (Devónico medio)
- Discordancia Precretácica.

El techo del basamento Cristalino muestra una marcada pendiente regional hacia el Noroeste que denota una estabilidad tectónica durante la deposición suprayacente del Paleozoico inferior. Sólo fue afectado tectónicamente en los extremos Oeste y Norte de la zona analizada, con la apertura del Rift Cretácico de la Cuenca del Subgrupo Pirgua que, posteriormente al relleno terciario, recibe esfuerzos compresivos del Oeste y reactiva fallas, invirtiendo sus rechazos y produciendo ondulaciones sólo en dichos extremos. Los niveles de basamento están muy deformados, siendo similares a los que afloran al Norte de Tucumán y al sur de Salta (Fs. Medina y Puncoviscana), atribuidas al Precámbrico Superior y Cámbrico Inferior, respectivamente.

El techo del intervalo Cámbrico - Ordovícico presenta características similares al las del basamento Cristalino denotando una sedimentación estable de plataforma uniforme. Se observa el mismo efecto en tiempos de apertura del Rift Cretácico y las reactivaciones terciarias modernas, vinculadas a la estructuración de la Serranía de Santa Bárbara.

Los espesores sedimentarios incrementan regularmente y sin visible efecto tectónico contemporáneo, en sentido Noroeste. Se observan ondulaciones muy suaves de carácter regional que podrían estar vinculadas a la orogenia Oclóyica, considerando que la misma eleva la Cordillera Oriental. El diseño estructural de la superficie referida a la discordancia precretácica muestra una pendiente regular en sentido regional Noroeste. En los extremos Oeste y Norte, por efecto de la tectónica terciaria que afecta, con reactivaciones de fallas antiguas , la monotonía del ciclo erosivo.

El mapa de espesores sedimentarios acumulados (Pezzi y Mozetic, 1989) permite identificar los depocentros más importantes de la región occidental de la cuenca controlados por los elementos tectónicos señalados en dicho mapa. Las fallas del Rift Cretácico se distribuyen paralelas y externas a la zona de estudio hacia el Oeste y el Norte, formando las Subcuencas cretácicas de Lomas de Olmedo y Alemania (Pezzi y Mozetic, 1989). En el intervalo sedimentario ubicado ente la discordancia precretácica y el tope del Cámbrico - Ordovícico se distinguen:

Formación Copo:(Devónico inferior/Posible Silúrico superior)

Muestra suave ondulamiento con ejes axiales Noroeste/Sudeste, ubicando esfuerzos compresivos perpendiculares a los mismos. La pendiente regional mantiene la misma dirección de inclinación que las secuencias infrayacentes. Se observa, además el mismo efecto de distensión - compresión en los extremos Oeste y Norte. El espesor de esta formación marca estabilidad en su deposición, incrementando el mismo en el sentido regional Noroeste.

Formación Caburé:(Devónico inferior)

Muestra una regular distribución similar a la Formación Copo, manteniendo neto paralelismo e idéntica pendiente. Se distinguen ondulaciones suaves con ejes axiales Noroeste/Sudeste. La deposición de esta formación no está afectada por tectónica ya su espesor incrementa suavemente hacia el Noroeste.

Formación Rincón:(Devónico medio)

El techo de esta formación no se pudo mapear en toda el área de estudio ya que en los extremos Norte y Oeste es erosionado por la discordancia pre-Cretácica. Mantiene una distribución regional normal y tectónicamente estable durante su sedimentación. El espesor incrementa en sentido Noroeste. Se distingue una potencia anómala en la zona central del área estudiada correspondiendo a un suave sinclinal, y se considera un depósito relicto de una posible Carbónico/Pérmico que fue biselado por discordancia erosiva, limitando su conservación a la zona sinclinal. Dichos sedimentos no están

comprobados por pozos en el área estudiada. Si bien no pudo propagar el techo, se observa en niveles internos que su espesor podría incrementar en sentido Sudeste.

Paleozoico Superior

El paleozoico superior se encuentra separado entre sí al este de las Sierras Pampeanas y Subandinas. Uno de estos se ha hallado en el subsuelo de las planicies septentrionales de la zona oriental salteña y pertenece al extremo austral de la cuenca de Tarija (Bolivia). El segundo, más amplio, se extiende desde el centro hacia el sur y el este con mayor semejanza con los depósitos similares en Paraguay, Uruguay y Brasil. Esta zona se haya separada por una franja de "no depositación" sin registros Carbónicos y Pérmicos, esta franja ocupa el Centro y Sudoeste Salteño y se prolonga hasta Formosa y norte del Chaco.

Las secuencias carbónicas del sector septentrional incluyen facies clásticas marinas someras y litorales relacionadas con un borde primario cercano (Fernández Garrasino, 1978; Pozzo y Fernández Garrasino, 1979). Es probable que durante la sedimentación carbónica dicha zona fuese un área elevada que separaba los dos conjuntos neopaleozoicos Chacoparanenses en la Argentina (Fernández Garrasino, 1989).

Mesozoico

La cuenca se divide en dos amplias regiones para esta edad, una más occidental hacia el norte y otra oriental hacia el centro y sur del país. En la región más oriental en el centro sur de la secuencia es relativamente más completa. Dicha sucesión puede relacionase con los depósitos en Paraguay, Brasil, Uruguay, según observamos en la tabla estratigráfica.

La litología dominante en la región oriental, hacia el sudeste, son los niveles continentales de edad cretácica, las lavas basálticas jurásico - cretácicas y los depósitos de arenisca continental Triásico - jurásico. En la región del occidental, hacia el noroeste, el Cretácico de la cuenca solo incluye niveles continentales y de plataforma somera situadas en el Este Chaco - Salteño y el subsuelo de Formosa (Fernández Garrasino, 1989).

Terciario

Las características geológicas de la sedimentación terciaria nos permiten dividir a la cuenca en dos partes, una porción centro - oriental al sur y otras en el este de la provincia de Salta y el NO de Formosa. En la primera región encontramos depósitos Maastrichtianos - paleocenos, niveles continentales del Oligoceno medio y Mioceno Inferior medio, niveles de origen marino de edad Miocena media - superior -Pliocena inferior y por último niveles continentales Pliocena media superiores.

En la segunda los niveles marinos son más proximales, de aguas someras de edad paleoceno - Eoceno por encima de ellos encontramos potentes secuencias continentales de edad post-eocenas siendo el único registro terciario del subsuelo del este de la provincia de Salta.

Con el retiro del mar paraniano hacia el sudeste, se crearon las condiciones sobre una extensa llanura y se desarrolló un sistema fluvial muy ampio, sobre los depósitos dejados por este mar. Estos depósitos de origen fluvial se conocen como Formación Puelches (Santa Cruz, 1972) en la región occidental, y en la región oriental (Mesopotamia) como Formaciones Ituizangó (De Alba, 1953), Salto Chico (Gentile y Rimoldi, 1979). Conforme se producía el retroceso del mismo, se producía el avance de extensos canales, en algunos casos de gran profundidad que transportaban y depositaban cuerpos de sedimentos que se interdigitaron, dando origen a un depósito excepcionalmente continuo reconocido en gran parte de las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires y franja oriental de Chaco y Formosa. Es muy factible que se corresponda con sedimentos aflorantes en la provincia de Entre Ríos y de subsuelo en Corrientes conocidos como Formación Ituizangó. Conforman una secuencia de arenas cuarzosas, pardo amarillentas a blanquecinas de gran selección granulométrica y composicional con intercalaciones arcillosas de

variado espesor, (Santa Cruz, 1972). Hay lugares donde la arena casi fue reemplazada en su totalidad por material fino o lugares donde la arena registra espesores de mas de 100 metros, en esos casos. De aquel sistema fluvial se preserva hoy el río Paraná , que al llegar a la llanura deposita su carga de arena que transporta desde la alta cuenca.

La profundidad del techo varía entre 15 m y 120 m. El espesor total medio de la Formación Puelches, varia entre 20 m y 40 m, pero puede alcanzar los 80 m., como en General Belgrano o superar los 100 m en la localidad de Zárate; en la localidad de Saladillo el espesor es superior a los 60 m. y la profundidad del techo se encuentra allí entre los 90 m. y 110m. La edad asignada es Plio-Pleistocena inferior (Santa Cruz, 1972).

Cuaternario

La extensión de la cuenca y la diversidad de eventos a lo largo de esta edad hacen difícil condensar la información existente. Sin duda, la Formación Pampeano es la más extensa en la región y bajo esta denominación se agrupa a las Formaciones Ensenada y Buenos Aires, las dos unidades son muy similares y en algunos casos de difícil separación , por lo tanto actualmente a este conjunto se lo agrupa en general como sedimentos pampeanos. Abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana, son depósitos medianos a finos, limos y arcillas con intercalaciones calcáreas concrecionales o tipo mantiformes (tosca). El color dominante es el castaño, con tonalidades amarillentas a rojizas.

En gran porción corresponden a sedimentos transportados por el viento desde la cordillera ya emergida para esa época y desde los llanos secos y poco vegetados que se formaron hacia el oeste de la región Chacoparanense. Inmensas nubes de polvo y trizas vítreas de los volcanes cordilleranos alcanzaron a depositarse hasta el Atlántico dando origen al conocido loess pampeano, que fue retrabajado incesantemente por ríos, arroyos y pequeños cursos de agua redepositándolos en cauces y planicies costeras, hasta la actualidad.

Los Sedimentos Pampeano varía en espesor entre 15 m y 30 m pero puede superar los 100m. hasta alcanzar la profundidad del techo de las Arenas Puelches. En la región Mesopotámica, Entre Ríos y Corrientes las Formaciones Hernandarias, Tezanos Pintos, Tropí Yupoí corresponden a las mas extensas regionalmente. Sus edades serían comparables con los Sedimentos Pampeano.

Suele denominarse Post-Pampeano identificando con este nombre a todos los depósitos más modernos que los pampeanos que abarcan desde el Pleistoceno superior a la actualidad, tienen variado origen: fluvial, lacustre, marino, eólico, comprende a varias formaciones geológicas, predomina el tamaño de grano fino, limo y arcilla de colores grises y verdosos y algunos cordones conchiles y conglomerados calcáreos depositados durante la última ingresión marina hace apenas unos 6.000 años atrás que inundó completamente el estuario del Río de la Plata. Las acumulaciones postpampeanas son discontinuas arealmente y se las encuentran en los valles de los ríos Reconquista , Matanzas, depresiones interiores y zona costera del río De la Plata. Entre otras las más extensas pueden ser la Formación Junín, Formación La Granja, entre otras.

3.1.2. Rasgos tectónicos de la Región Occidental de la Cuenca Chacoparanense

Los dominios paranenses argentinos del naciente (Prov. de Chaco, Santiago del Esteroy Santa Fe), se relaciona con ámbitos occidentales del Escudo de Brasilia. No cabe esperar, como estilo dominante, deformaciones originadas por esfuerzos tangenciales. Pero es posible la existencia de estructuras mantiformes no compresivas, y fallamientos distensivos con superficies lístricas, más sólo algunos rasgos compresivos locales.

Son advertibles lineamientos morfológicos denunciados por expresiones diversas, varios continuan en la Mesopotamia, según dejan ver las imágenes de teledetección y los datos de perforaciones. Algunos de estos lineamientos se habrían generado por efectos de erosión diferencial;

pero otros reconocerían la participación de fallas de desplazamiento lateral dominante, a las cuales podrían asociarse modelos de transpresión y transtensión, aun no comprobados. (ver mapa de Fig 5).

El mapa presentado en la figura N°5 presenta las curvas isópacas y límites deposicionales correspondiente a las edades Carbónico-Pérmica o Neopaleozoico (Malizia et.al., 1993) comprende la base de los niveles Mesozoicos en la región occidental de la Cuenca Chacoparanense Argentina.

Alto de Rincón-Caburé

Como ya se expresó, los depósitos marinos y continentales carbónicos y pérmicos chacoparanenses de Argentina, se presentan en dos espacios mayores, ambos definidos al Este de la Cordillera Oriental y Sierras Pampeanas, pero separados entre sí. Uno de ellos ocupa el subsuelo de las planicies septentrionales del Oriente salteño, y pertenece al extremo austral de la Cuenca de Tarija, sito en territorio argentino. El otro, mucho más vasto, se extiende en el subsuelo del centro, Este y Sur de las llanuras chaqueñas-pampeanas-paranenses, desde algo al Norte de la latitud de los pozos YPF El Caburé 1 (Provincia de Santiago del Estero, proximidades del límite con la Provincia del Chaco) y El Desierto 1 (Provincia del Chaco, cercanías del límite con Santiago del Estero), hacia el S, hasta la Provincia de Buenos Aires, considerando las analogías con Paraguay, Brasil y Uruguay; es el tradicional ámbito chacoparanense argentino por excelencia

Según Russo et al. (1986, 1987), estas dos áreas neopaleozoicas mayores de la Cuenca Chacoparanense argentina se hallan desvinculadas por una zona intermedia de "erosión" o "no depositación" respecto de la sedimentación gondwánica, sin registros del Paleozoico superior ni del Mesozoico pre-cretácico. La citadas ausencias estratigráficas se confirman mediante las secciones atravesadas por pozos exploratorios tanto en el Sur de Salta y Norte de Santiago del Estero, y también por las columnas alumbradas en perforaciones del Chaco salteño nororiental
correspondientes a la faja latitudinal entre los paralelos de Tartagal y Coronel Cornejo (Michicola, Puesto El Tigre), del Chaco salteño central y austral (La Unión, Rivadavia, Renacimiento, Nuestra Señora de Talavera, Malvalay) y del ángulo NO de Santiago del Estero (Los Horcones), las cuales mostraron a sucesiones cretácicas y terciarias apoyadas sobre depósitos marinos paleozoicos pre-carbónicos, muchos de ellos Devónicos (Moreno, 1970; Salfity, 1979; Russo et al., 1980, 1986, 1987; Fernández Garrasino y Cerdán, 1981; Acevedo, 1986; Donato et al., 1990), o aun más antiguos (Brocca, 1966; Mingramm, 1966c; Russo et al., 1980, 1986, 1987; Salfity et al., 1986, 1987; Carle et al., 1989; Donato et al., 1990; Starck et al., 1992a, 1993a).

La aludida zona intermedia de "erosión" o "no depositación" predominantes, sin registros gondwánicos, está desplegada en el centro y Sur del Oriente salteño, e ingresa en el Norte del Chaco. Pero las secuencias carbónicas del sector septentrional, correspondientes al segmento argentino de la cuenca de Tarija, incluyen facies clásticas marinas someras y litorales, muy posiblemente relacionadas con un borde primario cercano (Fernández Garrasino, 1978, 1979; Pozzo y Fernández Garrasino, 1979), hoy desaparecido, que se habría situado próximo al Sur de la confluencia de los ríos Bermejo y Grande de Tarija (Salta, Juntas de San Antonio), S de Tartagal y S de las localidades y parajes de Tonono (Chaco Salteño) y Campo Mecle (Chaco salteño, inmediaciones del punto tripartito Bolivia-Argentina-Paraguay). La posición actual de este límite, que en el presente tiene carácter erosivo, fue ilustrada por Starck et al. (1992a, 1992b, 1993a, 1993b), Malizia et al. (1993) y Tomezzoli (1993), con indicaciones adicionales de significativas estructuras de paleoflujos glacígenos (Starck et al., 1992a, 1993a). Aunque sin verificación, parecería entonces que a comienzos de la sedimentación carbónica, la referida zona intermedia era un área elevada, definitoria de la separación entre dos conjuntos neopaleozoicos "Chacoparanenses" Argentinos (Fernández Garrasino, 1988, 1989a, 1989b). También Pezzi y Mozetic (1989), y Malizia et al. (1993), reconocen límites primarios en sus análisis del carbónico-pérmico del subsuelo oriental de la Provincia del Chaco.

Durante el Mesozoico, y aproximadamente hasta por lo menos el Eocretácico tardío, persistieron las diferencias entre los dominios sedimentarios del Norte y del Sur, ya advertibles en la distribución de los registros neopaleozoicos, separados por la referida zona intermedia de "erosión" o

"no depositación", cuya vigencia continuaría en tiempos mesozoicos pre-cretácicos, habida cuenta de su total carencia de acumulaciones triásicas y jurásicas, a juzgar por las secciones atravesadas en varios pozos del Chaco salteño.

En el transcurso del intervalo Cretácico a Eoceno inferior-medio se acentuaron las desigualdades entre los dominios "Chacoparanense" septentrionales (sensu este trabajo), y las aquí tratadas a modo de comarcas australes de la cuenca, extendidas desde el centro de Formosa, y cercanías de los límites Chaco-Santiago del Estero y Salta-Santiago del Estero, hacia el Sur, y estimadas por muchos como Chacoparanense propiamente dichas. Estas últimas alojan conspicuos depósitos continentales Cretácicos, sobre los que se disponen secuencias marinas someras maastrichtianas-paleocenas, representadas por las Formaciones Mariano Boedo, Paiva, Puerto Unzué, Las Chilcas, y Pedro Luro, las dos últimas del subsuelo bonaerense.

A partir del Neojurásico tardío o del Cretácico inferior, importantes procesos distensivos, que también afectaron a la Puna, Cordillera Oriental y Valles Calchaquíes (Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca), dieron lugar a la génesis de vastos espacios deposicionales de escala regional, con diseños de uniones multirradiales (Bianucci y Homovc, 1982; Bianucci et al., 1982), no ajenos a modelos de "rifting". Uno de estos ámbitos distensivos es la subcuenca de Lomas de Olmedo o de Olmedo, o Fosa Lomas de Olmedo, de acuerdo con las nominaciones de Bianucci et al. (1981). La misma ocupa comarcas tenidas como Chacoparanense por la presente contribución; extendida en la mitad austral del chaco salteño, según dirección OSO-ENE, ella se prolonga en el NO de Formosa, quizás parte del extremo norte de Chaco y en el Paraguay occidental, donde se la denominó "Cuenca de Pirizal". Al Norte, bordea a la subcuenca de Lomas de Olmedo la llamada dorsal, arco o alto de Michicola; hacia el Sur, su límite lo establece el arco del Quirquincho. Antecedentes de estos elementos tectónicos pueden hallarse en Padula y Mingramm (1963, 1968), Vilela (1965, 1967), Padula (1972), Reyes (1972), Reyes y Salfity (1973), Russo et al. (1974, 1979), Reyes et al. (1976), Salfity (1978, in 1980; 1979, 1982), Russo (1980), Bianucci et al. (1981), Salfity y Marquillas (1981), Aramayo Flores (1987, 1989), Gómez Omil (1987), Gómez Omil et al. (1989), Donato et al. (1990), Pucci (1991), Starck et al. (1992a, 1993a), y Malizia et al. (1993).

Como ya se expresó repetidamente, la mencionada "zona intermedia de erosión o no depositación predominantes" original, exenta de registros carbónicos a jurásicos y supuesta vigente durante ese lapso, se halla extendida en el Chaco salteño, salvo su parte norte, y asimismo en la Provincia de Formosa y N del Chaco. Separada de las acumulaciones gondwánicas Chacoparanense australes de aquellas consideradas análogas septentrionales, ella ocupa una geografía muy similar a la de la subcuenca de Lomas de Olmedo. Así, esa comarca de erosión, no depositación o acumulación restringida durante tiempos gondwánicos, a partir del Cretácico devino un ámbito deprimido (inversión tectónica?), de filiación distensiva, rellenado por espesos depósitos eocretácicos tardíos o neocretácicos-eocenos inferiores a eocenos medios, pertenecientes al Grupo Salta (Turner, 1958, in 1959; Sistema de Salta, Brackebusch, 1891). El mismo se apoya sobre distintos registros pre-carbónicos y está constituido por variadas unidades clásticas y carbonáticas, de origen aluvial, lagunar, palustre, y subácueo somero con cierta influencia marina, cuyo máximos alcances australes, en Tucumán y Catamarca, aun no se halla del todo resuelto, como conjunto. Mediante diversas metodologías, y según puntos de vista variados y no antagónicos, la apertura de la subcuenca de Lomas de Olmedo fue discutida e ilustrada por Russo et al. (1979), Bianucci et al. (1981, 1982), Bianucci y Homovc (1982), Gómez Omil (1987), Carle et al. (1989), Chiarenza y Ponzoni (1989), Gómez Omil et al. (1989), Starck et al. (1992a, 1993a) y Kress et al. (1993).

El remanente actual no deprimido de la original "zona intermedia de erosión o no depositación", sin registros neopaleozoicos ni mesozoicos pre-cretácicos y cuya antigüedad se remontaría a los inicios de la acumulación carbónica en la comarca, está limitado, al Norte, por el arco o alto del Quirquincho, que es el borde austral de la subcuenca de Lomas de Olmedo, de las provincias de Salta y Formosa, y Chaco boreal paraguayo (Cuenca de Pirizal, Paraguay occidental).

Hacia el Sur, el alto de Rincón-Caburé-Paraguay oriental, o Rincón-Caburé, constituye el margen meridional de esa primitiva "zona intermedia de erosión o no depositación". Así, hoy en día, los altos del Quirquincho, al Norte, y el de Rincón-Caburé, al Sur, determinan en el subsuelo, una faja aproximadamente O-E, u OSO-ENE, parte de la cual ocupa el sector septentrional de la Provincia del Chaco, y la separa de la subscuenca de Lomas de Olmedo, situada en las Provincia de Salta y Formosa. La expresión relíctica actual de la mencionada "zona intermedia", resulta coincidente con el "arco pampeano", o "arco pampeano-ramal oriental", de Padula y Mingramm (1968), y también con el "arco del Quirquincho", ilustrado por Starck et al. (1992a, 1993a).

"Depocentro de Las Breñas" (Cuenca de Las Breñas, Pezzi y Mozetic, 1989)

Es un rasgo deprimido, exclusivo del subsuelo, determinado a partir de secciones sísmicas, y cuyo relleno sedimentario específico y eventual prolongación en Formosa, se desconocen. Según los diseños de las curvas de espesores, despliega forma alargada y estrecha, de eje mayor NE-SO; en profundidad, el conjunto isopáquico divide a la Provincia del Chaco en dos partes, -noroccidental y sudoriental-, de superficies similares.

El "depocentro de Las Breñas" carece de representatividad manifiesta en el esquema de espesores neopaleozoicos (Carbónico y Pérmico) del Chaco . Esta circunstancia lleva a suponer que el relleno sedimentario propiamente dicho, quizás de hasta 5000 m.(?) , que habría colmatado a la "Cuenca de Las Breñas", pueda corresponder a depósitos pre-carbónicos.

El borde noroccidental de la "Cuenca de Las Breñas" esta definido por una zona de fallamiento, que parece vincularse con el llamado "Alto de Las Breñas", o "Alto pampeano oriental-Las Breñas", según Pezzi y Mozetic (1989).

Región Oriental del Tucumán y Santiago del Estero

Dentro de este área se encuentran las llanuras Tucumanas y la zona oeste de Santiago del Estero hasta la zona este de las Sierras de Aconquija y Cumbres Calchaquíes, considerados estos últimos el borde occidental de la cuenca Chacoparanense Argentina.

Se ha propuesto que los cordones longitudinales de La Puna, Cordillera Oriental, y Sierras Pampeanas Septentrionales Noroccidentales son alóctonos vergentes al este afectados por sobrecorrimientos (Almendinger et.al., 1982; Fernández Garrasino et.al., 1984; Donato y Vergani, 1985, 1988; Fernández Garrasino 1985, 1986, 1988; Boll y Hernandez, 1986; Biancucci et.al, 1987; Cortes et.al, 1987; Donato, 1987). Fernández Garrasino (1989), plantea una serie de hipótesis a partir de las cuales las Sierras de Aconquija y las Cumbres Calchaquíes estarían incluidas en el anterior modelo. Las mismas se detallan según:

- Los extremos occidentales de las líneas sísmicas del Oeste de Santiago del Estero cerca del límite con Tucumán, presentan fallas inversas de perfil lístrico, inclinadas al oeste y asintóticas respecto de la horizontal hacia abajo, a consecuencia del empuje del oeste generado por los desplazamientos del sistema Cumbres Calchaquíes - Aconquija.
- En el sur de Salta, las Cumbres Calchaquíes se prolongan al norte mediante las cumbres de Santa Bárbara (non Sistema de Santa Bárbara) al este de estas la interpretación sísmica (Puszcar, 1975; Rioboó, 1985) muestra pliegues vinculados con sobrecorrimientos que vergen hacia el este lo que evidencia la respuesta frente al esfuerzo compresivo del oeste ejercido por las Cumbres de Santa Bárbara.
- La alineación y continuidad de las Cumbres de Santa Bárbara, Calchaquí y Aconquija además de los rasgos estructurales comunes insinúa el mismo comportamiento tectónico de estos cordones.

Estos argumentos permiten considerar al conjunto Cumbres Calchaquíes - Aconquija como un bloque alóctono sobrecorrido a causa del empuje Andino desde tiempos Cretácicos hasta los últimos

fenómenos diastróficos. El fallamiento inverso sobre los faldeos occidentales de las Serranías Tucumanas podría corresponder a estructuras de alivio, (Fernández Garrasino, 1989).

Se desvanece así la vinculación "pampeana" del par Cumbres Calchaquíes - Aconquija separado de las sierras de Alto y Ancasti por el "lineamiento de Tucumán", y definida mediante el extremo sur de las sierras del NE tucumano, borde austral del Aconquija y faldeo SE de la Sierra de Capillitas (Catamarca).

Las superficies de despegue podrían considerarse las discontinuidades y debilidad mecánica de la estratificación relíctica y esquistosidad mimética de los niveles Precambricas - Cámbricas. Estas últimas fueron anteriores a los empujes andinos y pudieron favorecer y controlar los corrimientos en profundidad. (Fernández Garrasino, 1989).

Las secuencias atravesadas por los pozos perforados en Los Horcones, El Rincón e Isca Yacu (O de Santiago del Estero), y la estratigrafía expuesta en la Sierra de la Candelaria (S de Salta), serranías de NE tucumano y Cerro Remate - Río Urueña (SSE de Salta) muestran sucesiones marinas precámbricas superiores, cámbricas inferiores y eopaleozoicas, de composición psamítica cuarzosa y pelítica, en el subsuelo de las llanura orientales de Tucumán y planicies del Oeste Santiagueño.

La información de superficie y subsuelo del Sur de Salta , los pozos del Occidente santiagueño, y los afloramientos en los contrafuertes serranos y N de Tucumán , indican la presencia de unidades marinas miocenas superiores y continentales pliocenas al E de la Cumbres Calchaquíes y Aconquija, según el esquema de la Cuenca Chacoparanense. La sucesión referida para el subsuelo del Oriente tucumano y Oeste de Santiago del Estero, sería la siguiente:

- Cuartario.
- Depósitos continentales pliocenos.
- Depósitos litorales Miocenos superiores.
- Grupo Salta, Neocretácioco - Eoceno medio.
- Psamitas y pelitas eopaleozoicas.
- Plutonitas mesocámbricas?
- Depósitos marinos neocámbricos- eoprecambricos

El alto cordón montañoso Cumbres Clachaquíes - Aconquija resultaría una faja sobrecorrida hacia el Este por la Orogenia Andina, que actuó desde el Cretácico superior y sobreimpuesta a diastrofismos previos. Los sucesivos empujes transmitidos por este alóctono de vergencia oriental, habrían inducido plegamientos en el subsuelo de las llanuras tucumanas y santiagueñas, según gradiente tectónico en disminución hacia el Este y así dar lugar a las posibles trampas que se describen a continuación:

- - Anticlinales que afectan a areniscas cuarcíticas marinas eopaleozoicas, y a micritas y margas neocretácicas y terciarias, con probable permeabilidad y porosidad debidas a fracturación tensional en las fajas axiales de los pliegues.
- - Anticlinales en psamitas neocretácicas y terciarias, con atributos petrofísicos primarios. La eventual generación de hidrocarburos se vincularía con depósitos marinos eopaleozicos y facies peliticas litorales del Mioceno superior, correspondientes a la ingresión "paranense", y expuestos en el sur de Salta y Norte de Tucumán. Las perforaciones efectuadas en el oeste de Santiago del Estero y la estratigrafía expuesta en la Sierra de la Candelaria al sur de Salta y límite con Tucumán, pueden indicar la existencia de niveles Precámbricos y Cámbricos de areniscas cuarzosas y pelitas en el subsuelo de las llanuras Tucumanas y Santiago del Estero. (Fernández Garrasino, 1989).

Los subgrupos Pirgua (Vilela, 1926, Reyes y Salfity, 1973), Balbuena (Moreno, 1970) y Santa Bárbara (Turner, 1958), se extenderían hacia el este de Tucumán de forma más extensa (Fernández Garrasino, 1989) que lo propuesto por Porto et. al.(1982). Existen niveles de origen marino de edad

Miocena y depósitos continentales pliocenos al este de las Cumbres Calchaquíes y Aconquija de acuerdo con la información proveniente de datos de superficie y subsuelo obtenido por las perforaciones petroleras de YPF en el sur de Salta y oeste Santiagueño

3.1.3. El Borde Occidental de la cuenca Chacoparanense

Si bien la extensión geográfica de la cuenca Chacoparanense Argentina incluye una amplia región entre el este de Salta y norte de Formosa, Sierras del oeste de Santiago del Estero, Córdoba y San Luis. Debido a que las instancias evolutivas de la cuenca han variado para las distintas edades se ha incluido como límite hacia el oeste la faja de constituida por las Sierras Subandinas, Sistema de Santa Bárbara, Cumbres Calchaquíes y Aconquija y Sierras Pampeanas Orientales. En este sentido, debido a que el borde occidental ha sido cambiante a través del tiempo, se tomara como conveniente adoptar la división cronológica propuesta por Fernández Garrasino (1990). Este autor propone dividir cuatro "etapas" abarcando distintas edades según: Precámbrico - Cámbrico, Paleozóico Precarbónico, Neopaleozoico - Mesozoico Precretácico superior y Neocretácico Cenozoico.

3.1.4 Rasgos Tectónicos de la Región Oriental de la Cuenca Chacoparanense

El Alto de Asunción

Profusa y variadamente discutido en la literatura específica, (Anticlinal central-paraguayo, Putzer, 1962; Umbral centro-paraguayo mesopotámico, Padula y Mingramm, 1968; Arco de Asunción, Palmieri y Velázquez, 1982; Alto de Asunción - Corumbá, Urien et al., 1995) constituye uno de los elementos tectónicos más conspicuos de la geología paraguaya, al parecer vigente desde tiempos eo-devónicos emsianos (eodevónicos tardíos), según algunos autores, cuyas opiniones no gozan de consenso unánime. De disposición central meridiana, y seguido con bastante fidelidad por el Río Paraguay, divide al país guaraní en un ámbito occidental, el Chaco boreal paraguayo, o Chaco paraguayo, que guarda conexiones y analogías con sectores Chacoparanense argentinos, y también con partes orientales de la subcuenca de Lomas de Olmedo (Provincias de Salta y Formosa), y la subregión del Este (Paraguay oriental), vinculada a la Cuenca paranense brasileña.

Según rumbo N-S, el Alto de Asunción, o sus manifestaciones relícticas, se extenderían, paralelamente al Río Paraguay, desde el Estado de Mato Grosso (Brasil), hacia el S de Corumbá (Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil), en dirección a la capital guaraní, y sus comarcas meridionales. La prolongación austral del arco asunceño, ingresaría en el subsuelo mesopotámico argentino, por el N de la Provincia de Corrientes, hasta alcanzar, quizás, la parte septentrional de la Provincia de Entre Ríos. Para mejor comprensión, el tema del Alto asunceño es abordable, por lo menos, según dos direcciones de análisis: su existencia y disposición regional, y su cronología.

Según Fernández Garrasino, (1998) su existencia y disposición regional son deducibles a partir de los siguientes elementos de juicio y antecedentes:

- Los esquemas tectónicos y paleogeográficos de Maurera y Furrer (1982), González (1986), Irigoyen y Urien (1988), Soares (1988), Baldis (1989), Chebli et al. (1989), Padilha et al. (1989), Pezzi y Mozetic (1989), Salfity y Zambrano (1990), Zalán et al. (1990, 1991), Cuerda et al. (1991), Malizia et al. (1993), y Rapalini y Vizán (1993), reconocen explícitamente la presencia del Alto de Asunción en el SO del Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), al S de Corumbá (fronteras Bolivia-Brasil y Paraguay-Brasil), y su prolongación en Paraguay central, hasta cerca del Paraná, y aun en la otra banda del río, ya en territorio argentino, hasta partes centrales y australes de Corrientes (Cuerda, 1996), sin oposición con las ideas previas de Padula y Mingramm (1968, 1969a, 1969b, 1969c), Padula (1972), Salfity y Gorustovich (1978), Russo

(1980), Degraff et al. (1981), Urien et al. (1981), Zambrano (1981), dos Santos y Saad (1982), Fonseca Ferreira (1982), Fulfaro et al. (1982), y Palmieri y Velázquez (1982).

- Los mapas y esquemas geológicos, a muy distintas escalas, de Harrington (1950), Putzer (1962), Campos et al. (1974), Degraff et al. (1981), The Anschutz Corporation (1981), Braun (1982), Fulfaro et al. (1982), Palmieri y Velázquez (1982), Schobbenhaus et al. (1982), Wiens (1982), Bitschene y Lippolt (1986), O'Connor y Walde (1986), Zalán et al. (1986, 1990, 1991), Barros França y Potter (1988, 1991), Palmieri et al. (1990a, 1990b, 1990c), Milani et al. (1990), Wiens et al. (1993), y de Jager (1997), más las contribuciones de Russo (1980), Urban y Stribrny (1986), Walde (1986), Caminos (1988), Chebli et al. (1989), Braun et al. (1990), y Pucci (1991), señalan una bien definida faja N-S de antiguas plutonitas y metamorfitas, y también sedimentitas y metasedimentitas asociadas, discontinua pero visiblemente extendida desde adyacencias de Corumbá Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil), hasta el S y SE de la capital guaraní, que no es difícil interpretar como expresión aflorante del Alto asunceño.
- Más recientemente, de modo explícito o implícito, distintas contribuciones especializadas, algunas ya aludidas, tuvieron en cuenta la existencia del Alto de Asunción (Barros França et al., 1995; Eyles et al., 1995; Isaacson y Díaz Martínez, 1995; Tankard et al., 1995; Urien et al. 1995; Williams, 1995; Cuerda, 1996).
- En Paraguay oriental y Brasil, según mapas isopáquicos regionales, no siempre acordes entre sí, de Soares (1981), Goulart y Jardim (1982), Barros França y Potter (1988), y los más recientes de Zalán et al. (1990, 1991), los espesores de unidades neopaleozoicas, triásicas-neojurásicas tempranas y neojurásicas-eocretácicas, si bien no primarios, tienden a disminuir hacia el O, en dirección al Paraguay central y occidente del Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), como testimonio de un factor de control deposicional, probablemente el flanco oriental del Alto asunceño. Según Zalán et al. (1990, 1991), las acumulaciones marinas Devónicas de la Formación Ponta Grossa desplegarían igual distribución regional de espesores; sin embargo, a la fecha se ha preferido mantener en reserva estos elementos de juicio publicados anteriormente, atento a las revisiones lito y cronoestratigráficas que se están efectuando en depósitos paranenses pre-carbónicos de Brasil y Paraguay, de acuerdo con lo expresado recientemente por Milani (1997).
- El mapa isopáquico de acumulaciones mesozoicas paranenses, propuesto por Wiens (1995), permite advertir dos sectores de espesores nulos, alineados en dirección meridiana; el más amplio se halla en adyacencias del Río Apa y al oriente del Río Paraguay; el otro, de menor extensión y silueta subcircular a elíptica, está dispuesto al E y SE de la capital guaraní. Estas dos áreas sin depósitos mesozoicos según Wiens (1995), se localizan en coincidencia con rasgos estratigráficos y estructurales ya mencionados, que sugieren la presencia del Alto de Asunción, en territorio paraguayo si bien el citado autor manifestó reparos sobre el tema).
- Milani et al. (1990), y Milani (1992), presentaron mapas regionales apoyados en información sísmica. Son muy ilustrativas las curvas de profundidades desde superficie, referidas al tope del basamento; ellas evidencian un bien definido depocentro al E de la frontera Paraguay-Brasil (hasta por lo menos 7000 m. bajo superficie, quizás 9000 m., Milani, 1993, comunicación verbal), y una clara subida estructural al O, en dirección al pozo ASU-2 (NE de Asunción, Paraguay) y a la capital guaraní. El comportamiento descripto es armónico con la aceptable influencia del cercano flanco oriental del Alto asunceño, el cual se encontraría hacia el poniente
- Según Barros França y Potter (1988, 1991), determinadas lenguas y mantos de hielo vinculados con depósitos del Grupo Itararé (Neocarbónico-Eopérmico) y equivalentes, habrían tenido cabeceras de alimentación en frentes orientales del Alto asunceño (lóbulos Mato Grosso y Santa Catarina), propuesta que completa y perfecciona las interpretaciones previas de Crowell y Frakes (1975). La reciente contribución de Eyles et al. (1995) robustece los esquemas paleogeográficos de Barros França y Potter (1988, 1991).

- La Formaciones Aquidauana (Mato Grosso do Sul), y Aquidaban (sector septentrional del Paraguay oriental), representarían facies aluviales de borde del Grupo Itararé (Neocarbónico-Eopérmico), vinculadas con los flancos orientales de un margen occidental de la Cuenca paranense brasileña y paraguaya, que se supone establecido por el Alto de Asunción.
- Es altamente sugestivo que no resulte fácil la correlación de las pelitas de las Formaciones Palermo (Eopérmico tardío-Neopérmico temprano) e Iratí (Neopérmico kazaniano), con la estratigrafía aflorante en Paraguay central y oriental. Así lo advirtió Harrington (1950), al señalar que ".En el Paraguay oriental no existe equivalente de las lutitas de Palermo ni de las de Iratí del Brasil.."; además reiteró: ".En Paraguay no se ha observado rocas comparables a las lutitas de Iratí. En cambio se observa un potente grupo de areniscas claras, fosilíferas en su base, que se disponen transgresivamente... Designaré a este grupo con el nombre de "Serie de Independencia"., ". Vinculada con el extenso "mar Iratí" (Neopérmico kazaniano) y aflorante en una extensa faja meridiana del Paraguay oriental, al E de la capital guaraní, parte de esta así llamada "Serie de Independencia" correspondería a secuencias proximales, costaneras y transicionales, casi indudablemente sometidas a condiciones deposicionales de borde, impuestas por cercanos flancos orientales del Alto de Asunción, situados al Oeste de las secciones asomantes. En el subsuelo paraguayo, igual significado tendría el reemplazo lateral de pelitas de la Formación Palermo, por psamitas de la Formación Rio Bonito, o Grupo Guatá, observable entre los pozos ASU-2 (Asunción, Paraguay), y 2-AN-1-PR (Altonia, Paraná, Brasil) (Milani et al., 1990). Refuerzan estas presunciones las conclusiones de Espitalie y Madec (1987), acerca del contenido y distribución de la materia orgánica en la Formación Iratí.
- A partir de las descripciones de Harrington (1950) relativas al Paraguay central y oriental, es deducible que algunas secuencias neopaleozoicas están del todo representadas en el naciente del país guaraní, por facies distintas y registros igualmente completos, pero más delgados que sus análogos de la cuenca paranense brasileña. Trataríase de secciones "telescópicas", o "condensadas", influídas por la vecina presencia del Alto de Asunción, sito al Oeste
- Con idéntico sentido, merece citarse la ausencia de las pelitas de la Formación Palermo (Eopérmico tardío-Neopérmico temprano), en el pozo 2-DO-1-MS (Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil), perforado en la parte austral del Estado de Mato Grosso do Sul. La posición estratigráfica de estas sedimentitas finas es ocupada por areniscas de la Formación Dourados (Milani et al., 1994), que así adquieren carácter de facies proximales occidentales de la Formación Palermo, vinculables con cercanos flancos orientales del Alto asunceño, sito al poniente.
- En el pozo 2-AN-1-PR (Altonia, Estado de Paraná, Brasil), se atravesaron unos 290 m. de la Formación Iratí (Neopérmico kazaniano) (Milani et al., 1990). Pero esta misma unidad tiene sólo 90 m. en el pozo ASU-2 (Asunción, Paraguay) (Milani et al., 1990), y 80 m. en el 2-RI-1-RS (Rio Ijuí, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil) (Goulart y Jardim, 1982), perforado a 65 Km. al S de Misiones, próximo a la margen izquierda del Río Uruguay. Congruentemente con las anotadas diferencias de espesores de la Formación Iratí, tanto ASU-2, como 2-RI-1-RS, tienen ubicaciones más occidentales que la de 2-AN-1-PR, circunstancia que ayuda a atribuir los menores valores atravesados por los dos primeros pozos citados, a su mayor cercanía respecto del Alto Asunceño, dispuesto al poniente de ambos.
- En el pozo YPF Mariano Boedo 1 (SE de la Provincia de Formosa, próximo a la frontera argentino-paraguaya, las acumulaciones continentales atribuídas en el presente trabajo a la Formación Misiones (Mesotriásico tardío-Neojurásico temprano), ofrecen 178 m. de espesor total. Siempre de acuerdo con este informe, la sección completa supuesta perteneciente a la misma unidad, tiene 475 m. en el pozo YPF San Cristóbal, perforado en la parte centro-noroeste de la Provincia de Santa Fe, al poniente del meridiano de YPF Mariano Boedo 1, Es decir, según sentido Oeste-Este, se advertiría reducción de espesor de la Formación Misiones, quizás inducido por el Alto de Asunción, el cual se localizaría en posiciones orientales, respecto de las

provincias de Santa Fe, Chaco y Formosa, a modo de prolongación austral de sus evidencias aflorantes en el Paraguay central. Por sí solo, este argumento es necesario, pero no suficiente; en efecto, esa disminución de espesor hacia el Este manifestado por la Formación Misiones, puede responder al generalizado y gradual ascenso regional del sustrato cristalino en dirección al naciente, de modo independiente respecto de la existencia o no del Alto asunceño.

- En la literatura internacional especializada, se considera a las secuencias clásticas continentales jurásicas pre-neojurásicas tardías paranenses de Brasil, Paraguay, Uruguay, y Argentina (Formaciones Botucatú y Rivera, y equivalentes) como uno de los mejores ejemplos mundiales de registros paleodesérticos, quizás el mayor conocido (1.300.000 Km2., Salamuni y Bigarella, 1967; 2.000.000 Km2., Volkheimer, 1969; 1.500.000 Km2., Sprechmann et al., 1981; Bossi y Díaz, 1990). Sin tomar en cuenta su contraparte paleoafricana, equivale, aproximadamente, a un quinto del Sahara, cuyo total se extiende, por lo menos, en Túnez, Argelia, Marruecos, Mauritania, Mali, Niger, Chad, y Libia. La existencia del "paleodesierto de Botucatú", a cuyos registros también pertenecen partes superiores de las "Areniscas de Misiones" (sensu Harrington, 1950) o "Formación Misiones" (sensu Putzer, 1962), no habría sido ajena a efectos ejercidos por el Alto de Asunción sobre la baja circulación atmosférica regional, durante el Jurásico-Eocretácico (Fernández Garrasino, 1995b).
- En el oriente paraguayo, el "mapa de isópacas versión 1995" del "acuífero juro - Triásico" paranense, preparado por Araujo, Barros França y Potter, y adjunto al trabajo de Montano et al. (1996), muestra evidente disminución gradual de espesores hacia la faja meridiana del Paraguay central. Esa disposición estratigráfica puede constituir un testimonio válido indicativo del control tectosedimentario ejercido por los flancos orientales del Alto asunceño, durante la acumulación mesozoica.
- Las distribuciones regionales aflorantes de unidades clásticas neopaleozoicas y triásicas-jurásicas presentadas por Harrington (1950), Putzer (1962), y Palmieri et al. (1990a), en sus respectivos mapas geológicos, más los rasgos que ilustró Fonseca Ferreira (1982), determinan en la faja meridiana de Paraguay central, una megaestructura antiforme, de flancos inclinados a Este y Sudeste, con tendencia a cierre periclinal esbozado según eje buzante hacia el Sur, en dirección al Norte de la Provincia de Corrientes. Así se muestra una buena evidencia morfoestructural del Alto de Asunción, y de su eventual prolongación en la Mesopotamia argentina.

Las coladas basálticas neojurásicas-eocretácicas de la Formación Serra Geral y los clásticos sincrónicos asociados de la Formación Solari, son las unidades mesopotámicas aflorantes más antiguas. De modo sugestivo, ambas también asoman bastante generosamente en el centro de Corrientes, como si esta comarca hubiese formado parte, durante tiempos neocretácicos y/o cenozoicos, de un área de menor acumulación relativa, y/o de erosión más intensa, posiblemente debidas a posición topográfica más alta, frente a zonas circundantes. En armonía con estas presunciones, la morfología de la comarca central correntina destaca un paisaje suavemente ondulado, de mayor altitud relativa, denominada "meseta de Mercedes", o "meseta mercedina", incluyente de afloramientos de las Formaciones Serra Geral (basaltos) y Solari (clásticos), y quizás expresión fisiográfica actual inducida por el eventual segmento mesopotámico del Alto de Asunción (Fernández Garrasino, 1988, 1992b, 1992c). Precisamente, coincidiendo con la "meseta mercedina" y afloramientos de estas dos unidades citadas, las curvas estructurales del tope de la Formación Serra Geral, muestran en el sector mediterráneo correntino, entre las poblaciones de Concepción, Mercedes, y Curuzú Cuatiá, un elemento longitudinal positivo buzante al Sur, de arrumbamiento meridiano según continuidad aproximada con las exposiciones precámbricas, paleozoicas y mesozoicas de la faja central paraguaya, pertenecientes al Alto de Asunción. Es aceptable inferir que este rasgo sobrelevado del tope del conjunto basáltico neojurásico-eocretácico, representa la

prolongación en la Mesopotamia argentina, del aludido alto asunceño, que así llegaría, hacia el Sur, por lo menos hasta las cercanías del límite Corrientes-Entre Ríos (Ríos Guayquiraró y Mocoretá).

Dentro del ámbito geográfico que se trata, el tope de la Formación Serra Geral no es una referencia óptima para las representaciones estructurales. En efecto, para la subregión motivo de este informe, el límite superior de los basaltos no está constituido por una única superficie estratigráfica: según las localidades, le corresponde a la base de registros continentales Cretácicos post-basálticos anteriores al Maastrichtiano, o de acumulaciones marinas y litorales maastrichtianas-paleocenas, y también de secuencias continentales eocenas superiores. Sin embargo, como no demasiados pozos alcanzaron la base de las vulcanitas de Serra Geral, sobretodo en la Mesopotamia, de todos modos se considera al tope de las mismas, como elemento de referencia aproximadamente adecuado, favorecido por el contraste litológico que ofrece y considerando además:

- Los pozos YPF San Cristóbal 2 (Santa Fe), DNGM Estacas 1 (Entre Ríos), y Arrocera El Yacaré 1 (Norte de Entre Ríos), se hallan, en ese orden, cada uno al naciente del anterior citado. Al analizar sus respectivas columnas estratigráficas, y según los valores seguidamente mostrados, se advierte, de Oeste a Este, merma de espesores de las areniscas calcáreas de las respectivas secciones, supuestas como secuencias marinas someras, litorales, y/o costaneras, sincrónicas de las Formaciones Mariano Boedo, y Paiva (Maastrichtiano-Paleoceno). Sin atender a la discordancia del techo del supuesto registro Maastrichtiano - Paleoceno, este efecto de acuñamiento hacia el Este, no sería ajeno a la posible influencia del Alto asunceño, en comarcas septentrionales de Entre Ríos. Al igual que casos anteriores ya comentados, por sí solo, este argumento es necesario, pero no suficiente; en efecto, esa disminución de espesor hacia el Este, manifestado por eventuales equivalentes de las Formaciones Paiva y Mariano Boedo, puede estar inducido por el generalizado y gradual ascenso regional del sustrato cristalino en dirección al naciente, de modo independiente respecto de la existencia o no del Alto asunceño.
- Según ilustraciones de Padula y Mingramm (1968), en el pozo YPF Calchaquí 1, perforado cerca de la población santafecina epónima, al SSO de Vera, entre la margen derecha del Paraná y el Río Salado, el espesor de la sucesión continental de la Formación Chaco (Eoceno superior-Mioceno inferior) es de 175 m., comprendidos entre las Formaciones Mariano Boedo (Maastrichtiano - Paleoceno), y Paraná (Mioceno medio-Plioceno inferior). Hacia el Oeste de la Provincia de Santa Fe, al SO de Calchaquí, y O de Gobernador Crespo y del Río Salado, en el pozo YPF San Cristóbal 2, próximo a la localidad de igual nombre, la misma Formación Chaco, en idéntica posición estratigráfica relativa, alcanza 325 m. Es decir, ella pierde espesor en dirección al Este, hacia el Río Paraná y la Mesopotamia, como si existiese un elemento oriental respecto de la Provincia de Santa Fe, comparativamente elevado, que habría influido en la acumulación y distribuciones de espesores de la Formación Chaco. El supuesto agente de control tectosedimentario, estaría ubicado al naciente santafecino y representaría al segmento mesopotámico del Alto asunceño. Nuevamente es menester aclarar que, por sí solo, este argumento es necesario, pero no suficiente; en efecto, esa disminución de espesor hacia el Este ofrecida por la Formación Chaco, puede estar controlada por el generalizado y gradual ascenso regional del sustrato cristalino en dirección al Este, de modo independiente respecto de la existencia o no del Alto asunceño.
- De acuerdo con la misma línea de razonamientos, resultan de interés los esquemas gráficos de Padula y Mingramm (1968), los cuales dejan observar variaciones de espesores, de O a E, correspondientes a las secuencias marinas someras transgresivas de la Formación Paraná (sensu Padula y Mingramm, 1968, excluye "Formación Entre Ríos"), Los espesores muestran una gradual reducción de espesores de Oeste a Este, es decir, hacia el Río Paraná y la Mesopotamia, como si existiese un elemento oriental respecto de la Provincia de Santa Fe, comparativamente elevado, que hubiese influido en la acumulación y distribuciones de espesores de estos registros marinos miocenos - pliocenos. El supuesto agente de control tectosedimentario, estaría ubicado al naciente

santafecino, y representaría al segmento mesopotámico del Alto asunceño. Semejante a casos anteriores ya discutidos, por sí solo, este argumento es necesario, pero no suficiente; en efecto, es posible que esa disminución de espesores hacia el Este, manifestado por la Formación Paraná, sea respuesta al generalizado y gradual ascenso regional del sustrato cristalino en dirección al naciente, de modo independiente respecto de la existencia o no del Alto asunceño.

- La Mesopotamia central argentina, al menos en la Provincia de Corrientes, carece de los registros marinos maastrichtianos - paleocenos (Formaciones Paiva y Mariano Boedo), y miocenos medios - pliocenos inferiores (Formaciones Paraná y Entre Ríos). En efecto, la estratigrafía aflorante en sectores correntinos centrales y centrales - australes (Mercedes, M. I. Loza, Estación J. Solari, Curuzú Cuatiá) muestra a unidades terciarias, y terciarias a cuartarias, de exclusivo origen continental (Formaciones Fray Bentos, Arroyo Castillo, Arroyo Avalos, e Ituzaingó) apoyadas inmediatamente sobre depósitos aluviales Cretácicos superiores de la Formación Puerto Yeruá (Fernández Garrasino, 1989c, 1989d). Pero, en la superficie y subsuelo del O de la Provincia de Corrientes, y O, SO, y SE de la Provincia de Entre Ríos, y SO de Uruguay, se han definido secuencias marinas someras y litorales, de edades maastrichtiana-paleocena (Formaciones Mariano Boedo, Paiva, y Puerto Unzué, en Argentina), y Miocena media a superior-pliocena inferior (Formación Paraná, en Argentina, Formación Camacho en Uruguay) (Fernández Garrasino, 1989c, 1989d, 1990b, 1995c). Pareciese que la periferia de la Mesopotamia central argentina, en especial su parte correntina, hubiere sido posible límite deposicional para la sedimentación marina cretácica superior y neógena de la región. Los dominios mediterráneos correntinos, pudieron pertenecer a una área emergida, que gobernó la distribución de las secuencias marinas someras y litorales neocretácicas y terciarias. La paleogeografía apuntada podría responder a la presencia, en el ámbito mesopotámico central, del segmento austral del Alto de Asunción. Son congruentes con estas sospechas las menciones de Bidegain (1993), relativas al pasaje de facies marinas miocenas a secuencias continentales sincrónicas, hacia el Norte de la Provincia de Entre Ríos.
- Aproximadamente desde el límite Entre Ríos - Corrientes (Ríos Guayquiraró y Mocoretá, en dirección al Norte, es posible definir una divisoria hacia las poblaciones correntinas de P. Díaz Colodrero - Apeadero Emilio R. Coni - Cazadores Correntinos - Baibiene - M. I. Loza (Estación J. Solari) - Mercedes - Rincón Tranquera General, hasta Capiguari, ya en el S de los Esteros del Iberá. A escala regional, esta divisoria se alinea con las expresiones litológicas del Alto de Asunción, visibles al S de la capital paraguaya, márgenes del Río Apa (Paraguay y Brasil), y cercanías de Corumbá (Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil); además, ella despliega coincidencias no sólo respecto de la ya señalada "meseta mercedina" y sus asomos basálticos y sedimentarios en la Provincia de Corrientes, sino también con el positivo mesopotámico mostrado por las curvas estructurales del tope de la Formación Serra Geral, así como con el "Alto de Pay-Ubre", representado por Chebli et al. (1989), y luego por Pereyra y Villegas (1990). Según criterio amplio, la divisoria discutida, pareciera expresión superficial del asumido segmento mesopotámico del Alto de Asunción.

Al Norte, los Esteros del Iberá interrumpen el mencionado itinerario de rasgos morfológicos positivos hacia Paraguay y Brasil (Mato Grosso do Sul), pero el Alto de Asunción podría ser parcialmente discontinuo, o bien su traza axial presentar inflexiones, tanto verticales, como horizontales. De todos modos, las imágenes de teletección del centro de Corrientes y N de Entre Ríos, dejan ver formas y diseños de drenaje coherentes con estructuras regionales positivas, insinuadas o reconocidas en levantamientos sobre el terreno (De Giusto, 1958; Dipersia, 1958; Popolizio, 1977; Chebli y Russo, 1977; Gebhard, 1982; Cabanillas et al., 1986).

El ascenso inaugural del arco asunceño pudo haber tenido lugar de modo no intenso, gradual, y hasta discontinuo. De tal manera, las discordancias resultantes serían preferentemente advertibles en los dominios de borde, y se desvanecerían hacia las localizaciones más distales ("efectos de paraconcordancia"). Es posible que estas circunstancias, más algunas

indeterminaciones cronológicas que aun persisten, sean una de las causas de dudas y disensos, en el esclarecimiento de ciertas relaciones estratigráficas entre distintas unidades paranenses.

Si el ascenso del Alto asunceño hubiere sido discontinuo, a parte de gradual y no intenso, también habríanse producido episodios temporarios de reactivación de la sedimentación, con probable participación de secuelas progradantes.

Asimismo, acorde con un ascenso sospechado no espacialmente uniforme, y quizás de cronología discontinua, la disposición del Alto de Asunción, como elemento de control tectosedimentario, pudo haber presentado algunas interrupciones paleogeográficas, que no invalidan su posible existencia.

Las curvas estructurales del tope del conjunto basáltico de la Formación Serra Geral (Neojurásico - Eocretácico), indican que el Alto de Asunción se prolongaría hasta vecindades del límite Corrientes - Entre Ríos. Esta circunstancia modifica parcialmente algunas presunciones anteriores al respecto (Fernández Garrasino, 1992b, 1992c).

Según los mapas isopáquicos regionales de Zalan et al. (1990, 1991), en Paraguay oriental y Cuenca paranense brasileña, la secuencia Silúrica (Formaciones Villa Maria y Furnas, a juicio de los autores citados) alcanza espesores máximos de inmediato al E del Alto asunceño, hacia el naciente de la capital guaraní. Esta disposición parece indicar que el Alto de Asunción no habría influido en la sedimentación de las Formaciones Villa Maria y Furnas (Silúrico, Zalán et al., 1991), cualesquiera fuesen las edades y relaciones estratigráficas de ellas. Pero, también de acuerdo con Zalan et al. (1990, 1991), isópacas mínimas del registro Devónico (Formación Ponta Grossa, según los autores citados) están próximas al Alto asunceño, y además guardan cierta armonía con su rumbo y ganan espesor hacia oriente del mismo. El distinto comportamiento de las dos sucesiones paleozoicas aludidas, invita a pensar que el Alto de Asunción podría haber sido agente de efectivo control tectosedimentario desde comienzos de la acumulación de la Formación Ponta Grossa, cuyas areniscas transgresivas basales pertenecería al Devónico inferior tardío (Emsiano), de acuerdo con Zalán et al. (1991).

Relativo a las propuestas del párrafo precedente, cabe recordar que es dificultoso hallar el equivalente paraguayo de la Formación Ponta Grossa, quizás por cambios litofaciales, explicables por variaciones paleoambientales. De modo preciso y concreto acerca del tema, Harrington (1950) expresó que "...En Paraguay, en cambio, no es posible distinguir un grupo inferior de areniscas y otro superior de lutitas equiparables a los de Furnas y Ponta Grossa. Por el contrario, los fósiles de la Serie de Itacurubí, se encuentran en un conjunto superior de areniscas, a veces hasta conglomerádicas, que sólo muy ocasionalmente presentan alguna delgada intercalación arcillosa. Debajo de estas capas superiores, que alcanzan a unos 100 metros de espesor y que por su fauna son equiparables a los "folhelhos de Ponta Grossa", aparecen en el Paraguay unos 190 a 200 metros de areniscas y lutitas interestratificadas que, ocasionalmente, llevan en distintos niveles algún resto de Homalonotus o de cefalópodos mal conservados. Este grupo, evidentemente mucho más arcilloso que el superior, equivaldría, por su posición estratigráfica, a las "areniscas de Furnas" pero mostrando una facies totalmente distinta...". Estas descripciones de Harrington (1950) son dignas de atención: en los ámbitos paraguayos, las "areniscas de Furnas" (Silúrico-Devónico inferior) serían "pelitas", y las "lutitas de Ponta Grossa" (Devónico inferior emsiano-Devónico superior fameniano) corresponderían a "areniscas y aun conglomerados". Es decir, ofrecerían desarrollos litoestratigráficos sensiblemente distintos a sus respectivas secciones definitorias de Brasil, por no decir hasta opuestos a ellas. Tales contrastes podrían ser secuelas de paleogeografías diferentes: respecto de las localidades tipo brasileñas, los dominios del centro y E del Paraguay, habrían sido "distales" para la Formación Furnas, y "proximales" para la Formación Ponta Grossa. Así, resultan comprensibles las dificultades en establecer correlaciones. La explicación puede buscarse en el establecimiento del Alto de Asunción, como elemento de control tectosedimentario, ocurrido después del "tiempo Furnas", y antes del "tiempo Ponta Grossa", intervalo ubicable en el Devónico inferior, de acuerdo con las cronologías de Zalán et al. (1991), autores que aceptaron una

discordancia entre las Formaciones Furnas y Ponta Grossa (Zalán et al., 1987, 1991). La existencia del Alto que se trata fue también sostenida por Putzer (1962), quien expresó que ".ha servido (el anticlinal central-paraguayo) como zona alta durante períodos largos: nunca el Devónico marino inferior ha pasado sobre este elemento elevado". A su vez, de Melo (1988) opinó que el arco asunceño habría provisto abundantes materiales clásticos desde el Siegeniano o Emsiano más temprano (Devónico inferior). Todas estas deducciones e inferencias guardan singular armonía con los modelos isopáquicos del Paleozoico inferior, propuestos por Zalán et al. (1990, 1991).

Pero a la fecha, y a efectos del presente informe, se ha preferido mantener todavía en reserva estos elementos de juicio publicados anteriormente, y la eventual, -y probable-, edad eodevónica del Alto asunceño, atento a las revisiones lito y cronoestratigráficas actualmente en curso y dirigidas a depósitos paranenses pre-carbónicos de Brasil y Paraguay, según lo dado a conocer recientemente por Milani (1997, disertación Petrobras en Mesa Redonda sobre la Cuenca Chacoparanense, Instituto Argentino del Petróleo y Gas IAPG, 11 septiembre 1997), y Wiens (comunicación verbal, marzo 1998). Milani (1997) dijo que el par base a techo Formaciones Furnas (dominantemente psamítica) - Ponta Grossa (dominantemente pelítica) constituye la totalidad del registro Devónico paranense brasileño, sin mayores discontinuidades internas; luego, agregó que el Alto de Asunción podría ser más joven que la edad Devónicas propuesta por Zalán et al. (1991).

Secuencias glacígenas del Grupo Itararé (Neocarbónico - Eopérmico) habrían estado relacionadas con lenguas y mantos de hielo, cuyas cabeceras de alimentación nival supuestamente se localizaban en frentes del Alto asunceño (Barros França y Potter, 1988, 1991; Eyles et al., 1995), de acuerdo con análisis específicos de paleocorrientes, y estrías en pavimentos y otras superficies de exaración. Si es así, este constituye un argumento de peso que indica una edad no posterior al Neocarbónico, para el Alto de Asunción como agente de control tectosedimentario. Pero estos elementos de juicio, por si mismos, tampoco niegan eventual calidad pre-carbónica para el arco asunceño.

Además, ya se indicó que es muy sugestivo que no sea fácil la correlación de las pelitas marinas de las Formaciones Palermo (Eopérmico tardío - Neopérmico temprano) e Iratí (Neopérmico kazaniano) de la cuenca paranense brasileña, con la estratigrafía aflorante en Paraguay central y oriental. Así lo advirtió Harrington (1950), al señalar que "...En el Paraguay oriental no existe equivalente de las lutitas de Palermo ni de las de Iratí del Brasil..."; luego reiteró: " En Paraguay no se ha observado rocas comparables a las lutitas de Iratí...En cambio se observa un potente grupo de areniscas claras, fosilíferas en su base, que se disponen transgresivamente Designaré a este grupo con el nombre de "Serie de Independencia"...". Vinculada así con el extenso "mar Iratí" (Eopérmico tardío - Neopérmico kazaniano), y aflorante en una extensa faja meridiana del Paraguay oriental, al E de la capital guaraní, parte de la llamada "Serie de Independencia" correspondería a secuencias proximales, costaneras y transicionales, casi indudablemente sometidas a condiciones sedimentarias de borde, muy posiblemente impuestas por cercanos flancos orientales del Alto de Asunción, situados al poniente de las secciones expuestas. En el subsuelo paraguayo, igual significado tendría el reemplazo lateral de pelitas de la Formación Palermo, por psamitas de la Formación Rio Bonito, o Grupo Guatá, observable entre los pozos ASU-2 (Asunción, Paraguay), y 2-AN-1-PR (Altonia, Paraná, Brasil) (Milani et al., 1990). Igual significado es atribuible a la ausencia de las pelitas de la Formación Palermo (Eopérmico tardío-Neopérmico temprano), en el pozo 2-DO-1-MS (Dourados), perforado en la parte austral del Estado de Mato Grosso do Sul. En tal localización, las sedimentitas finas de la Formación Palermo han cedido lugar a las areniscas coetáneas de la Formación Dourados (Milani et al., 1994), las cuales adquieren carácter de facies gruesas proximales occidentales de la Formación Palermo, vinculables con cercanos flancos del Alto asunceño, sito al poniente.

Las concurrentes circunstancias geológicas señaladas en los dos párrafos anteriores, sugieren con bastante claridad, que el Alto de Asunción ya habría ejercido evidente control tectosedimentario, por lo menos desde comienzos de la acumulación neopaleozoica en la región.

Más aun, el Alto asunceño, como entidad paleogeográfica positiva, no sería posterior al neocarbónico, que es la edad de los depósitos basales del Grupo Itararé y sus equivalentes paraguayos, todas unidades más antigua del registro gondwánico paranense. De manera coherente con estas cronologías, los mapas isopáquicos regionales de Zalán et al. (1990, 1991), muestran que, en Paraguay oriental y Brasil, los espesores de unidades neopaleozoicas, si bien no en todos los casos, tienden a disminuir hacia el O, en dirección al Paraguay central y también hacia el occidente del Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), como testimonio de un factor de control deposicional, probablemente el flanco oriental del Alto asunceño. Las reconstrucciones de González (1986), y más tarde las de Cuerda (1996), junto a las muy recientes de Carrizo y Azcuy (1997), y di Pasquo y Azcuy (1997), atestiguan en favor del Carbónico como antigüedad mínima para el Alto de Asunción. Su influencia sobre la sedimentación, perduraría, por lo menos, hasta el Cretácico superior -Paleoceno, a juzgar por las distribuciones de espesores mostradas por Pucci (1991). Es muy posible la persistencia del mismo, todavía en tiempos miocenos-pliocenos, y aun post-terciarios (Fernández Garrasino, 1998, 1988, 1989c, 1992b, 1992c).

Alto del Río de la Plata

Constituye un elemento positivo de control tectosedimentario, representado por rocas ígneas y metamórficas aflorantes en el S y SO de Uruguay, Isla Martín García, e islas del bajo Río Uruguay, y de aceptable presencia en el subsuelo del N de la Provincia de Buenos Aires, S de las provincias de Entre Ríos y Santa Fe, y SE de la Provincia de Córdoba. (Umbral de Martín García, Padula y Mingramm, 1968, Padula, 1972, Zambrano, 1974, Yrigoyen, 1975; Alto de Martín García, Padula y Mingramm, 1969a, 1969b, 1969c; Positivo de Martín García, Padula, 1972; Alto de Uruguay, Russo et al., 1979, 1980; Cratón Tandil-Plata-Ribeira, Irigoyen (sic) y Urien, 1988, Fernández Garrasino et al., 1991, Vergel, 1993; Alto del Río de la Plata-Alto del Uruguay, Pezzi y Mozetic, 1989; Cratón Río de la Plata o del Río de la Plata, Pereyra y Villegas, 1990)

Para Fernández Garrasino, (1998) la existencia del Alto del Río de la Plata es deducible a partir de las siguientes pautas y elementos de juicio:

- Los pozos YPF Ordóñez 1, YPF Camilo Aldao 1, e YPF Saira 1, todos perforados en el oriente de la llanura cordobesa, los dos últimos próximos al límite con Santa Fe, mostraron a la Formación Ordóñez (Neocarbónico estefaniano-Neopérmico kazaniano) apoyada sobre plutonitas y/o metamorfitas precámbricas y copaleozoicas. En particular, YPF Saira 1, el más septentrional de los tres pozos nombrados, y muy cercano a territorio santafecino, a 2608 m.b.b.p. (-2509 m.b.n.m.) alcanzó variedades dioríticas, cuya edad isotópica es del orden de 1516 ± 150 m.a. (Russo et al., 1979), y 1516 ± 110 m.a. (Russo et al., 1987). A su vez, YPF Camilo Aldao 1, la más austral y oriental de las perforaciones cordobesas aludidas, y también adyacente a la Provincia de Santa Fe, penetró en esquistos cuarzo-anfibólicos a 2200 m. de profundidad (-2093 m.b.n.m.). Por otra parte, YPF Ordóñez 1, de ubicación más occidental entre los tres pozos citados, alumbró rocas gnéisicas a 3381 m.b.b.p. (-3256 m.b.n.m.) (Russo et al., 1980). Recientemente, en el Sur de la Provincia de Santa Fe, la perforación Marathon Firmat 1 ingresó en litologías graníticas a 2364 m.b.b.p. (-2258 m.b.n.m.)., se comprueba que en el subsuelo del segmento Sur de la faja limítrofe Córdoba-Santa Fe y de comarcas australes santafecinas, las sedimentitas neopaleozoicas de la Formación Ordóñez descansan sobre un yaciente ígneo-metamórfico. Asimismo, es manifiesto el ascenso del basamento, desde YPF Saira 1 (tope basamento: -2509 m.b.n.m.), en dirección al Sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe, tanto hacia YPF Camilo Aldao 1 (tope basamento: -2093 m.b.n.m.), como también hacia Marathon Firmat 1 (tope basamento: -2258 m.b.n.m.). Tal subida estructural, parece indicativa de la presencia del Alto del Río de la Plata, en partes australes de Córdoba y Santa Fe

- En el pozo DMG Laboulaye 1 (Provincia de Córdoba, próximo al vértice tripartito Córdoba-Santa Fe-Buenos Aires, fondo: 1053 m.b.b.p., sin alcanzar basamento propiamente dicho), se efectuó una prueba de velocidad que puso en evidencia, a 1525 m. de profundidad bajo nivel del terreno, un contraste de 5000 a 5600 m/seg (Padula, 1972). Estadísticamente, las velocidades de propagación de las ondas de deformación elástica, correspondientes a granitos y metamorfitas, presentan la mayor frecuencia global de determinaciones, en el intervalo aproximado 5100-5200 m/seg (Telford et al., 1978). Así y aunque sin comprobación local por medio de perforaciones, es razonable suponer, como alternativa no única, que tal variación de 5000 a 5600 m/seg señale posible ingreso al basamento, en el entorno de la población de Laboulaye, que Padula (1972) asignó al "Umbral de Martín García" o "Substratum Proterozoico". Por esta vía alternativa de auxilio sísmico, se puede aceptar un ascenso estructural del yaciente cristalino, desde el pozo YPF Camilo Aldao 1 (tope basamento: -2093 m.b.n.m.), hacia la localidad de Laboulaye (tope basamento: -1387 m.b.n.m., según prueba de velocidad), sita al SO del mismo. Similar disposición indica la sensible diferencia positiva N a S, también referida al basamento, entre el pozo YPF Ordóñez 1 (tope basamento: -3256 m.b.n.m.), y Laboulaye (tope basamento: -1387 m.b.n.m., según prueba de velocidad). Estas subidas estructurales del sustrato ígneo-metamórfico parecen inobjetables, a pesar de la movilidad con componentes verticales, que habría afectado a parte del Sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe, durante el Mesozoico y Terciario, y pudieron encubrir o enmascarar las relaciones originales.
- Las inferidas elevaciones del basamento, desde YPF Ordóñez 1 e YPF Camilo Aldao 1, hacia los cuadrantes australes, complementa a la análoga semejante ya apuntada, a partir de YPF Saira 1, también dirigida al Sur. De tal modo, los sentidos similares de estos ascensos estructurales del sustrato ígneo-metamórfico, adquieren carácter de argumentos concurrentes, todos favorecedores de la existencia y localización del Alto del Río de la Plata, en el SE de la Provincia de Córdoba, y S de la Provincia de Santa Fe.
- A los elementos de juicio invocados, puede sumarse la información indirecta provista por el pozo YPF Josefina 1, perforado en el Oeste de la Provincia de Santa Fe, muy cerca de Córdoba, y cuya profundidad final fue de 4519 m.b.b.p. (- 4411 m.b.n.m.), sin haber alcanzado al sustrato cristalino propiamente dicho, el cual debe encontrarse a mayor profundidad que la indicada para el fondo. En territorio cordobés, al Sur de YPF Josefina 1, se halla el pozo YPF Saira 1, dónde se alumbraron plutonitas dioríticas del basamento Precámbrico a 2608 m.b.b.p. (-2509 m.b.n.m.). Luego, por vía indirecta, también se hace indudable el ascenso estructural del tope del sustrato cristalino, desde YPF Josefina 1 (tope basamento: más profundo que – 4411 m.b.n.m.) hacia el Sur, en dirección a YPF Saira 1 (tope basamento: -2509 m.b.n.m.), circunstancia consistente con la deducida presencia del Alto del Río de la Plata en sectores australes de Santa Fe y sudorientales de Córdoba.
- El par estratigráfico base a techo Formación Ordóñez (Neocarbónico-Neopérmico)-Formación Victoriano Rodríguez (Neopérmico), definido en el subsuelo de la llanura cordobesa, y considerado presente bajo la superficie central-austral de la Provincia de Santa Fe, ofrece mayor participación relativa de areniscas, en comparación con la tríada aproximadamente sincrónica, integrada abajo-arriba por las Formaciones Sachayoj-Charata-Chacabuco, que se presumen existentes en el subsuelo santafecino central a septentrional. A juzgar por las secuencias de pozos de las llanuras orientales santiagueñas y cordobesas y de otros del SO del Chaco, parecería que los registros neopaleozoicos ganarían creciente contribución de facies proximales psamíticas en dirección al S de Santa Fe y SE de Córdoba, pendiente arriba sobre el basamento, hacia un posible dominio marginal, establecido por el Alto del Río de la Plata.
- Merced a las referidas comparaciones de facies, se deduce que el Alto del Río de la Plata habría influido en la acumulación y distribución de las Formaciones Ordóñez (Neocarbónico-Neopérmico), y Victoriano Rodríguez (Neopérmico). Luego, su antigüedad mínima, como agente de control tectosedimentario y paleogeográfico, se remontaría al inicio de la

sedimentación carbónica en la comarca. En los sectores de Saira, Ordóñez y Camilo Aldao, los depósitos neopaleozoicos descansan inmediatamente sobre el yaciente ígneo y/o metamórfico. Así, la eventual ausencia de sedimentitas pre-gondwánicas en el subsuelo del SE de la Provincia de Córdoba y comarcas australes santafecinas, indicaría severos procesos de erosión, de magnitud considerable y previos a la acumulación Neopaleozoica, o bien la vigencia del Alto del Río de la Plata, como elemento elevado de control tectosedimentario y paleogeográfico, durante aun indefinidos tiempos paleozoicos anteriores al Carbónico y quizás hasta precámbricos.

El pozo DGMG Gualeguay 4 (centro-Sur de Entre Ríos, a unos 100 Km. en línea recta al SE de la ciudad de Nogoyá, penetró en rocas descriptas como anfibolitas, a 499 m.b.b.p. (- 488 m.b.n.m.) (Dirección Nacional de Geología y Minería, 1958), que deben corresponder a los "gabros" mencionados más tarde por Padula (1972), quien los asignó al "Substratum Proterozoico" Este yaciente ígneo o ígneo-metamórfico de Gualeguay, tendría expresiones aflorantes al SE, representadas por el cortejo de plutonitas y metamorfitas que asoman en la Isla Juncal, República Oriental del Uruguay, bajo Río Uruguay, al S de Nueva Palmira y casi frente a Carmelo y en varios lugares de la Isla Martín García (25 m.s.n.m., Yrigoyen, 1975), Argentina, desembocadura del Río Uruguay, donde son bien visibles en barrancas y frentes de escasa altura sobre el río, cercanos al muelle principal. Ahí todavía se preservan algunos relictos de antiguos laboreos virreinales de fines del siglo XVIII, que habrían provisto materiales rocosos para la construcción de "pasos de piedra" en esquinas céntricas de Buenos Aires, y también para el empedrado de la "calle del Correo", por eso después "calle del Empedrado" (hoy calle Florida), durante los gobiernos de Juan José de Vértiz y Salcedo (1778-1784), y Nicolás Cristóbal del Campo, marqués de Loreto (1784-1789) (Fernández Garrasino, 1968, observaciones personales). Dalla Salda (1981) denominó Complejo Martín García al conjunto de litologías integrantes del basamento de la isla, en el cual reconoció el predominio de metabasitas y metaultrabasitas (anfibolitas), que hacen recordar a las similares alcanzadas en el pozo DGMG Gualeguay 4 (Entre Ríos), y rocas semejantes (microgabros y anfibolitas) tratadas por Bossi y Navarro (1982), y Preciozzi Porta et al. (1985), expuestas en Uruguay. Las determinaciones isotópicas indican edad precámbrica media a superior, para el Complejo Martín García, con valores de hasta 2085 ± 100 m. a. (Linares y Latorre, 1969; Marques de Almeida, 1971; Dalla Salda, 1981).

Luego, desde el subsuelo de Gualeguay, centro-Sur de Entre Ríos, hacia el SE, en dirección a las islas Juncal y Martín García, se advierte marcado ascenso del sustrato ígneo-metamórfico, razonablemente vinculable con ámbitos orientales del Alto del Río de la Plata, cuyas litologías están bien expuestas no sólo en las citadas islas, sino también al N de la ciudad uruguaya de Colonia del Sacramento.

La presencia del Alto del Río de la Plata en el Sur de Entre Ríos, parece confirmada no sólo por los asomos de metamorfitas aludidos en el párrafo anterior (Juncal, Martín García, N de Colonia), sino también por la subida del basamento hacia las partes más australes de la Provincia, indirectamente deducible a partir de las propuestas gravimétricas (anomalía de Bouguer) que ofreció Introcaso (1997). Coherente con estas presunciones, y altamente orientativo, es el exiguo espesor total de 46 m., conferible a los basaltos de la Formación Serra Geral en el pozo DGMG Gualeguay 4 ("Porfirita mesozoica", "porfirita de grano fino", 453-499 m.b.b.p., según Dirección Nacional de Geología y Minería, 1958). Esta cifra contrasta llamativamente con la sección completa de 790 m., atravesada en YPF Nogoyá 1 (NO de Gualeguay), de 650 a 1440 m.b.b.p., y que reúne a las vulcanitas básicas neojurásicas-eocretácicas de Serra Geral y sus intercalaciones clásticas (Formación Solari). A modo de argumento concurrente de similar ponderación, debe señalarse que, en el pozo DGMG Gualeguay 4, la "Porfirita mesozoica" subyace a depósitos continentales también tenidos por "mesozoicos" (?), y descansa de inmediato sobre litologías anfibolíticas o gábricas, manifestándose la falta de registros paleozoicos y mesozoicos pre-basálticos; tal ausencia es atribuible al control paleogeográfico y tectosedimentario ejercido por el Alto del Río de la Plata,

juzgado cercano al S de la perforación. Constituye pauta adicional el ascenso del techo basáltico, de 129 m. hacia el SE, entre YPF Nogoyá 1 (tope basaltos: -571 m.b.n.m.), y DGMG Gualeguay 4 (tope "Porfirita mesozoica": -442 m.b.n.m.). Las curvas estructurales del tope de la Formación Serra Geral sugieren claramente la presencia del Alto del Río de la Plata en el SE de Córdoba, S de Santa Fe, y S de Entre Ríos.

En territorio entrerriano, los flancos septentrionales del Alto del Río de la Plata podrían situarse hacia los cuadrantes del Sur, respecto del pozo YPF Nogoyá 1. Habida cuenta de la sucesión atravesada por la perforación DGMG Gualeguay 4, ya discutida algo más arriba, esos mismos bordes se dispondrían cercanos a la ciudad entrerriana de Gualeguay, al Sur de ella, localización paleogeográfica insinuada tanto por la presencia de anfibolitas a 499 m.b.b.p. y la ausencia de acumulaciones neopaleozoicas y mesozoicas pre-basálticas, como además por el magro espesor total de 46 m., otorgado a las vulcanitas de Serra Geral.

CAPITULO 4. ESTRATIGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

"La barranca tenía más de ciento cincuenta pies de altura;
estaba compuesta de tierras que me parecieron terciarias;
sus capas más bajas se componían de greda ferruginosa
endurecida, cubierta alternativamente por arena ferruginosa
y arcilla"
Alcide d'Orbigny, 1827

4. ESTRATIGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

4.1 Características de las perforaciones de interés realizadas en la Cuenca Chacoparanense.

4.1.1 Las perforaciones en territorio Argentino

Perforaciones en el área de estudio

El mesozoico de la cuenca Chacoparanense Argentina es conocida prácticamente desde las primeras perforaciones de la Dirección de Geología, Minas e Hidrogeología (Actual Subsecretaria de Minería) con el objetivo de brindar abastecimiento de agua al Ferrocarril a principios de siglo. Hacia mediados del mismo las campañas de exploración y prospección geológica y geofísica de YPF (Secretaría de Energía, Inédito) aportaron un importante caudal de información al conocimiento de estos niveles en el subsuelo de dicha cuenca.

Más recientemente han existido prospecciones geofísicas a cargo de distintos Organismos Nacionales (INCyTH) o Provinciales (SCyT de Ente Ríos), Universidades del Mercosur y Empresas privadas Argentinas, Uruguayas y Brasileñas que culminaron hasta el momento en las perforaciones de la ciudades de Federación, Villa Elisa, Concordia, Colon y Concepción del Uruguay Por otra parte estas perforaciones son las primeras perforaciones con alumbramiento de agua termal en la provincia de Entre Ríos, lo que redunda en un importante beneficio no solo geológico e hidrogeológico sino también económico para toda la región.

Si bien existen trabajos previos que realizan una correlación de las distintas perforaciones y otros datos indirectos de superficie en la región, es importante destacar la importancia de la revisión periódica con el aporte eventual de nueva información en particular en el litoral Argentino en función de definir mas claramente la estratigrafía de los niveles Mesozoicos en este sector de la Cuenca Chacoparanense. Para facilitar al ubicación de las perforaciones se presentan en el Mapa Geológico del área de estudio con la ubicación de los pozos en Argentina (7.1.1. y 7.1.2.).

En este capítulo se definirá la estratigrafía del área de estudio y propondrá una posible correlación entre las perforaciones Federación- 1 (F-1), Villa Elisa-1 (VE-1), Concordia (C-1), Concepción del Uruguay (CU-1) y Colon-1 (CL-1) ubicadas en las ciudades homónimas, en la Provincia de Entre Ríos, Argentina, con la información disponible de perforaciones previas y de las perforaciones en la República del Uruguay además otros sectores de la cuenca. Las perforaciones, como veremos mas adelante, poseen una cierta continuidad litológica en cada una de ellas, pero en un aspecto regional poseen variaciones de importancia que podrían ser locales u obedecer a características estructurales de la región. Otro objetivo es definir un modelo estratigráfico apropiado para servir de modelo teórico en un futuro estudio hidrogeológico del área. Para tener un mejor grado de detalle se expresara en la siguiente tabla la ubicación, profundidad y cota de las mismas.

Perforación	**F-1**	**C-1**	**Cl-1**	**VE-1**	**CU-1**	**Gch-1**
Localidad	Federación	Concordia	Colón	Villa Elisa	Concepción del Uruguay	Gualeguaychú
Sitio	Casco Urbano	Cruce Acceso a Salto Grande	Casco urbano	Ruta 130 cruce Ruta 29	Ruta Nac 14, Km 127.5	Ruta Nac. 14, Km 69
Ubicación en Gauss Krugger	x:6570250 Y:6411750	x:6544000 Y:6406000	x:6436460 Y:6391879	x:6444750 Y:6364500	x:6409558 Y:6378541	x:6351268 Y:6350817
Cota Topográfica	43	38	19	45	20	7
Profundidad m.b.b.p.	1260	1170	1502	1033	1250	988
Profundidad m.s.n.m.	1219	1132	1483	988	1230	981

Tabla N°5 Ubicación de las perforaciones profundas en el área de estudio

A lo largo del capítulo, se presentaran las descripciones geológicas de los niveles atravesados por las perforaciones de la región atendiendo a los cambios litológicos más característicos.

Las perforaciones existentes previamente a las antes citadas fueron realizadas por la Ex Secretaría de Minería e YPF. De estas ultimas la más profunda y significativa de la región fue la ya citada YPF Nogoyá-1, (1962) en este estudio el intervalo de ese pozo comprendido desde los 510m a 1810 m.b.b.p reviste mayor interés porque atraviesa los niveles Mesozoicos de la cuenca, las unidades descriptas en el informe de pozo fueron originalmente asignadas al Triásico por los geólogos de YPF se llamaron UNIDAD VI y se dividió en tres miembros: superior, medio e inferior (YPF, Inédito). Como ya se ha citado oportunamente en el Capítulo 3 diferentes autores han reinterpretado en sucesivos trabajos la información de dicha perforación.

Las perforaciones realizadas por la Ex Secretaria de Minería consideradas importantes para este trabajo corresponden a Guaviraví-1 Provincia de Corrientes, Gualeguay-4 Provincia de Ente Ríos, Villa Ramirez-1 Provincia de Ente Ríos y Estación Estacas-1 Provincia de Ente Ríos, fueron realizas todas con el objeto de abastecer de agua al ferrocarril o a las ciudades homónimas. La primera de ellas, Guaviraví-1, es importante porque atraviesa la secuencia basáltica con un espesor total de 112 metros ingresando en una potente arenisca de alrededor de 566 metros de espesor hasta el fondo de la perforación. La perforación Gualeguay-4 describe en el informe de obra original a una profundidad de 453 - 499 m.b.b.p. una "Porfirita de grano fino" y desde los 499 a los 501m.b.b.p. (profundidad final) la describe con la denominación de "anfibolita". La perforación realizada en Villa Ramírez alcanza el "Meláfiro" a 771 m.b.b.p. La perforación conocida como Estación Estacas ubicada 40 kilómetros al noreste de la ciudad de la Paz en el partido homónimo se detiene al llegar al techo de la secuencia basáltica de la Formación Serra Geral a 386m.b.b.p. descripta originalmente como "roca volcánica de color gris oscuro (melafiro)". Otras perforaciones realizadas por la Ex Secretaría de Minería como por ejemplo las realizadas en , Curuzú Cuatiá yofré, Posadas, etc. han sido consideradas en la interpretación y realización de los mapas estructurales (7.1.3 al 7.1.6). A continuación se presenta en la siguiente tabla:

Perforación	Localidad	Ubicación	Cota m.s.n.m.	Profundidad m.b.b.p.	Profundidad m.s.n.m
Nogoyá ERN1X	Nogoyá	23 km al Norte de Nogoyá por (Ruta 34)	79	2088	-2011
Est. Estacas	La Paz (ER)	Estación FFCCGU	64	389	-325
Gualeguay N°4	Gualeguay (ER)	Ciudad	11	501	-490
Villa Ramírez N°1	Paraná (ER)	Estación FFCCGU	110	771	-661
Guaviraví N°1	Guaviraví (Corr)	Estación FFCC	67	713	-646
Posadas	Posadas (Mis)	Ciudad	114	470	-356
Yofré	Yofré (Corr)	Estación FFCC	52	40	12

Tabla N° 6. Perforaciones profundas preexistentes en el área de estudio y/o cercanas a la misma

Es importante destacar que la información de las perforaciones de la Ex Secretaria de Minería ha sido posible solo a través de sus informes de obra único documento y registro que existe, por lo cual el autor ha considerado reproducir fielmente las descripciones litológicas como se cita en el informe. En algunas perforaciones la columna geológica han sido reinterpretada sobre la base de la información preexistente con especial énfasis en los niveles mesozoicos de interés.

Los perfilajes realizados en las perforaciones Federación -1, Colón -1, Concordia -1 y Gualeguaychú-1 nos han permitido ajustar los límites litológicos y definir mejor los pases formacionales. Estas perforaciones son las únicas perfiladas en la cuenca en el sector Argentino ya

que Villa Elisa -1 y Concepción del Uruguay - 1 no fueron perfiladas y en las correspondientes al sector Uruguayo y Brasileño de haberse hecho o no se han publicado aún. La importancia de esta información para las interpretaciones geológicas e Hidrogeológicas es fundamental en el conocimiento de este tipo de acuíferos. Esta información se integrara con las descripciones litológicas y la hidrogeología en los apartados correspondientes.

Perforaciones profundas en la Cuenca Chacoparanense Argentina

Las perforaciones realizadas en otras regiones o subcuencas de la cuenca Chacoparanense, particularmente en las provincias de Entre Ríos, Santa Fe, Formosa, Chaco Santiago de Estero y Córdoba, con el objetivo de prospectar hidrocarburos han sido incluidas en el presente trabajo con intención de presentar las posibles relaciones con las unidades Mesozoicas en la región occidental de la Cuenca. Las perforaciones realizadas por la Ex YPF consideradas se detallan en el siguiente cuadro (YPF, Inédito):

Perforación	Ubicación Gauss-Krugger	Cota	Profundidad m.b.b.p.	Profundidad m.s.n.m
Arbol Blanco (SEAB.X1)	x:4603637 y:7030012	150	1220	-1070
Mariano Boedo (FMB-1X)	1	61	1783	-1722
Nogoyá (ERN -1X)	x:6440000 y:5515000	84	2088	-2004
Pirané (FMP-1X)	2	84	2404	-2320
Charata (CHC-1X)	x:7003646 y:4870471	102	1716	-1614
Las Breñas I (CHLB-1X)	3	108	?	?
Las Breñas II (CHLB-2X)	3	105	1812	-1707
Las Breñas Oriental (CHLBO-1X)	3	105	2887	-2782
El Desierto (SE ES-1)	x:7124300 y:5369125	138	865	-726
El Caburé (SEEC-1X)	x:7120899 y:4560528	185	2501	-2316
Campo Gallo (SECG-1X)	x:7064790 y:4522439	190	2344	-2154
Los Horcones (SELH-1X)	x:7087227 y:4397738	260	2427	-2167
Los Horcones-2 (SELH-2X)	x:7095903 y:4386440	287	2450	-2163
Santiago Temple (COST-1X)	4	205	1046	841
Camilo Aldao (COCA-1X)	x:6335229 y:4583464	107	2215	2107
Ordoñez (COO-1X)	x:6365761 y:4516193	124	3402	3275
Ceres	5	84	1350[5]	1266[5]
San Cristobal - 1	5	72	1500[5]	1428[5]
San Cristobal - 2	5	75	1950[5]	1875[5]
Calchaquí	5	50	1850[5]	1800[5]

1 Al sur de la Ruta 81 y al N de la estación Mariano Boedo.
2 6 Km al NE del cruce de la estación Pirané.
3 Colonia Agrícola Gral. Necochea.
4 519,41m al sur de 37° 10' oeste.
[5] Datos extraídos de bibliografía (Padula y Mingramm, 1968)

Tabla N°7. Ubicación de las perforaciones profundas de interés para este estudio, realizadas por YPF en la Cuenca Chacoparanense Argentina.

Un estudio de correlación más detallado excede el alcance de esta obra, pero es útil para definir el marco regional de los depósitos Mesozoicos de la Cuenca.

En varios de estos pozos se pudo disponer de los recortes de perforación o testigos de corona con el objeto de reinterpretar la litología en los casos donde no fue posible (como las perforaciones de minería) se consideró la descripción del informe original de obra. La revisión de los mismos se detallará en los sucesivos apartados del presente estudio en esta sección solo se presentará en forma resumida los intervalos de interés y las características más significativas. La información litológica disponible a partir de la perforaciones presentadas nos permite dividirlas en dos grandes grupos. Las que atraviesan las secuencias del complejo efusivo mesozoico o Formación Serra Geral y las que no lo atraviesan a la altura estratigráfica prevista, pero si presentan cuerpos diabásicos datados radimétricamente y correspondientes a las edades del complejo efusivo en cuestión intruyendo litologías más antiguas.

En tal sentido y respecto de YPF Nogoyá 1 (Sección 680 -2880m.b.b.p.), única perforación profunda de antecedente a las realizadas durante 1994-1997 en el área de estudio, guardan absoluta congruencia los valores de 117 m. a. para basaltos del tramo 748-749 m.b.b.p. y de 124 m. a. referidos a vulcanitas similares de la sección 1331-1333 m.b.b.p. del mismo pozo (Stipanicic y Linares, 1975). Estas cifras aseguran la edad neojurásica - eocretácica y la equivalencia con la Formación Serra Geral, de las efusivas básicas atravesadas por la aludida perforación, entre 650 y 1440 m.b.b.p. Luego, todas las sedimentitas alumbradas abajo de 1440 m.b.b.p., hasta el fondo de la perforación (2088 m.b.b.p.), en ningún caso serían posteriores al Jurásico. Acuden en favor de lo expresado las determinaciones isotópicas en muestras del testigo de corona de 2052,7-2054,1 m.b.b.p. de YPF Nogoyá 1, (YPF, 1962) pertenecientes al cuerpo diabásico subefusivo parcialmente atravesado de 2050 a 2088 m. de profundidad (fondo del pozo), las cuales informaron antigüedades de 141,7 millones de años (Cortelezzi y Cazeneuve, 1967) y 131 ± 5 millones de años (Instituto de Geocronología y Geología Isotópica INGEIS, 1974), indicativas del Neojurásico - Eocretácico. Así, se acepta que los tramos 1940-2020 m.b.b.p. (80 m.) y 2050-2088 m.b.b.p. (profundidad final) (38m.) de YPF Nogoyá 1, pertenezcan a sendas subvulcanitas básicas, relacionadas con el magmatismo de Serra Geral. Por lo tanto, los depósitos cercanos al fondo del pozo y albergantes de estas diabasas subefusivas, tampoco son más jóvenes que el Jurásico.

Corresponden a Herbst y Zabert (1990) los primeros hallazgos específicos de ostrácodos dulceacuícolas en el pozo YPF Nogoyá 1, logrados entre 1500 y 1942 m. de profundidad. Las determinaciones poseen certidumbre aceptable, no obstante algunas reservas, e indican que de 1500 m.b.b.p. hacia abajo, se presentan individuos cuyos biocrones se inician en el Carbónico y perduran hasta el Cenozoico, junto con formas sólo jurásicas - cretácicas y otras exclusivamente jurásicas. Los ejemplares de aparición en el Triásico tienen identificaciones y/o biocrones dudosos.

A modo de síntesis cronológica, caben las siguientes deducciones e inferencias propuestas por Fernández Garrasino, (1994, 1995), relativas a la sucesión 1440-2088 m.b.b.p. (profundidad final) del pozo YPF Nogoyá 1.

- Todos los depósitos atravesados desde 1440 m.b.b.p., hasta el fondo, serían precretácicos, según la posición inmediatamente subyacente a los basaltos neojurásicos - eocretácicos que ocupa la sucesión aludida y atento a los cuerpos diabásicos también neojurásicos - eocretácicos, intruidos en sedimentitas cercanas al fondo.
- Por lo menos parte de la sucesión, incluye acumulaciones jurásicas, de acuerdo con algunos ejemplares de ostrácodos hallados a partir de 1500 m.b.b.p., hacia abajo.
- Los ostrácodos identificadas no confirman, pero tampoco niegan la eventual presencia de sedimentitas triásicas y neopaleozoicas y tienden a desechar la participación de depósitos precarbónicos en la sucesión.

Los diques y otras variedades subefusivas, genéticamente asociadas con el magmatismo neojurásico - eocretácico, son rasgos comunes y destacados de la Cuenca paranense de Paraguay, Uruguay y Brasil. Las localizaciones de estas subvulcanitas parecen estar principalmente controladas por bien definidas superficies de estratificación, que habrían actuado como favorables discontinuidades físicas previas y ofrecido un medio litológico permisivo para los emplazamientos. Acorde con ello, son frecuentes los filones-capas basálticos alojados en sedimentitas friables o laminadas de los registros neopaleozoicos paranenses, circunstancia que también se daría en los pozos YPF Josefina 1 yPF Calchaquí 1 yPF Ceres 1 y Shell Las Mochas 1, Maraton Fimat -1, todos de la Provincia de Santa Fe. (YPF, Inédito).

En Uruguay, buenos ejemplos de emplazamientos controlados por superficies preexistentes de debilidad mecánica, los brinda la Formación Cuaró, cuyos filones-capas básicos han penetrado a numerosas secciones pelíticas Carbónicas y Pérmicas. Asimismo, secciones sísmicas de reflexión del subsuelo de los estados de Paraná y Santa Catarina (Brasil) muestran intrusiones pseudoconcordantes albergadas en secuencias neopaleozoicas, muchas atribuídas a las lutitas de la Formación Irati (Neopérmico kazaniano) (Murut y Fernández Garrasino, 1994). Por analogía, las diabasas subefusivas neojurásicas - eocretácicas alumbradas en YPF Nogoyá 1, ofrecen argumentos adicionales, indirectos y no suficientes, pero favorables a una edad neopaleozoica de las sedimentitas finas laminadas, cercanas al fondo de pozo, que alojan a tales cuerpos intrusivos. La posición estratigráfica relativa de estos depósitos más inferiores, albergantes de las subvulcanitas y los elencos de ostrácodos descriptos desde 1500 m.b.b.p., hacia abajo, no se oponen a tal posibilidad.

Los pozos Mariano Boedo, Camilo Aldao, Ordoñez y Nogoyá presentan la secuencia característica de la Formación Serra Geral y las areniscas subyacentes o Formación Botucatú (descripta como Formación Tacuarembó en los informes de YPF, (Inédito) como se verificara en lo sucesivo esta situación permite identificar bien los niveles prebasálticos de los intrabasálticos y postbasálticos en la cuenca.

Las perforaciones de Arbol Blanco, Pirané, Charata, Las Breñas I y II, Las Breñas Oriental, El Desierto, El Caburé, Campo Gallo, Los Horcones I y II, Santiago Temple, presentan los niveles formacionales postbasálticos apoyando sobre los niveles prebasálticos estando ausentes las vulcanitas, excepto en los pozos Santiago temple y las Breñas Oriental donde cuerpos diabásicos intruyen niveles de edades paleozoicas. En este último caso la diferenciación de las secuencias a partir de la perforaciones se realizó en base a la reinterpretación de las muestras existentes, o en su defecto, de las descripciones existentes en los informes de pozo correspondientes.

Las perforaciones Firmat -1 (Marathon, 1991) y Las Mochas -1 (Shell-CAPSA, 1990)fueron realizadas durante la década de 1990 en la Provincia de Santa Fe y se pudo contar con información litológica y geofísica (sísmica y perfilajes). La perforación Firmat-1 atraviesa la secuencia del complejo efusivo o Formación Serra Geral donde se identifica a partir de las descripciones de la misma los niveles de areniscas interbasáltica (Miembro Solari) y prebasálticos (Formación Botucatú o "Tacuarembó"). La perforación Las Mochas -1 no atraviesa el complejo efusivo de la Formación Serra Geral, solo atraviesa una diabasa volcánica datada en K/Ar 141 +/- 5 Ma. entre los 1833-1946 y 3150-3200 m.b.b.p. El informe original utiliza la nomenclatura Upper Gondwana para referirse al conjunto sedimentario de interés, en lo sucesivo se discutirá esta interpretación. Las mismas se resumen a continuación:

Perforación	Localidad	Ubicación	Cota m.s.n.m.	Profundidad m.b.b.p.	Profundidad m.s.n.m
Firmat-1 (Maraton)	Firmat Santa Fe	x:6298968 y:4637334	111	2369	-2258
Las Mochas (Shell)	Las Mochas Santa Fe	x:6855292 y:5376540	67	3200	3133

Tabla N°8. Ubicación de las perforaciones profundas previas en la región Chacoparanense de interés para este estudio realizadas por empresas privadas.

Sobre el área occidental de la Cuenca Chacoparanense la Ex-Secretaría de Minería, (1965) realizó las siguientes perforaciones con el objeto de explotar agua subterránea, de este conjunto en todas ellas se describen niveles que pueden corresponder a los depósitos prebasálticos. Las mismas fueron realizadas por método de perforación por percusión que permite obtener muestras continuas (muestra testigo) con la litología sin disturbar. Esta técnica favorece la descripción litológica de las muestras obtenidas, razón de valor en la interpretación de unidades. La siguiente tabla sintetiza las perforaciones consideradas.

Perforación	Localidad	Ubicación	Cota m.s.n.m.	Profundidad m.b.b.p.	Profundidad m.s.n.m
Campo Gallo N°1	Campo Gallo Santiago del Estero	Ciudad, Plaza	155	564	-409
Añatuya N°1	Añatuya Sago. del Est.	Estación FFCC	107	660	-553
Roque Sáenz Peña N°1	Roque Sáenz Peña	Plaza	85	918	-833
La Punta N°3	La Punta Chaco	La Punta FFCC	334	130	204
Tostado -1	Tostado Santa Fe	Tostado FFCC	75	1600[1]	1525[1]
Alhuampa - 1	Alhuampa Sgo. del Estero	Alhuampa FFCC	160	1800[1]	1640[1]
Villa Angela N°1	Villa Angela Chaco	Villa Angela FFCC	75	624	-551

Tabla N°9. Ubicación de las perforaciones profundas previas en la región Chacoparanense de interés en este estudio realizadas por la ex-SNGM.

[1] Datos extraídos de bibliografía (Padula y Mingramm, 1968)

4.1.2 Las perforaciones en territorio brasileño

En el territorio brasileño las perforaciones realizadas tienen como objeto la explotación de hidrocarburos (por parte de la empresa Pertobras S.A.) y otros el objetivo de explotar el acuífero en las áreas con termalismo o bien para consumo humano. Las características litológicas, estratigráficas y estructurales de la región han sido expuestas en el capítulo 3 y se retomara en los sucesivo apartados 4.3.1 y 4.3.2, por lo tanto solo se ha considerado en este estudio la información correspondiente a los aspectos geológicos de interés.

Sin embargo, es necesario aclarar que de considerar a los depósitos prebasálticos (Formación Botucatú y Formación Piramboiá) en conjunto, debido a que la información del Brasil corresponde a perforaciones donde se ha dificultado su identificación a partir de los recortes de perforación, considerando también que hidrogeologicamente es conveniente considerar toda las areniscas prebasálticas (Formaciones Piramboiá y Botucatú) como posible acuífero o sistema acuífero en Brasil.

Existen en Brasil datos provenientes de 322 perforaciones, icluyendo la Cuenca del Paraná y la Cuenca Chacoparanense cubriendo un área, en Brasil, de 1.194.000 Km^2. El estudio de Araujo, Franca y Potter, (1995) emplea datos de 228 de estas perforaciones muchos de ellos en el área de Sao Pablo. En la región de los Ríos Paraná y Uruguay, en Brasil, solo se disponen de 50 perforaciones, de ellas solo 28 se han considerado observar en este estudio.

La información de la perforaciones consideradas a continuación se ha empleado exclusivamente para complementar los mapas estructurales y realizar un análisis comparativo en capítulo 5 (hidrogeología) del presente estudio, por lo tanto solo se detallara su nomenclatura, ubicación, cota topográfica, espesor de los niveles prebasálticos o Formaciones Botucatú/ Piramboiá y temperatura de los mismos por ser esta la única información contemplada en este trabajo. Las mismas fueron facilitadas por Petrobras S.A.

Localidad	Coordenadas	Coordenadas	Cota del techo[1] (m.s.n.m.)	Espesores[1] (m)	Temperatura[2] °C	Piezomet (m.s.n.m.)
	Lat	Long				
AG1-RS	29.45.43	55.51.48	-51	55p	S/D	87
AG2-RS	29.35.38	55.56.45	-49	71p	S/D	75
AG3-RS	29.48.19	55.59.00	-6	74p	S/D	114
AG4-RS	29.51.27	55.56.38	35	128p	S/D	109
AG5-RS	29.29.34	56.02.56	-16	67p	S/D	77
AB-RS	27.25.00	52.18.00	-59	94p	28	291
AE-RS	29.20.00	53.06.00	32	6p	S/D	345
EX-RS	27.36.54	52.09.03	-165	12p	39.0	472
IJ-RS	29.34.30	50.46.00		144p	24.0	54
IQ1-RS	29.08.00	56.32.48	18	22p	S/D	59
IQ2-RS	29.19.27	56.25.39	-38	58p	S/D	57.5
IQ3-RS	29.16.57	56.22.56	58	96p	S/D	63
IQ4-RS	29.13.53	56.27.39	85	159p	S/D	62
IQ5-RS	29.16.45	56.13.52	-87	55p	S/D	87
QU-RS	30.23.00	56.26.00	22	16p	S/D	94
SAM-RS	28.18.00	54.18.00	38	88p	23.0	7
SAP-RS	29.51.00	50.30.00	-35	100t	S/D	183
SG-RS	28.28.00	54.58.00	-106	96p	S/D	66
UR1-RS	29.40.18	56.40.47	-110	106p	S/D	65
UR2-RS	29.47.58	57.00.30	22	37p	S/D	69
UR3-RS	30.05.27	56.33.14	28	72p	S/D	65
UR4-RS	29.53.03	56.52.14	49	119p	S/D	S/D
1-MA-1-RS	27 35 13.5	51 39 47.7	-17	105t	41.6	S/D
2-AL-1-RS	29 48 09.2	49 45 59.8	56	68t	20.7	S/D
2-MR-1-RS	27 30 28.1	51 54 10.1	-163	145t	35.4	S/D
2-RD-1-RS	27 50 21.9	52 46 02.1	-533	80t	54.2	S/D
2-RI-1-RS	28 18 01.1	49 02 59.7	-43	143t	25.6	S/D
2-TO-1-RS	29 19 35.2	49 47 29.1	-121	68t	24.2	S/D

[1] Formación Piramboiá +Formación Botucatú t=total,p=parcial

[2] temperatura en boca de pozo F. Piramboiá + F. Botucatú

Tabla N°10. Ubicación de las perforaciones profundas previas en la región Chacoparanense de interés en este estudio realizadas en Brasil (Fuente Petrobras).

4.1.3 Las perforaciones en territorio uruguayo

En la República Oriental del Uruguay el alumbramiento del recurso hidrotermal data del año 1945, las perforaciones consideradas son de fundamental importancia para ese estudio debido que las estas poseen, como se analizará en los sucesivos apartados 4.2, 4.3, 4.4 ,4.5, 4.6 y 5 características geológicas, Hidrogeológicas, e hidroquímcas, que nos permite considerar a los niveles prebasálticos e interbasálticos correlacionables y continentes del mismo acuífero a ambas márgenes del Río Uruguay.

La información geológica de las perforaciones profundas en Uruguay puede consultarse de diversas fuentes, entre ellas los informes técnicos de perforaciónes YPF-ANCAP (Inédito) y otros estudios que posteriormente han recopialdo dicha información TAHAL, (1986); HIDROSUD, (1988); ANCAP, (1991).

La información relacionada con la hidrogeológía ha sido recopilada de dos fuentes. Una de los estudios realizados, entre otros, por Pompeu Dos Santos, (1983); Montaño y Pessi, (1985); TAHAL, (1986); HIDROSUD, (1988); Cattaneo, (1992). Otra fuente de información han sido los estudios de Rebouças, (1994), Araujo, Franca y Potter, (1995). Este último emplea información proveniente de PETROBRAS S.A. Las información de las captaciones uruguayas provenientes de PETROBRAS S.A. se detallan según:

Localidad	Coordenadas		Cota del techo[1] (m.s.n.m.)	Espesores[1] (m)	Temperatura[2] °C	Piezomet (m.s.n.m)
	Lat	Long				
4 SA-1SA	31.26.00	57.55.00	-110	221P	48.0	94
ARAPEY	30.51.00	57.38.00	-447	275T	S/D	S/D
ARTIGAS	30.27.00	56.26.02	130	80T	S/D	S/D
ARTIGAS	30.27.00	56.26.02	101	240P	S/D	S/D
BELEN	30.49.30	57.41.52	-402	412T	38.0	S/D
DAYMAN	31.35.00	57.55.00	S/D	S/D	46.0	97
GASPAR	30.47.37	57.35.49	-464	677T	S/D	S/D
ITACUMBU	30.32.00	57.28.45	-313	479T	37.0	S/D
PELADO	30.32.49	56.43.49	-35	450T	S/D	S/D
QUEBRACHO	31.50.00	57.55.00	-642	283T	S/D	S/D
RIVERA	30.54.00	55.30.00	200	200P	S/D	S/D
SALTO	31.26.00	58.00.00	-935	191T	S/D	S/D
SALTO PD LAGO	31.26.00	57.50.00	-783	266P	44.0	S/D
YACARE	30.14.18	56.58.38	-331	377T	32.0	S/D

[1] Formación Piramboiá (Tacuarembó) +Formación Botucatú (Rivera) t=total,p=parcial

[2] Temperatura en boca de pozo F. Piramboiá + F. Botucatú

Tabla N°11. Ubicación de las perforaciones profundas de interés en este estudio, realizadas en la región Chacoparanense uruguaya (Fuente Petrobras).

Por esta razón se pondrá particular acento sobre estas perforaciones en los sucesivo y en particular en los capítulos 4 y 5. Las mismas se detallan en la siguiente lista con su ubicación y principales características. Además deben considerarse la siguiente información de los pozos en la región a partir de la información de YPF-ANCAP.

Perforación	Localidad	Cota m.s.n.m.	Profundidad m.b.b.p.	Profundidad m.s.n.m
Arapey	Arapey	49	1494	-1445
Daymán	Salto	20	2206	-2186
Guaviyú	Guaviyú	33	1110	-1077
Colonia Palma	Colonia Palma	45	1100	-1055
Paso Ulliestre	Paso Ulliestre	20	1015	-995
Almirón	Almirón	68	930	-862
Artigas-2	Artigas	110	2180	-2070
Salsipuedes-1	Salsipuedes	163	827	-664
Nicanor	Salto	45	1107	-1062
Bonete-1	Rincón Bonete	155	550	-395

Algunos de ellos son actualmente productivos de aguas termales, se han escogido aquellos que poseen condiciones de ocurrencia similares a las perforaciones en suelo Argentino, los mismos han sido empleados como puntos de muestro hidroquímico y correlación hidrogeológica: Se presentan a continuación las perforaciones controladas:

Perforación	Arapey	Daymán	Guaviyú	Nicanor
Localidad	Arapey	Salto	Guaviyú	Salto
Sitio	Arapey	A° Daymán	A° Guaviyú	Ea. Nicanor
Ubicación en	X: 6576686	X: 6520105	X: 6477551	X: 6511956
Gauss Krugger	Y: 6450562	Y: 6413744	Y: 6416165	Y: 6422529
Cota Topográfica	49	20	33	45
Profundidad m.b.b.p.	1494	2206	1110	1107
Profundidad m.s.n.m.	-1445	-2182	-1077	-1062

4.2 Litología y Estratigrafía de las regiones vinculadas al área de estudio

En el siguiente apartado se presentará o discutirá la estratigrafía propuesta para la región Mesopotámica por los diferentes autores con especial énfasis en la correlación y actualización estratigráfica como marco de referencia en el área de estudio del presente trabajo.

4.2.1 Estratigrafía de la Provincia de Misiones

Formación Serra Geral

En la Provincia de Misiones la F. Serra Geral (Roca amigdaloide gris o violácea, d'Orbigny, 1842, in Hausen, 1919; Paraná Trapp, Derby, 1879; Augito - porfiritas del Paranapanema, Hussak, 1889, in Hausen, 1919; Basalto de Serra Geral, Rocas eruptivas de Serra Geral, Efusivas de Serra Geral, Formación de Serra Geral, White, 1908; en Argentina, Formación de Serra Geral, Hausen, 1919) representa la unidad expuesta más antigua de Misiones; sus afloramientos se distribuyen ampliamente en todo el territorio de la Provincia. Extendida en Paraguay, Argentina, Brasil y Uruguay y tal vez Bolivia, determina el mayor conjunto lávico continental conocido (1.200.000 Km2., de Loczy, 1969; Willig et al., 1974).

La litología está constituida por numerosos mantos efusivos basálticos y cuerpos subvolcánicos asociados. Relativo a la Provincia de Misiones, se trata de variedades tholeíticas (Teruggi, 1955), con andesina y labradorita no zonal y algunos feldespatos potásicos subordinados; acompañan augita y pigeonita, a veces cloritizadas. Tienen escasos individuos de olivinas, que dejan ver anillo secundarios de idingsita y reemplazos pseudomórficos también de idingsita y de cloritas, clorofaeita, serpentinas y magnetita. La mesostasis es vítrea o de variada cristalinidad, según diferentes texturas, a las cuales no son ajenos componentes cuarzo feldespáticos. Las descripciones de Hausen (1919) hacen mención a texturas ofíticas y afaníticas, pero muy pocas de tipo hialino definido, traquítico, o fluidal; el autor destaca agregados cristalinos piroxénicos entre las tablillas de plagioclasas y los considera como ejemplos de "protoclasa", en el sentido de Harker (1902, 1909), que puede interpretarse, según la terminología petrológica actual, como textura autoclástica, generada por movimientos y/o fracturación de granos, durante desplazamientos de los fluidos magmáticos.

En el tope de los mantos basálticos, se advierten estructuras alveolares y vesículas rellenas por calcedonia, ópalo, calcita y minerales de los grupos de las zeolitas y cloritas, como heulandita, herschelita, chabasita y celadonita (Hausen, 1919; Riggi y Feliú de Riggi, 1964; Iñíguez Rodríguez, 1979; Zalba et al., 1984; Cortelezzi et al., 1987). Una perforación realizada en Posadas (1912), recuperó muestras de basaltos con amígdalas rellenas por cobre nativo (Hausen, 1919).

Los diques y filones diabásicos asociados muestran texturas ofíticas, de las que participan labradorita, augita, pigeonita, actinolita y olivinas (12% fayalita). Se suman vetas, diques y filones de cuarzo. Es común la "meteorización o escamación concéntrica esferoidal" (Fourous, 1904; Hausen, 1919; Riggi y Feliú de Riggi, 1964).

Las variedades tholeíticas se caracterizan por menores porcentajes de olivinas, e índices de acidez algo mas altos que los valores definitorios. Tales atributos de composición pueden deberse a efectos de asimilación durante el ascenso del magma basáltico original, a través de la corteza alúmino-silicática. También sería posible que las especies tholeíticas se hubiesen relacionado genéticamente con precipitaciones y cristalizaciones a partir de soluciones sílico-acuosas juveniles, influídas por descenso de temperatura, en el transcurso de la evolución térmica regional. Los diques y filones de cuarzo se vincularían con estos fluidos residuales, enriquecidos en componentes póstumos.

Los numerosos diques y filones básicos, genéticamente asociados con la Formación Serra Geral, son rasgos comunes en la Cuenca paranense de Paraguay (Formación Sapucai, Palmieri y Velázquez, 1982; Complejo alcalino de Sapucai, Palmieri, 1973; essexita de Cerro Santo Tomé, NE de Paraguarí, 132 ± 10 millones de años, Degraff et al., 1981), Uruguay (Formación Cuaró, Preciozzi

Porta et al., 1985) y Brasil.. Las localizaciones de estos cuerpos subvolcánicos parecen estar principalmente controladas por bien definidas superficies de estratificación, que habrían actuado como favorables discontinuidades físicas previas y ofrecido un medio litológico permisivo para los emplazamientos (Fernández Garrasino, 1989c)

Algunos espesores mayores: 1531 m., en pozo Epitacio Pessoa (Estado de Paraná, Brasil) (Sanford y Lange, 1960; Putzer, 1962). Barros França y Potter (1991) citan un total de 2138 m. de basaltos y diabasas para el pozo 2-AN-1-PR (Altonia, Estado de Paraná, Brasil), pero ese espesor no ha de corresponder a una sección continua y única, sino que debe incluir también a cuerpos básicos subefusivos alojados en unidades estratigráficas situadas por debajo de la Formación Serra Geral; los mismos autores mencionan diques y filones capa de hasta 250 m.

Las determinaciones isotópicas de muestras argentinas y brasileñas evidencian ligeras desviaciones, e indican edad neojurásica - eocretácica (Cordani y Vandoros, 1967; Willig et al., 1974; Asmus, 1982; Rocha Campos et al., 1988; Fernández Garrasino, 1989c). Fodor et al. (1989) sugirieron una antigüedad de 160 millones de años para los "primeros espasmos efusivos".

Indudablemente, la Formación Serra Geral puede compararse con las coladas basálticas de la Formación Arapey (Bossi, 1966; Lavas de Arapey, Caorsi y Goñi, 1958), presentes en el N y centro de Uruguay y con las efusivas básicas de la Formación Alto Paraná (Palmieri, 1977, in Palmieri y Velázquez, 1982), expuestas en el E y S de Paraguay

Las perforaciones realizadas por la Ex-Secretaría de Minería de la Nación constituyen las más profundas de la provincia presentando en la descripción de sus perfiles niveles de rocas efusivas correspondientes a la Fomación Serra Geral. La más profunda de ellas, (y hasta la fecha de la provincia) es la perforación Posadas - 1 realizada en la ciudad homónima, la misma alcanza los 470 m.b.b.p. (356 m.s.n.m.) prácticamente sin atravesar la base de la Formación Serra Geral o al miembro Solari..

Miembro Solari: El Miembro Solari (redefinida por Herbst et al., (1985); "Grés guaranien", d'Orbigny, 1842, in Hausen, 1919; Areniscas de Solari, Areniscas de Mercedes, varios autores, in Herbst, 1971; Miembro Solari de la Formación Solari, Herbst, 1971), Neojurásico - Eocretácico Unidad clástica continental interpuesta entre los basaltos de la Formación Serra Geral, con los cuales también se vincula lateralmente. De modo discontinuo, asoma en el E y centro de Corrientes y NE de Entre Ríos, cerca de la margen derecha del Río Uruguay. En este trabajo, son consideradas representativas de la Formación Solari secciones clásticas rojizas expuestas al S y SO de San Ignacio y S de Posadas, Provincia de Misiones, descriptas originalmente por Fourous (1904) y Hausen (1919). Este último autor también menciona psamitas alternantes con basaltos, atravesadas por varios pozos de estudio hidrogeológico, perforados en diferentes localidades y parajes misioneros y correntinos. Tales areniscas corresponderían a la Formación Solari.

La litología y ordenamiento interno dominantes: areniscas cuarzosas finas y medianas y algunas intercalaciones psamíticas gruesas - medianas, rojizas, rojizas claras, rosadas, amarillentas, amarillentas claras, a veces violáceas, de buena selección. Individuos de cuarzo, generalmente hialino, redondeados - subredondeados, que suelen mostrarse despulidos. Las fracciones clásticas subordinadas y accesorias están representadas por plagioclasas ácidas, feldespatos potásicos, turmalina, apatita, circón, epidoto y raros granates y laminillas de micas. Se asocian escasos y delgados cuerpos de areniscas gruesas - conglomerádicas y algunos niveles psefíticos. Arcillas caoliníticas, con impregnaciones ferruginosas, integran la matriz; componentes silíceos pigmentados proveen el principal medio cementante. Tanto matriz como cemento están presentes en cantidades muy distintas, lo cual da lugar a variables grados de litificación. Sólo ocasionalmente, aparecen conjuntos pelíticos tabulares o lentiformes, de interestratificación irregular entre las secciones psefíticas (Herbst, 1971; Gentili y Rimoldi, 1979; Herbst y Santa Cruz, 1985; Jalfin, 1987; Fernández Garrasino, 1988).

En cercanías de Mercedes, Mariano I. Loza (Justino Solari) y Curuzú Cuatiá (Corrientes central), areniscas cuarzosas finas de esta unidad, a veces medianas a gruesas, de alta madurez textural y composicional, se muestran frecuentemente silicificadas por posibles efectos térmicos. Cabe destacar

en ellas conjuntos cuneiformes de estratificación cruzada planar, de media a gran escala. Participan algunos ordenamientos linguoides de superficies horizontales, de diversa magnitud, hasta laminares (Jalfin, 1987).

Referente a Misiones, al S y SO de San Ignacio (Loreto, Santa Ana, Mártires, Bonpland, Cerro Corá) y SSE de Posadas, Fourous (1904) y Hausen (1919) describieron secciones clásticas, intercaladas entre los derrames básicos, constituidos por areniscas cuarzosas rojizas, medianas a finas, con individuos feldespáticos y litoclastos basálticos; suelen incluir granos redondeados; se presentan macizas, o con variable calidad de estratificación.

Cerca de San Ignacio y Loreto, algunas de estas psamitas conferibles al Miembro Solari, se presentan muy cohesionadas por silicificación, con colores rojizos claros y también morados y visibles relictos, apenas identificables, de estratificación cruzada (Fernández Garrasino, 1971, 1972, observación personal).

Estas cualidades son notorias en los bloques de ciertos muros y columnas de refectorios, talleres y dependencias de las ruinas jesuíticas (San Ignacio), si bien los materiales podrían proceder de otras localidades, inclusive canteras cercanas a otras encomiendas y reducciones, hoy en territorio paraguayo, próximo al Paraná. Algunos espesores mayores: 400 m.(?), en pozo Guaviraví (E de Corrientes) (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Las descriptas litologías y relaciones verticales y laterales de los clásticos de la Formación Solari y los basaltos de la Formación Serra Geral, denotan la alternancia de efusiones básicas y eventos de erosión - depositación, en condiciones áridas, de influencia eólica dominante y quizás contribución subácuea restringida a cursos efímeros y estacionales y algunos eventos de desbordes. Según Jalfin (1987), los vientos prevalecientes habrían soplado desde el S-SO.

Los análisis secuenciales de este autor ponen de manifiesto participación eólica algo mayor que la reconocida en discusiones anteriores. Las intercalaciones clásticas entre los derrames de Serra Geral y equivalentes fueron reconocidos en Paraguay (Palmieri y Velázquez, 1982), Brasil (Guiducini y Campos, 1968; Soares, 1981) y Uruguay. En este último, Preciozzi Porta et al. (1985) definieron como unidad formacional al Conglomerado de La California, intercalado entre los basaltos de Arapey y constituido por brechas y conglomerados, de matriz arenosa; sus fracciones clásticas incluyen fragmentos de basaltos, areniscas y diversas plutonitas.

Se suman psamitas conglomerádicas y gruesas - medianas, de alta inmadurez textural. Acompañan algunas limolitas y lutitas, con frecuente estratificación cíclica (Carballo y Medina, 1972; Bossi et al., 1973, 1974; Bossi y Umpierre, 1975). Según Sprechmann et al. (1981), los conglomerados de La California corresponden a depósitos de pie de monte.

Sin embargo, algunas secciones psamíticas y pelíticas laminadas podrían representar secuencias subácueas, depositadas sobre abanicos aluviales por flujos canalizados, o bien no encauzados, de régimen intermitente y algunos de carácter efímero. Estas interpretaciones resultarían extensivas a ciertas secciones psamíticas de la Formación Solari. No obstante, relativo a la parte septentrional del Uruguay, Sprechmann et al. (1981) expresaron que "...Es frecuente la aparición de sabanas de areniscas y paleobarjanes interestratificados con los derrames basálticos en cualquier posición estratigráfica dentro de la formación...".

Estas acumulaciones psamíticas, también investigadas por Bossi y Caggiano (1974), son comparables a las discutidas por Jalfin (1987), al tratar la Formación Solari, en la que aceptó la posible asociación de grandes cuerpos arenosos tipo "draas" y dunas simples de menor tamaño.

Carente de fósiles, la Formación Solari se alterna e interdigita con los basaltos de la Formación Serra Geral; estas vinculaciones le atribuyen a la primera de ellas edad neojurásica - eocretácica, en virtud de las dataciones isotópicas de las efusiones básicas

Areniscas del Río Pirapo (Harrington, 1950), Cretácico (Harrington, 1950) (representadas en Paraguay central y oriental)

Areniscas finas, con delgadas intercalaciones de carbón, citadas por Harrington (1950), según referencias de Boettner. Apoyadas sobre basaltos, afloran en Paraguay sobre las márgenes del curso medio - inferior del Río o Arroyo Pirapó (non Río Pirapó, tributario derecho del alto Río Tebicuary), afluente derecho del Paraná, a unos 60 Km. al NE de Encarnación.

Corresponderían a la Formación Acaray y no serían depósitos interbasalticos (The Anschutz Corporation, 1981, in Palmieri et al., 1990a), también mencionada por Palmieri y Velázquez (1982), quienes la confieren al Neocretácico, e identifican por escasos y dispersos asomos de finas areniscas rosadas, con estratificación entrecruzada, visibles al N de Pedro Juan Caballero (nacientes del Río Apa, Sierra de Amambay, frontera Paraguay - Brasil), cercanías de Capitán Bado (sector medio de la vertiente occidental de la Sierra de Amambay), Salto de Guairá (margen derecha del Paraná), Itakyry (entre los ríos Itaimbey y Acaray, tributarios derechos del Paraná) y alrededores de Hohenau, al SO de la desembocadura del Pirapó. Putzer (1962), en su mapa geológico del Paraguay, las reconocería como "Areniscas de Caiuá" (Cretácico?) y "Areniscas de Baurú" (Cretácico superior), expuestas al N de Pedro Juan Caballero, S de Yhú (E de la Sierra de Caaguazú), también al SE de Itakyry (Ytaquyry) y entre los ríos Ñacunday y Pirapó. "Caiuá" y "Baurú" son nombres procedentes de Brasil, usados en la terminología estratigráfica con distintas jerarquías, según los autores y cuyos antecedentes se refieren a los trabajos de Washburne (1930), entre otros.

De inmediato al E de Asunción, a la vera de la ruta que une Luque con Ypacaraí y San Bernardino, se advierten secciones de la Formación Patiño (Palmieri et al., 1990a), conferida al Neocretácico, e integrada por areniscas rosadas medianas - gruesas, incluyentes de individuos de cuarzo y con llamativo diaclasamiento (Fernández Garrasino y Murut, 1993, observaciones personales). Se las supuso equivalentes de las "Areniscas del Río Pirapó" y la Formación Acaray, si bien no son visibles sus relaciones con los basaltos de Serra Geral o Alto Paraná. El reconocimiento de las márgenes occidentales del valle de Ypacaraí, mostró que la Formación Patiño descansa, en partes mediante falla, sobre sedimentitas paleozoicas pre-carbónicas de los Grupos Caacupé e Itacurubí y la cubres parcialmente tapices edáficos modernos, situación de yacencia que no asegura la edad cretácica superior de la unidad formacional aludida (Fernández Garrasino y Murut, 1993, observaciones personales). En efecto, Harrington (1948, in Harrington, 1950) y Putzer (1962), la estimaron correspondiente a las "Areniscas de Misiones" (Triásico - Jurásico pre-Serra Geral o Alto Paraná). La presencia, -o la falta-, de clastos basálticos en las areniscas de la Formación Patiño, serían elementos de juicio altamente orientativos, para resolver su cronología. Cabe señalar que las muestras colectadas no evidencian silicificación, aunque las exposiciones de la unidad determinan algunos rasgos destacables del llano relieve circundante, como ser el epónimo Cerro Patiño (Fernández Garrasino y Murut, 1993, observaciones personales).

Relativo a Misiones, Hausen (1919) señala que "...En las paredes de la cantera de meláfiro cerca del Puerto de Posadas, se ve más arriba, encima de los bancos del meláfiro (que aquí es cuprífero) una arenisca con contacto muy irregular contra la masa eruptiva de la base. No cabe duda que la arenisca aquí es más joven que las capas volcánicas...". Las psamitas aludidas parecen equivalentes a las "Areniscas del Río Pirapó"; pero también podrían ser relictos del Miembro Solari, interestratificada entre las coladas basálticas.

Formación Ubajay (Gentili y Rosenman, 1974, in Gentili y Rimoldi, 1979)

Psefitas gruesas, situadas en terrazas de la margen izquierda del Paraná, entre Corpus y Posadas. de espesores entre 6-8m., ribera derecha del Río Uruguay, cercanías de Arroyo El Palmar, NE de Entre Ríos (Gentili y Rimoldi, 1979).

Formación Apóstoles (Gentili y Rimoldi, 1979)

Arenas finas, limos y arcillas rojizas. Representa suelos residuales, relacionados con el sustrato basáltico. Aflora próxima a Oberá, Apóstoles y San Javier (SO de Misiones). Con espesores de 10 m. Gentili et al. (1974) definieron la "Formación Misiones" (non Areniscas de Misiones, Hausen, 1919; non Areniscas de Misiones, Harrington, 1950; non Formación Misiones, Putzer, 1962) constituida por arenas y arcillas rojizas y "concreciones lateríticas", a la cual supusieron originada por la meteorización de basaltos subyacentes. Sería equivalente a la Formación Apóstoles de Gentili y Rimoldi (1979).

Formación Pujol (Gentili y Rimoldi, 1979)

Limos grises oscuros, con materiales piroclásticos. Constituyen la "terraza inferior" de ambas costas del Río Uruguay. Se expone en el límite Misiones - Corrientes. Los espesores son de 5 m.

Aluviones Recientes

Son importantes los de los ríos San Antonio y Pepirí Guazú y los de algunos colectores internos, pero se destacan especialmente en el Río Uruguay, por barras de cauce, compuestas de gravas y arenas; se suman incipientes barras en espolón y algunos pequeños abanicos laterales, en las desembocaduras de tributarios. Las numerosas barras longitudinales, de variable emersión y forma según la época del año, suelen determinar canales secundarios dentro del curso mayor, a lo largo de los cuales el flujo hídrico adquiere mayor velocidad local ("correderas"), como puede verse en Puerto Paraíso, Monteagudo, El Soberbio, Alba Pose (frente a Porto Mauá, Estado de Río Grande do Sul, Brasil), Barra Bonita y San Javier. Durante los estiajes, es posible advertir, en el extremo distal de esos canales secundarios de interbarras longitudinales, algunos reducidos abanicos psami - psefíticos de ápice aguas arriba.

4.2.2 Estratigrafía de la Provincia de Corrientes

La estratigrafía de la Provincia de Corrientes ha sido ampliamente descripta en la presentación del Mapa Litoestratigráfico de la Provincia de Corrientes (Herbst y Santa Cruz,. 1985), reeditado y corregido por dichos autores par la SEGEMAR, (Herbst et.al., 1995). Conforme al criterio empleado por estos autores, la provincia de Corrientes presenta la siguiente estratigrafía, que a la luz de la nueva información en el litoral oriental entrerriano ha permitido completar el cuadro estratigráfico de la geología de los niveles interbasalticos e infrabasálticos.

Formación Piramboiá y Botucatú

En la perforación Guaviraví -1 de la DGMN le asigna al tramo comprendido entre los 147 - 713m.b.b.p. edad "Triásico" en el informe original de obra (este término incluía a las rocas volcánicas de la Formación Serra Geral), como ya se expresó en los apartados 4.1 estos niveles fueron descriptos originalmente como "Areniscas finas a medianas de colores pardos violáceos rojizos, rosados, amarillentos y grises blanquecinos. En parte finamente estratificada con intercalaciones arcillosas, arenosas y psefíticas finas. El oxido de hierro y magnesio las impregnan de colores rojizos y violáceos. La consistencia de esta varia desde friable hasta dura mediante cementación de $CaCO_3$". La inexistencia de los testigos de perforación (ya que la misma se realizó a percusión) no permite redescribir las muestras, sin embargo su descripción en el informe original, su potencia (566m) que supera ampliamente a los medidos y previstos para el Miembro Solari de la Fomación Serra Geral, posición estratigráfica, cercanía a las áreas de afloramiento, similitud con los niveles descriptos en la perforación Federación -1 y el hecho de ser infrayacente a la Formación Serra Geral. permiten proponer su correlación con las areniscas prebasálticas.

Sin embargo, la ausencia de elementos e información que permitan diferenciar las psamitas asignadas aquí a las unidades Formacionales asignadas a las areniscas Triásico - Jurásicas de la cuenca, permitiría proponer el término Formación Misiones y correlacionarlo con los niveles similares definidas en la cuenca (Fernández Garrasino, 1996).

Debido a la cercanía con las perforaciones profundas de Entre Ríos, Uruguay y Brasil y área de afloramiento es conveniente, a criterio del autor, considerar a estos niveles como Formaciones Piramboiá y Botucatú indiferenciadamente, además como se verá más adelante, si bien es difícil diferenciar en perforaciones estas Formaciones solo por su litología a causa de su similitud y sin el auxilio del pefilaje de pozos, se considerara para al perforación Guaviraví 1 por su relación, estratigráfica, litología y proximidad a las áreas de afloramiento se las correlaciona con los términos formacionales aflorantes más próximos y definidos con la nomenclatura más antigua y estos corresponden a las Formaciones Piramboiá y Botucatú en Brasil, dado que el Término Formación Misiones ha sido definida por Putzer, (1962) en Paraguay y los nombres de las Formaciones Tacuarembó y Rivera son posterior a la nomenclatura Brasileña.

Formación Serra Geral

Definida por diversos autores (Roca amigdaloide gris o violácea, d'Orbigny, 1842, in Hausen, 1919; Paraná Trapp, Derby, 1879; Augito - porfiritas del Paranapanema, Hussak, 1889, in Hausen, 1919; Basalto de Serra Geral, Rocas eruptivas de Serra Geral, Efusivas de Serra Geral, Formación de Serra Geral, White, 1908; en Argentina, Formación de Serra Geral, Hausen, 1919; Formación Solari - Miembro Serra Geral (Herbst, 1971), Formación Curuzú Cuatiá (Rimoldi y Gentili, 1979), Formación Curuzú Cuatiá - Miembro Posadas (Rimoldi y Gentili, 1979). la misma se constituye por basaltos autunítícos, de texturas intersertal, subofítica, hialopilitica o a veces levemente porfírica. La base suele ser vítrea, alterada en cloritas verdosas. Contiene Plagioclasa (entre Andesitna cálcica y Labradorita ácida, a veces con alteración de sericita y caolinita) y piroxeno (augita). En algunos casos se observaron también cristales de olivino alterado. En el caso de los basaltos alveolares las amígdalas están rellenas por cloritas, calcedonia, calcita, minerales arcillosos, impregnaciones de óxidos de hierro o zeolitas, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Tiene una amplia distribución en la provincia, afloran en toda el área noreste hasta Mocoretá, siguiendo luego en Misiones. En forma discontinua aflora en la "meseta mercedina. En el subsuelo ocupan toda la provincia con excepción de una pequeña porción en el Noroeste, donde los basaltos se conectarían con el basamento cristalino del Sur de Paraguay (Herbst y Santa Cruz, 1985). En la perforación Concepción 1 del INCYTH se encontró basaltos a -89 m.

Está constituido por numerosas coladas interdigitadas con las areniscas del Miembro Solari. En Brasil se apoyan sobre la Formación Botucatú y en Uruguay sobre la Formación Rivera (correlacionada con la Formación Botucatú). Su techo lo constituyen la Formación Pay Ubre, ocasionalmente la Formación Fray Bentos, frecuentemente la formación Ituzaingó y diversas unidades cuaternarias, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

La edad de los basaltos y por ende de las areniscas intercaladas, que comúnmente han sido datadas como Triásicas en la actualidad se le asigna edad Jurásico superior e incluso Cretácico Inferior, en Corrientes las radimetría presenta los siguientes valores:

Río Aguapey, Cruce ruta prov. 38	148 +/- 5 m.a.
Ea. El Ombú, ruta Nac. 14	153 +/- 5 m.a.
Cantera La Dorita	148 +/- 10 m.a.

Coincidentes con las numerosas dataciones en Brasil y Argentina, relacionando todos los basaltos tholeíticos de la cuenca pudiendo corresponder al mismo ciclo efusivo que comenzando en el Jurásico superior termina en el Cretácico inferior - medio. De tal Forma que son los mismos de Brasil y Uruguay, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Miembro Solari (Herbst, 1971):La misma ha recibido distintas denominaciones por los diversos autores que han estudiado la región Serie Saobentia (Bonarelli y Longobardi, 1929), Areniscas rojas de Botucatú (Castellanos, 1965), Formación San Cristobal y Formación Tacuarembó (Padula y Mingramm, 1968) Formación Solari o miembro Solari (Herbst, 1971), Formación Curuzú Cuatiá - Miembro Solari (Rimoldi y Gentile, 1979).

En la provincia de Corrientes esta subunidad es muy homogénea, en general son areniscas de color amarillento a rosadas, o bien rojas muy intensas, bien seleccionadas y finamente laminadas. Son predominantemente cuarzosas con un 95% de cuarzo, subredondeados a bien redondeados con superficies pulidas, en forma subordinada aparecen plagioclasas ácidas y feldespatos (Herbst y Santa Cruz, 1985). Posee un muy bajo porcentaje de opacos y su matriz corresponde a óxidos férricos y arcillas caoliníticas de cemento silíceo y determina el grado de cohesión de la roca. Los afloramientos se distribuyen por la región en forma muy reducida y subordinada a los basaltos. En subsuelo se ha localizado en diversas zonas, donde no ocurre en superficie, al Oeste del Río Corrientes, en la perforación Santa Rosa 1 (INCYTH 1977), donde en un corto trecho reemplaza lateralmente al basalto. En el pozo Guaviraví se observan espesores mayores a los aflorantes.

De esta formación no se conoce el yaciente, pero en algunos casos lo constituye el basalto Serra Geral. Su contacto superior también lo constituyen estas rocas o bien directamente unidades estratigráficas del cuaternario, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Jalfín G, (1987); analizó las eoleanitas pertenecientes a la F. Solari en los alrededores de las localidades de Mercedes, Mariano I. Loza (Solari) y Curuzú Cuatiá. Se ubicaron los afloramientos trabajando a escala 1:50000, se levantaron perfiles estratigráficos, se definieron litofacies y características de las superficies limitantes entre bancos. El perfil más representativo fue ubicado sobre la ruta provincial 119 en las proximidades de la localidad Mariano Loza.

Jalfín, (1987) reconoció como "Formación Solari" (en esta obra se la considera miembro) a las sedimentitas de origen eólico que se hallan intercaladas entre las coladas basálticas de la Formación Serra Geral o bien yacen inmediatamente a ellas. Son areniscas finas con intercalaciones de areniscas medianas muy maduras textural y mineralógicamente de composición cuarzosa. Tiene espesores de decenas de metros. Su base no se conoce y sobre su techo se apoyan los basaltos de la F. Serra Geral, ambas unidades se hallan en parte interdigitadas. La F. Solari no tiene fósiles. Se le adjudica una edad jurásica superior a cretácica inferior por medio de dataciones de basaltos intercalados.

Jalfín, (1991) propone correlacionar con la sección superior de la F. Botucatú (Brasil), con la Formación Rivera (Uruguay) y con la F. San Cristobal, en la llanura Chaco - Santafesina (Argentina).

El siguiente arreglo de facies es propuesto por Jalfín, (1987); con la intención de correlacionar las unidades antes citadas.

- Facies P.B.: Areniscas medianas con participación de areniscas gruesas (5%), con laminación plano-paralelas, en capas macizas, con continuidad lateral y presentan lineación por partición. Se presentan en estratos tabulares de 0.20 m a 3 m de espesor con techo y base planar y neto.
- Facies G.L.F.: Areniscas muy fina y finas con participación de areniscas medianas. Muestra delgada laminación, formando estratos de espesores entre 0.10 y 2.5 m de forma tabular con base y techo planar y neto. Se distinguen de las facies P.B. por ser texturalmente más fina, con laminación más delgada y la ausencia de lineación por partición. La proporción relativa de esta facies en el perfil es 30%.
- Facies S.F.: Se compone de areniscas finas predominantes, areniscas medianas y participación subordinada de areniscas muy finas y gruesas. Representada por las láminas frontales de los sets cruzados. Su potencia es de alrededor de 10 cm conformando potencias entre 0.3 m a varios metro. Constituye la facies más abundante (50%). Las condiciones energéticamente más altas del medio están representadas por la facies P.B.. La misma se habría depositado en condiciones de alto régimen de flujo. La facies P.B habría ocupado fundamentalmente los sectores de interduna.

Las facies G.F.L. se habría generado a partir del transporte por saltación sin experimentan suspensión. La precipitación de los granos ocurre sobre pendientes tendidas a sotavento en áreas de relativa calma donde se produce la separación del flujo. La facies S.F. sería el producto del descenso de masas de arena sobre la cara de deslizamiento de la duna. Los deslizamientos son frecuentes sobre la cara de avalancha de dunas de gran altura.

La intercalación entre las facies GLF y SF observada resulta frecuente en las eolianitas (Jalfín G., 1987). El tipo de estratificación cruzada cuneiforme es la más común en la F. Solari y este tipo de estratificación es la más frecuente en sedimentitas eólicas. Se distinguen dos tipos de sets cruzados, diferenciables por su potencia y por el ángulo de inclinación de las capas frontales:

- Sets de mediana escala con potencias entre 0.30 y 1 m, con una inclinación promedio de las capas de 12° a 15°.
- Sets de gran escala, mayores a 1 m alcanzando hasta 6 m de espesor y con un ángulo de inclinación de las capas frontales del orden de 25° a 35°.

Se distinguen para las eolianitas en general tres superficies limitantes. Los límites 1° orden corresponden a superficies que cortan más de un set y que generalmente subyacen a estratos con estratificación horizontal pertenecientes a la facies PB, los de 2° orden corresponden a los límites entre los sets de un mismo coset y los de 3° orden corresponden a superficies de reactivación dentro de un set. La estratificación cruzada planar cuneiforme es el tipo de estratificación dominante en dunas del tipo Barjan y barjanoide o transversales. La variabilidad en el espesor de los sets indicaría grandes variaciones de tamaño en las dunas que conforman el depósito. Los estratos cruzados linguolides son interpretados como el resultado del relleno de las depresiones ocasionadas por el viento en la cresta de la duna. Los límites de primer orden representarían la migración de las áreas de interduna además, estos contactos están delimitando cuerpos psamíticos que se interpretan como dunas complejas o draas. Los contactos de segundo orden representarían la migración de dunas simples sobres la superficie del draas. Los límites de tercer orden representan las superficies de reactivación que tiene lugar en los distintos estadios de avance de una duna simple, (Jalfín, 1991).

Los cuerpos psamíticos delimitados por áreas de interduna representan dunas complejas o draas. Los draas son grandes cuerpos de dunas que migran a través de las áreas de interduna y sobre los cuales progradan dunas simples de menor tamaño.

Considerando el espesor observado para lo que se interpreta como sector de interduna de la F. Solari, en adición al espesor de los cosets que representarían el draas, podría suponerse que las dunas complejas habrían sido de pequeñas dimensiones. También se interpreta la migración de pequeñas dunas simples del tipo barjan sobre las áreas de interduna. La dirección de máximo buzamiento de los estratos cruzados y se registraron las inclinaciones de las capas frontales y el espesor de los sets.

La depositación de los sedimentos de la F. Solari habría tenido lugar en el sector Sudoeste del paleoerg Botucatú. Ocupaba una superficie de aproximadamente 1.300.000 km2. Solari sólo habría sido una pequeña porción de aquel inmenso desierto. Debió haber existido un espesor considerable de arena que permitieron el desarrollo de dunas complejas. El clima habría sido de rigurosa aridez. Los vientos dominantes se habrían producido a partir de un centro de alta presión ubicado en el Paleopacífico Sur. Este sector del Paleoerg no habría tenido influencia de los vientos de retorno al anticiclón del Protoatlántico Sur a juzgar por una marcada unidireccionalidad de las paleocorrientes la baja varianza y la ausencia de lluvias.

Se concluye que esta unidad representaría un campo de dunas compleja o draas de bajo relieve. Las mismas habrían estado acompañadas por pequeño barjanes que migraban sobre ellas o bien lo hacían aislamiento sobre los sectores de interduna.

Este campo de dunas habría ocupado el sector Sudoeste del Paleoerg Botucatú, depositándose grandes volúmenes de arena en condiciones de aridez extrema bajo la influencia de vientos secos que

habrían soplado dominantemente del cuadrante Sur - Sudoeste provenientes del anticiclón del Paleopacífico Sur (Jalfin G., 1987).

Formación Puerto Yeruá (Herbst, 1971).

Constituía por un pequeño espesor de areniscas gruesas con clastos bastantes angulosos que pasa a ser una brecha o conglomerado brechoso de color rojizo, con clastos de cuarzo dominantes y cemento silíceo. La matriz es arcillosa que en algunos casos oficia de cemento. Los afloramientos son escasos. La base la constituye la Formación Serra Geral y el techo las calizas de la Formación Pay Ubre o limos del Cuaternario superior, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

La misma posee afloramientos en dos localidades: Puesto Las Ruinas en la Ea. La Emilia de 2 a 3 metros de espesor y Santo tomé con alrededor de 6-7 metros de espesor. Estos conglomerados se asientan directamente sobre la Formación Serra Geral en Santo Tomé. De acuerdo con Herbst (1971) se propone la correlación de los afloramientos de la localidad de Las Ruinas con la faja aflorante a lo largo del Río Uruguay desde A° Yeruá hasta la ciudad de Colón. En este último sitio en la cercanías de Colón (Entre Ríos) es donde se exhumaron fragmentos de **Argyrosaurus superbus** (von Huene, 1929) esto le asigna edad Cretácico superior si se acepta esta correlación las sedimentitas correntina serían de la misma edad (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Formación Pay Ubre (Herbst, 1980)

Son areniscas calcáreas a calcáreos arenosos, en general muy duros, colores blanquecinos a rosados. En parte son conglomerados con rodados de sílice, cuarcitas y raramente basaltos.

Su distribución es reducida y aflora en forma discontinua en la zona de Mercedes, en la Estancia La Encarnación y al Este y Sur de la ciudad de Curuzú Cuatiá. Sus espesores son pequeños siendo la potencia máxima medida en el arroyo Itá de 10 m, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Se apoya sobre la Formación Solari y sobre la Formación Yeruá. El contacto superior es siempre el Cuartario superior Herbst (1980), correlaciona esta formación con las calizas aflorantes en la antigua Calera Barquín, en Colon, Entre Ríos. El conjunto de estas Formaciones se repite en la república del Uruguay, con el nombre de Formaciones Guichón y Mercedes y se asigna al Cretácico Superior.

Formación Fray Bentos

Limolitas arenosas a arcillosas, de color rosado a castaño claro, muy homogénea, desde duras a friables según el cemento. El cemento en general es carbonato de calcio, la estratificación es escasa o ausente salvo en los niveles basales que son conglomerádicos a brechosos. Los rodados de los mismo pueden ser de basaltos o cuarcitas, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Aflora en el Centro-Sur y Sur de la provincia. La difusión en el subsuelo es mucho mayor y lo mas al Norte que fue detectada es en las perforaciones Concepción 1 y Santa Rosa 1 (INCYTH). Hacia el Sur, continúa aflorando y en el subsuelo de todo el ángulo Noreste de Entre Ríos. En Corrientes el espesor es pequeño, de aproximadamente 15 m, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

En general se asienta sobre los basaltos de la Formación Serra Geral y en algunos casos sobre las sedimentitas rojizas de la Formación Solari, en discordancia erosiva. Se sobrepone a ella sedimentos del Cuartario superior. El contenido fósil de esta Formación son restos de vertebrados (mamíferos) que indican una edad Oligoceno Inferior).

Formación Paraná (Herbst, Santa Cruz y Zabert, 1976).

Son arcilitas limo-arenosas, gris verdoso oliva con intercalaciones de arenisca cuarzosa gris amarillenta. Las arcilitas pueden ser algo calcáreas con microfósiles marinos y palinomorfos. Se distribuye en el subsuelo de Corrientes en una franja Norte-Sur, de ancho variable que se extiende desde la ciudad de Corrientes hasta Santa Lucía. Su espesor total no se conoce, la potencia máxima conocida es de 68m en el pozo Corrientes 1 (INCYTH). Se le asigna una edad Miocena superior, (Herbst y Santa Cruz, 1985). Por su contenido Fosilífero en particular ostrácodos y foraminíferos y macroespeciaes del orden **Ostrea spp.** varios autores le han asignado edad Mioceno superior (Herbst Santa Cruz y Zambert, 1976; Herbst y Santa Cruz, 1985; entre otros).

Formación Ituzangó (De Alba, 1953 Herbst y Santa Cruz. 1985).

Son arenas y areniscas de distintos grados de coherencia. Son muy duras cuando están relacionadas con las aguas actuales. Granulométricamente van desde arenas finas a gruesas, ocasionalmente hasta conglomerados. Su color varía de blanco y amarillo a pardo oscuro. Existen intercalaciones de material fino de colores verdes grises y negro. Es característica la estratificación entrecruzada de origen fluvial, (Herbst y Santa Cruz, 1985). Su distribución es amplia en el Noroeste de la provincia, con afloramientos de pequeño espesor. Sobre la costa del Río Uruguay aflora en forma discontinua. Los espesores máximos se observan en la perforación Corrientes 1 (INCYTH), con una potencia de 160 m, disminuyendo hacia el Sur. Se apoya al Oeste y en la franja Norte-Sur sobre la Formación Paraná, más al Este sobre la Formación Fray Bentos o sobre la formación Solari. En la mitad oriental de la provincia yace sobre la Formación Serra Geral. Su techo es la Formación Toropí y cuando esta falta la formación Yupoí. Se le asigna una edad Pliocena con dudas, (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Formación Toropí (Herbst y Alvarez 1974)

Arenas arcillosas, limos arenosos y arcillas arenosas de color gris duras, estratificadas. Se distribuye a lo largo de las barrancas del Río Paraná desde Ituzaingó y Corrientes hasta el límite con Entre Ríos. También se encuentra en la costa del Rio Uruguay. Su espesor es pequeño, aproximadamente 5m, (Herbst y Santa Cruz, 1985). Se apoya sobre la formación Ituzaingó, su techo es la formación Yupoí. Se le asigna una edad Pleistocena medio-alto.

Formación Yupoí (Herbst 1969)

Son areniscas pelíticas hasta pelitas arenosas, de color gris, verde, castaño rojizo. Tiene intercalaciones de areniscas blanquecinas y de arcillas de color gris oscuro. Se caracteriza por la presencia de erosión en "tubos de organo". Tiene una gran distribución areal en la provincia salvo en la cuenca Iberana. Los máximos espesores medidos están entre 8 y 10m. Se apoya sobre la formación Toropí y cuando esta falta lo hace sobre la formación Ituzaingó. Su techo es el suelo o unidades del Pleistoceno superior (formaciones cuartarias post-Yupoí). Se le asigna una edad del Pleistoceno superior (Lujanense), (Herbst y Santa Cruz, 1985).

Unidades post-Yupoí (Herbst 1971).

De acuerdo Con Herbst y Santa Cruz (1985), son un conjunto de unidades sedimentarias mas o menos aisladas de difícil correlación, de escasa representatividad y de pequeño espesor.

- Rodados del Uruguay: Conglomerados discontinuos de matriz arenosa cuarzosa, silíceos, con algunos clastos de areniscas y basaltos. Su espesor varía entre 4 y 5m.

- "Suelos rojos": Afloran en toda el área del Noreste de la provincia producto de la descomposición de los basaltos in situ (laterización). Son materiales arcillosos de color rojo intenso, dominantemente caoliníticos, muy ácidos y sin estratificación visible. Su edad es Pleistocena superior.
- Cineritas: Son sedimentos cineríticos (limos cineríticos) hasta cineritas puras, de distribución restringrida y muy localizada. Su edad es cuaternaria superior con dudas.
- Sedimentos de lagunas, esteros y valles fluviales actuales: El valle del Rio Corrientes presenta una terraza principal correspondiente a un primer relleno aluvial del valle antiguo. La misma tiene 4m de altura y está constituida por arena blanquecina, friable, con intercalaciones de arenas mas pelíticas.
- Aluvio actual y depósitos en cuerpos de agua: Los sedimentos de las planicies aluviales actuales son arenas, de color blanco y gris amarillento, con intercalaciones de materiales limo arcillosos. Los cuerpos contienen sedimentos de composición variables desde arenosos a limo-arcillosos. Su edad está comprendida entre las partes altas del Pleistoceno superior hasta la actualidad.

4.2.3 Estratigrafía de las Comarcas Adyacentes, República Oriental del Uruguay

Formaciones San Gregorio - Tres Islas

Aflorando en la parte sudeste. del área de estudio los sedimentos de la Formación San Gregorio-Tres Islas, están constituidos por filitas y areniscas con estratificación cruzada, con intercalaciones arcillosas, con espesores que varían entre 20 y 200 mts.

Ubicado discordantemente sobre el basamento cristalino, o sobre sedimentos Devónicos, el contacto superior, también discordante, se hace con los sedimentos del Grupo Caraguatá, cuyas formaciones arcillosas inferiores le dan a la Formación San Gregorio-Tres Islas, un carácter de confinamiento. Se le ha asignado edad Carbónica Superior. Debido a sus características granulométricas, del mismo modo que el Grupo Tubarao (Brasil) con el que se correlaciona, constituye un acuífero pobre que podrá ser aprovechado para pequeños abastecimientos locales solamente en la zona de afloramiento.

Formación Yaguarí (Falconer, 1931; Whalther, 1932, 1933; Keidel, 1934)

Miembro superior del Grupo Caraguatá, subyacente a la Formación Tacuarembó, la Formación Yaguarí aflora en la parte oeste. del área estudio, constituyendo un importante paquete sedimentario, la Formación Yaguarí está compuesta por areniscas finas y gruesas alternadas, arcillosas de colores variados y con intercalaciones episódicas de lechos calcáreos. Esta secuencia sedimentaria con espesores que pueden llegar a más de 350 mts. tiene como principal característica una predominancia de colores rojos fuertes.

Por sus características granulométricas y posición estratigráfica la Formación Yaguarí, constituye un sistema acuífero ligado directamente con el Acuífero Tacuarembó, formando con éste, una zona confinada, un sistema hidráulico único. Se le asigna edad Pérmico Superior

Formaciones Tacuarembó(Falconer, 1931; Whalther, 1932, 1933; Keidel, 1934; Herbst y Ferrando 1985; Ferrando y Andreis, 1986) y Rivera (Herbst et.al., 1987; Andreis et al, 1991)

Ocupa un área total aproximada de 42.000 km^2 de los cuales 3.700 km^2 afloran en una faja orientada aproximadamente en el sentido NS., al E. de la región. La Formación Rivera se destaca dentro del contexto geológico regional de edad supuesta Jurásica inferior -media, correlacionada con la Formación Botucatú (Brasil) de origen eólico, la Formación Rivera está constituida por una secuencia de areniscas finas, homogéneas, cuarzosas, bien seleccionadas, con típica estratificación

cruzada. La sección inferior o Formación Tacuarembó de litología mas fina se correlacionaría con la Formación Piramboiá del Brasil. Las dificultades de reconocer ambos términos formacionales han conducido frecuentemente a integrarlas en un solo término formacional (Tacuarembó). Eso explica el porque se citan espesores de este paquete sedimentario varía entre 150 y 950 mts. que en realidad corresponden al conjunto sedimentario. Por sus características granulométricas, extensión y potencia, se constituye en el principal acuífero del Uruguay. Por el N., la Formación Rivera y Tacuarembó, penetra en territorio de Brasil, donde recibe el nombre de Formación Botucatú - Piramboiá y para el Sur, continúa dentro del territorio uruguayo, coincidiendo su límete, con la zona de fallas de dirección aproximada NW-SE., que pasa por Rincón del Bonete-Salsipuedes y entre Guaviyú y Daymán. En los pozos de Rincón del Bonete, Salsipuedes, Guichón y Guaviyú no fue detectada la Formación Rivera ni Tacuarembó. Se le ha asignado diversas edades entre el Triásico y el Jurásico. En parte debido a la dificultad de individualizar el paquete sedimentario.

Formación Arapey (Bossi, 1966; Lavas de Arapey, Caorsi y Goñi, 1958)

Si bien en los apartados sucesivos se tratará en más detalle diversos aspectos de la misma, dado que es correlacionable con la Formación Serra Geral del Brasil y Argentina, en Uruguay también está constituida por basaltos tholeíticos, de estructura en coladas, asociados a diques microgábricos y doleríticos, rocas clásticas clásticas (Miembro Solari), brechas de falla. Las coladas muestran un espesor de 20 a 40 m. que aumenta de sur a norte; lo mismo, el número de coladas que aumenta de sudeste a noroeste; los datos todavía son insuficientes para delimitar totalmente espesores y sucesiones. Las coladas no son uniformes sino que presentan estructuras lajosas, masivas y vacuolares generalmente con mineralizaciones de cuarzo, calcedonia, ópalo, calcita, zeolitas, etc. Se presentan también mantos continuos o irregulares de areniscas finas y medias interestratificadas con las coladas; dichas areniscas están generalmente silisificadas. La Formación Arapey presenta espesores que sobrepasan los 900 m.

Formación Guichón

Ubicada discordantemente sobre los basaltos de la Formación Arapey, aflora en el extremo Sudoeste. del área entre Paysandú y Salto. De edad cretácica superior , la Formación Guichón está constituida por una secuencia de arenas medias a gruesas, algunas veces conglomerádicas, mal seleccionadas, predominantemente cuarzosas, de colores claros y estratificación cruzada. En algunos puntos aparecen intercalaciones arcillosas y calcáreas. El espesor medio del paquete sedimentario es del orden de los 100 mts. y debido a sus características granulométricas, puede presentarse como un gran acuífero local. Se le asigna edad Cretácica superior aunque esta cronologías no tenga consenso uniforme (Goso, 1999. Comunicación verval Fernandez Garrasino)

Formación Mercedes

La Formación Mercedes presenta litología muy variable; areniscas finas, medias, gruesas, conglomerádicas y conglomerados en general fuertemente cementadas con calcáreo o sílice. Cuando la cementación falta, los niveles bien seleccionados son los de mayor importancia hidrogeológica; se asocian niveles de concentración de calcáreo (calizas) y de concentración de arcillas (lutitas) de bajo valor como acuífero potencial. La Formación Mercedes presenta espesores de alrededor de 70 m. Correlacionable con la Formación Puerto Yeruá (Tófalo, 1986) es un acuífero importante en la región oriental de Entre Ríos y en muchos casos constituye el acuífero libre de la banda entre el Río Uruguay y los afloramientos de la Formación Salto Chico (ver capítulo 5)

Formación Asencio

La Formación Asencio está representada en menor grado en el área y constituida por areniscas finas a medias, ferrificadas, silici-ferrificadas o friable sin cementación; ocurre también una baja cementación arcillosa pero a pesar de esto los estratos de la Formación Asencio no revisten importancia desde el punto de vista hidrogeológico regional. Esta formación puede presentar espesores de 30 a 50 m.

Formación Fray Bentos

Aflora en el extremo sudoeste. del área, de edad terciaria Eoceno –Mioceno inferior, la Formación Fray Bentos, está constituida principalmente por sedimentos de arenas finas y arcillosas, presentando en algunas oportunidades concreciones calcáreas. A pesar de tener un espesor medio del orden de los 100 mts., no tiene interés como acuífero, pudiendo desempeñar el papel de capa impermeable superior de los sedimentos Cretácicos subyacentes de la Formación Guichón.

Formación Salto

Ubicada discordantemente sobre los basaltos de la Formación Arapey, la Formación Salto ocupa una estrecha faja de la margen izquierda del Río Uruguay, desde Salto hasta Bella Unión. Con espesores máximos de 35 mts., está formada por arenas medias cuarzosas bien seleccionadas con intercalaciones arcillosas y conglomerádicas. Se le atribuye edad Plio-pleistocena.

Formación Las Arenas (Cuaternaria)

Está representada por pequeños depósitos cuaternarios que se encuentran al E. del área, asentados sobre sedimentos paleozoicos. De origen continental, la Formación Las Arenas, está constituida por arenas finas y medias, medianamente seleccionadas, cuarzosas y con intercalaciones conglomerádicas.

Depósitos actuales (Cuaternario)

Están constituidos por sedimentos aluvionales, predominantemente arenosos y cuarzosos que ocupan las hondonadas y valles de los ríos de la región.

4.3.- Estratigrafía del área de estudio en la parte oriental de la Provincia de Entre Ríos y propuestas de sus correlatos regionales

La estratigrafía del área de estudio en el oriente de Entre Ríos se considerará primeramente a partir de los esquemas de los principales autores propuestos en la región, describiremos la misma conforme con lo expuesto por diversos autores. En el SO de la Provincia de Entre Ríos, el pozo YPF Nogoyá 1 (p. f. 2088m.b.b.p.) atravesó, de 650 a 1440 m. de profundidad, sucesivos mantos basálticos de la Formación Serra Geral (M. Posadas), alternantes con areniscas finas rojizas, de buena redondez y niveles psamo - psefíticos con rodados de vulcanitas básicas y diabasas, del Miembro Solari (Fernández Garrasino, 1988, 1990a). Es decir, si bien en esta última unidad se destacan las areniscas eólicas (Jalfín, 1987), también participarían secciones clásticas más gruesas, quizás con ciertas componentes subácueas y relacionadas con frentes de aporte relativamente cercanos. Las perforaciones Federación -1, Concordia -1, Colón -1, Villa Elisa -1 Concepción del Uruguay - 1, han atravesado las secciones de vulcanitas de la Formación Serra Geral y Miembro Solari (Colón -1), algunas de ellas alcanzaron a atravesar las Formaciones Botucatú y Piramboiá (Federación -1,

Concordia -1 y Villa Elisa -1) o han llegado al basamento de la Cuenca (Colón-1, Concepción del Uruguay -1 y Gualeguaychú-1). Se detallará en lo sucesivo la litología característica de las unidades, los perfiles y descripciones de las muestras recuperadas.

Basamento Cristalino atribuible al Precámbrico

El Basamento cristalino en las perforaciones de la región de la Provincia de Entre Ríos no había sido alcanzado en profundidad hasta las perforaciones en territorio uruguayo. En la región la perforación Daymán (Uruguay) lo alcanza a una profundidad de 2175 m.b.b.p. pero no se ha encontrado disponible en la bibliografía caracterización alguna sobre el mismo. En este apartado se describe los recortes de roca realizados a partir del material aglutinado de los recortes de perforación de los pozos del territorio Argentino. Si bien, no debe considerarse un estudio petrográfico en detalle, dado que el recorte de perforación no es el método de muestreo más adecuado, puede considerarse una primera aproximación a las características del Basamento cristalino en la región, e inmediaciones, considerando la ausencia de afloramientos del mismo. Las perforaciones que han alcanzado el Basamento son Colón –1, Concepción del Uruguay-1 y Gualecguyachú-1 y Gualeguay –4 aunque este última con dudas al respecto.

➢ *Perforación Colón-1*

En la perforación Colón-1 se realizó un observación microscópica de las muestras a intervalos regulares definidos a partir de las variaciones apreciables en las muestras de observación megascópicas. Los cortes corresponden a las profundidades en m.b.b.p.de 886, 926, 1048, 1108, 1238 (contacto diabasa), 1380, 1490 y 1502. El tramo comprendido entre los 886 a 1502 m.b.b.p. se describe microscópicamente como una roca ígnea clasificada como rocas granitoide holocristalino, de color gris clara, microcristalina. Mineralógicamente se observan cristales de biotita de color negro, cuarzo y recristalización de sílice como relleno de microfracturas siendo esto último una de las características mineralógicas más salientes de este tramo.

Se realizaron estudios microscópicos sobre las muestras de los intervalos 886-1470 m.b.b.p. Los recortes de perforación fueron aglutinados y luego preparados en lámina delgada, por lo que suele observarse material de derrumbe. Los intervalos escogidos aquí ofrecen las mejores posibilidades de descripción interpretación y los porcentajes de han determinado sobre la base de la totalidad de la muestra. Considerando que la proporción relativa de los mismos no difiere en gran medida de la roca en profundidad.

La muestra correspondiente a la profundidad 886 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *granitoide*. Su textura es holocristalina granular (alterada). Los individuos más abundantes corresponde a cristales de cuarzo, de extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 40% del total, los feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 30%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 10% del total. Las micas se constituyen de biotita y muestran alteración y desferritización. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo ha sido identificado como material de derrumbe. La foto N°1 correspondiente a esta muestra, presenta el contacto cuarzo feldespato alcalino.

La muestra correspondiente a la profundidad 926 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *gnéisica* o *granitoide*. Su textura es holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de cuarzo, de extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 30% del total, los feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 30%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano

al 10°), muestran macla según ley de Albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 20% del total. Las micas estan constituidas de biotita desferrizada y muestran una intensa alteración a clorita (cloritización). El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°2 correspondiente a esta muestra, donde se observa la biotita cloritizada y desferrizada.

La muestra correspondiente a la profundidad 1040 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *granitoide*. Su es textura holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad y Microclino, distinguibles por su macla correspondiente, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 35%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 25% del total. El cuarzo presenta extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 20% del total Las micas estan constituidas de biotita desferrizada y muestran inclusiones de apatita. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°3 correspondiente a esta muestra, presenta un cristal de feldespato alcalino (ortosa) y plagioclasas (oligoclasa). La fotoN°4 muestra una lamina de biotita desferrizada con inclusiones de apatita.

La muestra correspondiente a la profundidad 1108 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *granitoide*. Su textura es holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad y Microclino, distinguibles por su macla correspondiente, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 40%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 20% del total. El cuarzo presenta extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 20% del total Las micas se constituyen de biotita desferrizada y flexurada. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°5 correspondiente a esta muestra, presenta una lamina de biotita flexurada y un cristal de cuarzo.

La muestra correspondiente a la profundidad 1238 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *gnéisica* o *granitoide*. Su es textura holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de cuarzo, de extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 30% del total, los feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 30%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 20% del total. Un 5% de la muestra corresponde a anfíboles y biotitas, Los anfíboles son de color verde pálido, en cristales aciculares y moderada birrefringencia. La biotita es castaño oscura y está muy desferrizada. Ambos minerales muestran una intensa alteración a clorita (cloritización). El 5 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°6 correspondiente a esta muestra y presenta el contacto la plagioclasas (oligoclasas) y su macla característica. La fotoN°7, obtenida también de este corte, presenta biotita y anfíbol desferrizada y cloritizados.

La muestra correspondiente a la profundidad 1380 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *granitoide*. Su es textura holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad y Microclino, distinguibles por su macla correspondiente, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 40%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 20% del total. El cuarzo presenta extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 20% del total Las micas estan

representadas por biotita desferrizada y flexurada. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo se constituye de material de derrumbe de pozo. La foto N°8 correspondiente a esta muestra, tomada con poco aumento (3,5X) presenta los minerales más abundantes de esta sección.

La muestra correspondiente a la profundidad 1470 m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de una roca *granitoide*. Su textura es holocristalina granular. Los individuos más abundantes corresponde a cristales de feldespatos alcalinos de la variedad ortosa, distinguibles por su maclado ley de Carlsbad y Microclino, distinguibles por su macla correspondiente, poseen baja birrefringencia y constituyen una proporción cercana al 40%. Las plagioclasas de la variedad oligoclasa (ángulo de extinción cercano al 10%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 20% del total. El cuarzo presenta extinción relámpago y baja birrefringencia alcanzando el 20% del total Las micas se constituyen de biotita desferrizada y flexurada. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales opacos y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°9 correspondiente a esta muestra, tomada con poco aumento (3,5X) presenta los minerales más abundantes de esta sección.

La perforación continúa hasta los 1502 m.b.b.p. con la litología descripta, profundidad donde finalizó la misma. Intercala a los 1238 m.b.b.p. una roca subefusiva que intruye a la secuencia ígnea anteriormente mencionada, relacionada a las vulcanitas de la Formación Serra Geral que se detallara en el apartado correspondiente.

Se observa la presencia de cuarzo recristalizado rellenando microfractutras en las muestras de esta sección es notoriamente importante si se tiene en cuenta que se trata de litologías que en la bibliografía y en este mismo estudio han sido clasificadas como rocas granitoides de edad Precámbrica. La presencia de estos rellenos, también observables en al roca basáltica suprayacente (F. Serra Geral) se considerará atribuible a un evento probablemente posterior o sincrónico con el evento efusivo póstumo que relleno las microfracturas o intruyo a manera de filón. Sin embargo, valores tan elevados de cuarzo en las muestras parecen ser una característica de la perforación realizada en Colón dado que no se han verificado en la otras perforaciones. Los siguiente tabla describe los intervalos de perforación cuyas muestras megascopicamente contienen proporciones relativas de la roca ígnea (RI) y la proporción de cuarzo (probablemente filoniano) cuando este último supera el 5% de la muestra (Q).

Profundidad m.b.b.p.	Q(%)	RI (%)
1038-1088	10	90
1088-1128	10	90
1128-1141	20	80
1141-1145	20	80
1145-1152	50	50
1152-1172	30	70
1172-1178	50	50
1178-1200	60	40
1200-1220	70	30
1220-1228	60	40
1230-1254	60	40
1254-1284	40	60
1284-1300	20	80
1300-1340	20	80
1340-1390	20	80
1390-1450	20	80
1450-1502	20	80

Tabla N°12. Proporción relativa de cuarzo filoniano rellenando fracturas en la roca ígnea holocristalina

En función de las observaciones macroscópicas de los recortes de perforación el cuarzo se dispone en "venillas" rellenando fracturas, algunas de ellas del orden de milímetros y son visibles en los mismos recortes descriptos. En algunos casos la proporción de cuarzo es tan elevada que puede considerarse que se trata de una "venilla" de cuarzo en una fractura.

➢ *Perforación Concepción del Uruguay -1*

En la perforación Concepción del Uruguay 1 se realizó un observación megascópica de las muestras a intervalos regulares definidos a partir de las variaciones apreciables en las muestras de recortes de perforación. Las descripciones corresponden a las profundidades de 10 muestras comprendidas entre 725-1030 m.b.b.p..

En el tramo citado previamente se atravesó una roca ígnea clasificada como rocas granitoide holocristalino, de color gris clara. Su textura granular holocristalina. Mineralógicamente se observan cristales de feldespatos alcalinos y plagioclasas. El cuarzo secunda en proporción a los minerales citados. La observación macroscópica es suficiente para atribuirla al Basamento Cristalino del área de estudio.

➢ *Perforación Gualeguaychú-1*

En la perforación Gualeguaychú-1 se alcanzó basamento a los 980 m.b.b.p. y fue descripto por Benitez, (1999) como una roca ígnea clasificada como rocas granitoide holocristalino, de color gris clara. Su textura es hipidiomorfa granular. Mineralógicamente se observan cristales de feldespatos alcalinos y plagioclasas euhedrales. El cuarzo presente secunda en proporción a los minerales anteriores y es anhedral. La observación macroscópica es suficiente para atribuirla al Basamento Cristalino del área de estudio.

Sucesión clástica prebasáltica. Formaciones Piramboiá y Botucatú (Walther, 1911; Florencie y Pacheco, 1929; Castellanos, 1965; Bigarello y Salamuni, 1961 y 1964; Salamuni y Bigarello, 1967; Soares, 1981)

Las unidades consideradas aquí para la zona de estudio comprenderán principalmente a los niveles de areniscas prebasálticas. En general las determinaciones radimétricas realizadas en las muestras de rocas basálticas de la Formación Serra Geral en afloramientos de la cuenca y en los pozos de las ciudades de Nogoyá y Colón no son inferiores al Jurásico.

Debido a las características sedimentológicas y paleontológicas de los niveles de arenisca interbasalticos (Miembro Solari de la Formación Serra Geral) se considerarán en general contemporáneos a las rocas efusivas. En función de ello, los niveles de areniscas subyacentes a la Formación Serra Geral (Formación Piramboiá/Botucatú), también carentes de fósiles en las perforaciones de estudio, se consideran previos al evento efusivo y se le asigna una posible edad Neopaleozoico - Triásico - Jurásico medio a toda la secuencia en el área de estudio.

Las determinaciones radimétricas en muestras de los basaltos de la Formación Serra Geral de Brasil y unidades homólogas de Argentina, Paraguay (Formación Alto Paraná) y Uruguay (Formación Arapey), por lo general no evidencian desviaciones mayores o anómalas y los resultados se ubican preferentemente en el intervalo neojurásico - eocretácico.

El presente análisis se efectúa teniendo en cuenta las descripciones litológicas y las respuestas de la señales de Potencial Espontáneo (Sp), Resistivo de Normal corta y Normal larga y Perfil Sónico en el pefilaje de las perforaciones Federación -1 (F-1), Villa Elisa –1 (VE-1), Colón (Cl-1) y Concordia -1 (C-1). En general el registro de normal corta y larga presentan comportamientos que se vinculan a cambios litológicos importantes.

Esto último nos permite identificar los pases de las diferentes unidades que ofrecen un buen contraste geofísico.

Las unidades asignadas en el presente estudio corresponden a las atravesadas en las perforaciones F-1 en Federación, Villa Elisa-1 y C-1 en Concordia en el área de estudio, las descripciones litológicas que se anexan con cierto detalle son importantes de considerar porque la ausencia de afloramientos de estos niveles en la región convierten a la descripción litológica y los perfilajes en la principal metodología de identificación de las unidades consideradas.

➢ *Perforación Federación -1 (F-1)*

Se determinaron dos unidades litoestratigráficas prebasálticas en base a la litología de los recortes de perforación, observación grano suelto y los perfilajes de pozo, a saber:

En función de la litología y mineralogía descripta a partir de la observación a grano suelto, el intervalo comprendido entre los 820 m.b.b.p. y los 1260m.b.b.p. corresponde fundamentalmente a un conjunto clástico psamítico que pueden subdividirse en dos unidades relativamente uniformes. La inferior que comprende una sedimentita cuya fracción clástica predominantemente es limo arcillosa con intercalaciones arenosas y la superior que comprende una sedimentita cuya fracción clástica predominantemente es arenisca (fina a media) con intercalaciones limo-arcillosas. Entre los 850 y 860 m.b.b.p. se encuentra una roca de composición basáltica siendo esta la más profunda colada volcánica del complejo efusivo. De acuerdo al criterio que se explicará en lo sucesivo y por una cuestión de orden de lectura, se considerará al intervalo clástico comprendido entre 820 - 850 m.b.b.p. como Miembro Solari de la Fomación Serra Geral y se describirá en el próximo apartado.

En la Subunidad inferior o de fracción psamítica más fina comprendida entre los 1180 - 1260 m.b.b.p.(fondo) las sedimentitas se componen de areniscas limosas de color rojo-ocre (5 R 4/6), de granometría muy fina a limo con un tamaño medio de partículas de 150 micrones, un tamaño máximo de 300 micrones y un mínimo de 50 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático presentando una patina de óxidos de Fe que recubren el mismo y que por momentos pareciera participar de la cementación también.

La composición mineralógica es de un 70% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, redondeados a subredondeados y prolados subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. El feldespato alcalino compone el 15% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas, presentan macla según ley de Carlsbad y ley de Microclino, están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita) y por una pátina de oxido de Fe. Las plagioclasas corresponden al 5% de la muestra, de color incoloro se componen de individuos de baja birrefringencia y moderado relieve, ecuantes y angulosos, maclados según ley de Albita. Las micas de un tamaño de 800 a 900 micrones corresponden a la variedad muscovita y constituyen el 5% de la muestra. El 5% restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados.

Intercala entre 1180m - 1220m Limo de color rojo (5 R 4/6), de granometría con un tamaño medio de partículas de 30 micrones, un tamaño máximo de 60 micrones y un mínimo de 15 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático presentando una patina de óxidos de Fe que recubren el mismo y que por momentos pareciera participar de la cementación también. Mineralógicamente se compone de un 80% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados y subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. El feldespato alcalino compone el 10% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas, presentan macla según ley de Microclino y están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita) y por una pátina de oxido de Fe. Las micas corresponden al 5% de la muestra, de color incoloro se componen de individuos de alta birrefringencia y bajo relieve, planares o laminares y anguloso, pueden corresponder a muscovita o sericita de la alteración de los feldespatos. Los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados. Un

mineral de hábito prismático y subangulosos de alta birrefringencia y alto relieve, constituye el 5% restante y puede tratarse de Epidoto.

En la subunidad superior o de facción psamítica más gruesa comprendida entre los 890-1180 m.b.b.p. las sedimentitas prebasálticas se componen de una arenisca de color predominantemente amarillo rojizo, ocre y rojo amarillento (5 YR 6/4, 10 R4/6 y 10YR6/6), de granometría fina a muy fina con un tamaño medio de partículas para toda la secuencia de 250 micrones, un tamaño máximo de 300 micrones y un mínimo de 210 micrones.

Posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático (de débil reacción con HCl) presentando una patina de óxidos de Fe que recubren el mismo y que por momentos pareciera participar de la cementación también.

La composición mineralógica es de un 85% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados, angulosos y subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción ondulosa e inclusiones en forma de color castaño claro (?). El feldespato alcalino compone el 10% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son proladas subredondeadas y subangulosas, presentan macla según ley de Carlsbad y están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita) y por una pátina de oxido de Fe. Las micas corresponden al 5% de la muestra, de color incoloro se componen de individuos de alta birrefringencia y bajo relieve, planares o laminares y angulosos, pueden corresponder a muscovita o sericita de la alteración de los feldespatos alcalinos. Se observan opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados.

La foto N°14 corresponde al único corte delgado de sedimentitas de este tramo (935 m.b.b.p.) que fue posible de lograr debido a que el material es muy friable. se observará la composición básicamente cuarzosa de las areniscas. Es muy similar a la foto N° 15 que corresponde a un corte delgado sobre las areniscas atribuidas a la "Formación Tacuarembó" en al perforación MBFes-1 (Mariano Boedo, Formosa) de YPF a 1112 m.b.b.p. y la foto N°16 que corresponde a un corte delgado sobre las areniscas atribuidas a la "Formación Tacuarembó" en al perforación CoOes-1 (Ordoñez, Córdoba) de YPF a 887 m.b.b.p.

En la perforación de Federación (F-1), el perfil litológico ubica el contacto inferior de las coladas a los 890m.b.b.p., pero el perfilaje resistivo de pozo nos permite ajustar este valor y puede considerarse de 872 m.b.b.p. profundidad donde cambia la respuesta resistiva de las unidades, o sea el techo de la Formación Botucatú. Del mismo se interpreta que la ultima colada se encuentra entre los 858-872 m.b.b.p.

Desde los 872 m.b.b.p. hasta los 1260 m.b.b.p. el perfilaje muestra valores de resistividad distinto al tramo anterior que corresponderían a las secuencias volcánicas de la perforación. Este segundo tramo posee valores de resistividad más distanciados y cruce de los registros normales, característicos de rocas de mayor permeabilidad y porosidad como es fácilmente comparable con la descripción litológica se trata del potente paquete de areniscas y areniscas limosas.

Las fluctuaciones de los valores de resistividad se deben fundamentalmente a las intercalaciones de niveles de limo-arcilla que aumentan su periodicidad hacia la base del perfil litológico, esto ultimo pareciera evidenciar la curva de SP en algunos niveles del perfil geoeléctrico aunque sin la suficiente nitidez. Este sensible cambio en las resistividades y la intercalaciones de niveles con respuestas resistivas que coinciden con la descripciones de las muestras nos permite establecer este cambio litológico en los 1185 m.b.b.p. y considerarlo la base de la Formación Botucatú

Las curvas de SP no son lo suficientemente resolutivas para definir alguna de las características antes citadas más allá del hecho que evidencian variaciones de los valores de potencial es que se deba muy probablemente a variaciones litológicas pero esto ultimo es solo una aproximación (ver perfilaje F-1).

En síntesis, la litología de las muestras de la perforación y el perfilaje permite diferenciar para los niveles infrabasálticos de la sección del pozo Federación F-1 dos unidades

litológicas características. La primera de ellas entre 872 - 1185 m.b.b.p. atribuible a la Formación Botucatú tiene un predominio de la fracción psamítica más gruesa constituida por granulometrias medias a finas. La segunda de ellas que se extiende desde los 1185 -1260 m.b.b.p. atribuible a la Formación Piramboiá tiene un predominio de la fracción psamítica más fina constituida por granulometrias finas a muy finas e intercala niveles limo - arcillosos. La profundidad de 1260m.b.b.p. constituye el fondo de pozo y no la base de esta última unidad.

➢ *Perforación Concordia -1 (C-1):*

En la perforación de Concordia (C-1) consideraremos el mismo criterio de interpretación de unidades. El perfil litológico ubica el contacto inferior de las coladas a los 966m.b.b.p. el perfilaje ajusta muy bien a este valor ubicando el pase a los 972m.b.b.p. considerando este último como la profundidad del pase formacional. El resto del perfilaje de pozo muestra en profundidad valores de resistividad distintos al corto tramo precedente (interrumpido por el encamisado) de las vulcanitas de la perforación. La respuesta del tramo inferior corresponde a las secuencias clásticas de la perforación.

La litología de las unidades prebasálticas, al igual que en Federación-1, permiten determinar dos unidades litoestratigráficas en base a la litología de los recortes de perforación, observación a grano suelto, granometría y los perfilajes

En la fracción psamítica más fina comprendida entre los 1120 - 1170 m.b.b.p.(fondo) las sedimentitas se componen de areniscas limosas de color rojo (5 R 5/4), de granometría muy fina a limo con un tamaño medio de partículas de 160 micrones, un tamaño máximo de 280 micrones y un mínimo de 60 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático presentando una patina de óxidos de Fe que recubren el mismo y que por momentos pareciera participar de la cementación también.

Mineralógicamente se compone de un 60% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, redondeados a subredondeados y prolados subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. El feldespato alcalino compone el 25% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas, presentan macla según ley de Carlsbad y ley de Microclino, están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita) y por una pátina de oxido de Fe. Las plagioclasas corresponden al 5% de la muestra, de color incoloro se componen de individuos de baja birrefringencia y moderado relieve, ecuantes y angulosos, maclados según ley de Albita. Las micas de un tamaño de alrededor de 700 micrones corresponden a la variedad muscovita y constituyen el 5% de la muestra. El 5% restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados. Se observa también un mineral de hábito prismático y subangulosos de alta birrefringencia y alto relieve que puede tratarse de Epidoto.

En la fracción psamítica más gruesa comprendida entre los 966 (972 según perfilaje) - 1120 m.b.b.p. las sedimentitas prebasálticas se componen de una arenisca de color predominantemente rojo-ocre y rojo-amarillento pálido (10 R5/4 y 10YR8/6), de granometría fina a muy fina con un tamaño medio de partículas para toda la secuencia de 240 micrones, un tamaño máximo de 330 micrones y un mínimo de 220 micrones.

Posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y escaso cemento carbonático presentando una tenue patina de óxidos de Fe que recubren el mismo y que por momentos pareciera participar de la cementación también.

La composición mineralógica se compone de un 80% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados, angulosos y subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción ondulosa e inclusiones en forma de color castaño claro (?). El feldespato de potasio compone el 15% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son proladas subredondeadas y subangulosas, presentan macla según ley de Carlsbad y están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita) y por una pátina de oxido

de Fe. Las micas corresponden al 5% de la muestra, de color incoloro se componen de individuos de alta birrefringencia y bajo relieve, planares o laminares y angulosos, pueden corresponder a muscovita o sericita de la alteración de los feldespatos. Se observan opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados.

En la perforación de Concordia (C-1), el perfil litológico ubica el contacto inferior de las coladas a los 966 m.b.b.p., pero el perfilaje de pozo nos muestra que este valor puede considerase de 972 m.b.b.p. profundidad donde cambia la respuesta resistiva de las unidades. Del mismo se interpreta que el piso de la ultima colada se encuentra también a los 972 m.b.b.p. por lo tanto las respuestas resistivas y los niveles subyacentes corresponde los depósitos prebasálticos o las sedimentitas prebasálticas (sensu estricto) correlacionables a las Formaciones Piramboiá y Botucatú asimilables a estas. Los niveles de areniscas intercalados en el complejo efusivo o intrabasáltico se los considera contemporáneos con las coladas y corresponden al Miembro Solari de la Formación Serra Geral, este perfil geoeléctrico y el anteriormente descripto presentan respuestas resistivas atribuibles a esos niveles que se discutirán en el apartado correspondiente.

Este tramo posee valores de resistividad más distanciados y cruce de los registros normales, característicos de rocas de mayor permeabilidad y porosidad como es fácilmente comparable con la descripción litológica se trata del potente paquete de areniscas y areniscas limosas.

Las fluctuaciones de los valores de resistividad se deben fundamentalmente a las intercalaciones de niveles de limo-arcilla que aumentan su periodicidad y a partir de los 1121 m.b.b.p. hasta la base del perfil comprenden un potente paquete sedimentario claramente reflejado por el perfilaje de pozos con una caída de los valores de resistividad, gamma natural e inclusive el calipper. Esto ultimo pareciera evidenciar la curva de SP en algunos niveles del perfil geoeléctrico aunque, al igual que en el caso anterior, no posee la suficiente nitidez. Este sensible cambio en las resistividades y la intercalaciones de niveles con respuestas resistivas que coinciden con la descripciones de las muestras nos permite establecer este cambio litológico en los 1121 m.b.b.p., considerándose este el piso de la Formación Botucatú

Las curvas de SP no son lo suficientemente resolutivas para definir alguna de las características antes citadas más allá del hecho que evidencian variaciones de los valores de potencial es que se deba muy probablemente a variaciones litológicas pero esto ultimo es solo una aproximación (ver perfilaje C-1).

En síntesis, la litología de las muestras de la perforación y el perfilaje permite diferenciar para los niveles infrabasálticos de la sección del pozo Concordia C-1 dos unidades litológicas características. La primera de ellas entre 972 - 1121 m.b.b.p. tiene un predominio de la fracción psamítica más gruesa constituida por granulometrias medias a finas atribuible a la Formación Botucatú. La segunda de ellas que se extiende desde los 1121 -1170 m.b.b.p. tiene un predominio de la fracción psamítica más fina constituida por granulometrias finas a muy finas e intercala niveles limo – arcillosos atribuible a la Formación Piramboiá. El valor de 1170m.b.b.p. corresponde al fondo de pozo y no al piso de esta última Formación

➢ *Perforación Villa Elisa -1 (VE -1):*

La perforación realizada en la localidad de Villa Elisa (VE-1) alcanzó (con dificultades durante la misma) una profundidad de 1040 m.b.b.p. Si bien careció de control geológico permanente y no se realizaron perfilajes de pozo en la misma, pudo muestrearse a intervalos regulares de 10 metros. De la descripción litológica de los recortes de la perforación los niveles atribuibles y correlacionables con la Formación Botucatú corresponderían al intervalo 930m.b.b.p. - 1040m.b.b.p. Intercala entre los 970 -982m.b.b.p. (base de las vulcanitas) una roca volcánica de composición basáltica tholeítica con oquedades, similar a las descriptas en los otros pozos. De tal forma y respetando el criterio hasta ahora considerado en la interpretaciones se considerara al tramo 982 m.b.b.p. - 1040m.b.b.p. como los correlacionables con las unidades Botucatú/Piramboiá.

(Considerando esto el tramo 930 m.b.b.p. - 970 m.b.b.p. correspondería al Miembro Solari de la Formación Serra Geral).

El tramo 982 - 1040 m.b.b.p. corresponde a una arenisca limosa de color Rosa y Rojo pardo (5R 7/4 a 5R 6/6), de granometría muy fina a fina con un tamaño medio de partículas de 180 micrones, un tamaño máximo de 210 micrones y un mínimo de 90 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático. Mineralógicamente se compone de un 80% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, redondeados a subredondeados y prolados subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. El feldespato potasico compone el 15% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas. Las micas de corresponden a la variedad muscovita y constituyen el 5% de la muestra. El restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados.

Este tramo mineralógicamente se diferencia poco del anterior, la ausencia de perfilaje no permite mayor precisión en las profundidades de los pases formacionales. La edad asignada estas unidades se basa en su posición estratigráfica, su relación con los términos correlacionables considerando también la radimetría de la Formación Serra Geral ya discutido previamente, en base a lo expuesto se le asigna posible edad Triásico a Jurásico medio a todo el paquete sedimentario de areniscas y limonitas prebasálticas descriptas en este apartado.

➢ *Perforación Gualeguachú-1*

La misma atravesó en el tramo comprendido entre los 730- 988 m.b.b.p. un potente paquete sedimentario de pelitas de colores rojizos (10R 4/6) consolidadas. La fracción limosa es escasa en la secuencia pelítica. Benitez, (1999) en el informe geológico de pozo le atribuye un 1%. De textura matrix-sosten, la misma presenta individuos de composición fundamentalmente cuarzosa de individuos subangulosos y de baja esfericidad. El tamaño medio de las partículas oscila entre los 60 40 micrones (observación a grano suelto). La secuencia intercala algunos niveles arena fina a muy fina, composición cuarzosa, buena selección. Estos niveles poseen de 5 a 10 metros potencia (en base al perfilaje) el más potente ellos intercalado entre los 763-770 m.b.b.p. Debido a inconvenientes con el lodo de inyección durante la perforación que no permitieron una adecuada toma de muestra (Benitez, 1999), los recortes de pozo no poseen una adecuada representatividad; por esta razón las intercalaciones arenosas y sus interpretaciones litoestratigráficas se discutirá con más detalle en el apartado 4.3.1.en base a la perfilaje de la perforación .

Formación Serra Geral, (Hausen, 1919) o Curuzú Cuatiá, (Gentile y Rimoldi, 1979)

Es la Formación de mayor representación en la cuenca Chacoparanense abarcando una extensión considerable. La misma tiene su génesis durante el periodo comprendido entre el Jurásico superior y el Cretácico inferior en función de la radimetría de las rocas basálticas que esta posee, (Tófalo ,1986).

Su potencia máxima en el área de estduio, conforme a la información publicada por YPF alcanza los 1100m en el pozo Nogoyá (YPF, 1962) en la provincia de Entre Ríos, se apoya sobre las sedimentitas jurásicas limitada por una discordancia en general en todo el subsuelo Mesopotámico.

Conforme a la información obtenida de la prospección sísmica y los pozos en la región se evidencia una perdida gradual del espesor de la roca volcánica hacia el noroeste hasta que desaparecen totalmente, encontrándose solamente las rocas clásticas (Russo et. al., 1979; Padula y Mingramm, 1968). Así tenemos que en la zona Mesopotámica y en Entre Ríos en particular la participación de la roca efusiva es más amplia que la fracción clástica al contrario de lo que ocurre hacia el noroeste de la cuenca.

Tófalo, (1986) sugiere que no ha sido comprobado aún la presencia de rocas triásicas en la región. Al igual que las descripciones del Triásico – Cretácico de otras zonas de la cuenca aquí no

se observa discordancia y las características estructurales, texturales y composicionales de la roca esto las hace muy similares a las epiclastitas del Cretácico inferior y propone agrupar todo el conjunto clástico-volcánico bajo el nombre de Formación Curuzú Cuatiá con dos miembros uno clástico (Miembro Solari) y otro volcánico (Miembro Posadas).

El Miembro Solari o "Formación" Solari, (Herbst, 1971) definida como bancos de areniscas de color rojo oscuro, pardo rojizo y pardo claro, con una granometría variable desde arena fina a mediana fundamentalmente, posee algunas intercalaciones de conglomerados y pelitas de pobre espesor. Las areniscas suelen presentar estratificación entrecruzada de gran ángulo cortadas por superficies de truncamiento múltiple, o bien algunas pueden aparecer masivas. Compuestas desde un 93% a un 98% de cuarzo, redondeado a subredondeado, de forma equidimensional y prolada, El resto porcentual corresponde al pequeñas láminas de feldespato potásico en los que abunda la ortosa y el microclino esta subordinado a la anterior al igual que las plagioclasas (Tófalo, 1986).

Debido a sus características tan peculiares como la redondez de sus clastos, selección, mineralogía y estructuras diversos autores le han asignado un origen eólico (Padula y Mingramm, 1968; Herbst, 1971; Tófalo, 1986; entre otros).

Conforme a las características mineralógicas a saber, predominancia de feldespatos alcalinos por sobre las plagioclasas, granos de cuarzo de extinción ondulosa sugieren según Tófalo, (1986) áreas de aporte de composición graníticas (en el sentido amplio del término) sometidas a presión como las que actualmente afloran el Uruguay e isla Martín García y que fueron localizados en el pozo Nogoyá en la provincia de Entre Ríos.

El Miembro Posadas (Gentili y Rimoldi, 1979) constituye las unidades basálticas que contienen interestratificadas las areniscas descriptas, las coladas suelen presentar un aporte inferior densa y la superior alveolar, son basaltos de composición tholeítica de color gris oscuro o rojo grisáceo. Su composición es básicamente un 50% de labradorita ácida frecuentemente alterada (montmorillonita - caolinita) y un 45% de piroxeno augita o pigeonita, además de un restante 5% de olivina, cuarzo, material vítreo y opacos (Tófalo, 1986). Sus vesículas se encuentran frecuentemente ocupadas por zeolitas, calcita y clorita. En las arcillas es frecuente según Gentili y Rimoldi, (1979) la asociación caolinita-saponita-griffithina.

Las efusiones basálticas se asocian con grandes fracturas transcurrentes regionales que constituyen accidentes de importancia que afectaron las zonas simáticas por debajo de la corteza siálica (Padula y Mingramm, 1968). Estos basaltos se los conoce como Formación Serra Geral (Hausen, 1919) en Brasil y Formación Arapey (Bossi, 1966) en Uruguay. En la Provincia de Entre Ríos se extienden en la zona norte de la misma y hacia el sur ocupan el subsuelo de la provincia. Afloran en la costa del Río Uruguay desde Concordia hacia el extremo norte de la provincia, en el cauce del río Miriñay (Tófalo, 1986).

En este estudio se considerará el concepto de Gentile y Rimoldi, (1979) con respecto al Formación Curuzú Cuatiá, compuesta por sus dos Miembros Posadas (vulcanitas) y Solari (sedimentitas), pero se propone en lo sucesivo el empleo del termino nominal Formación Serra Geral para referirse a este conjunto tecto-sedimentario característico de la región. Este último término es previo en América del Sur (Hausen,1919) a la denominación de Gentile y Rimoldi, (1979) y aunque se ha entendido frecuentemente por Formación Serra Geral solo a las secuencias volcánicas, se propone aquí incluir las sedimentitas intercaladas como un miembro clástico (Solari).

Además, a la luz de los resultados del estudio hidrogeológico del capítulo 5, las areniscas intercaladas en las vulcanitas constituyen un acuífero con características propias cuya geometría, hidráulica e hidroquímica se relaciona con la litología volcánica que lo contiene y lo diferencia de los acuíferos infrabasálticos. Este concepto constituye la base de la hidroestratigrafía local y favorece la interpretación de un modelo de comportamiento hidrogeológico de estas unidades.

Por lo tanto, se denominarán y atribuirán a este criterio los niveles efusivos basalticos del complejo ígneo volcánico y rocas clásticas intercaladas de la cuenca Chacoparanense bajo la denominación de Formación Serra Geral; conjuntamente con los niveles de areniscas intercalados en la

secuencia volcánica definidos como Miembro Solari y Miembro Posadas para las rocas efusivas propiamente dichas de la Fomación Serra Geral. Las perforaciones profundas realizadas en la zona de estudio, con el objeto de alumbrar aguas termales han atravesado la Formación Serra Geral con el objeto de explotar los niveles infrabasálticos, sin embargo como veremos en lo sucesivo la Formación Serra Geral también presenta niveles productores de aguas termales que en las perforaciones del Uruguay se han explotado conjuntamente con los niveles infrayacentes. Por esto último y por tratase estos niveles de la roca relacionados al Sistema Termal regional consideramos importante definir sus características litológicas en el área de estudio. Los niveles correspondientes al complejo efusivo volcánico corresponde a una secuencia de rocas de composición basáltica tholeítica. Se han realizado cortes delgados del material de recorte de las perforaciones para microscopía además de la observación megascópica bajo lupa binocular de Federación (F-1), Concordia (C-1, Colon (Cl-1) y de algunos niveles de interés en las perforaciones de Villa Elisa (VE-1) y Concepción del Uruguay (CU-1). A continuación se detalla las características y densidad del muestreo :

- Federación: Muestreo megascópico cada 10 metros.
- Concordia: Muestreo megascópico cada 10 metros.
- Colón: Muestreo megascópico cada 1mero y microscópico cada 100 metros.
- Villa Elisa: Muestreo megascópico cada 50 metros.
- Concepción de Uruguay: Muestreo megascópico cada 50 metros

Debido a la continuidad mineralógica de estas vulcanitas dicho muestreo se consideró suficiente para su caracterización y cumple con el objetivo del presente estudio. Los perfilajes realizados en Federación, Concordia y Colón presentan elevados valores de gamma natural y resistividades caracterizándolos y permitiendo identificar estos niveles de las litologías clásticas que los intercalan. Si bien, se ha podido recuperar muy pocas muestras de los niveles clásticos intercalados en los basaltos de la Formación Serra Geral se pueden identificar variaciones en los perfilajes que pueden interpretarse como niveles clásticos (Miembro Solari) o bien zonas de fracturación muy intensas que pueden, por infiltración de fluidos, presentar diferente respuesta resistiva. Esto último se detallará en el capítulo referente a la interpretación de los perfilajes de las perforaciones. A continuación se presenta un resumen de las características litológicas y las profundidades donde se definieron los cambios más importantes en cada pozo de estudio.

- *Perforación Federación -1 (F-1):*

Los niveles atribuibles al complejo basáltico de la Formación Serra Geral en la localidad de Federación correspondientes al tramo comprendido desde los 47 a 872 m.b.b.p. es macroscopicamente más homogéneo y corresponden a una roca ígnea volcánica de textura porfírica, de pasta microcristalina, presenta diversos colores y tonos de grises a saber, Gris medio N°5, Gris medio oscuro N°3, 5YR/2, Gris oscuro N°3, 5YR 2, Gris oscuro N°6, vesicular y amigdaloide con algunas rellenas de calcita, con pequeñas y frecuentes intercalaciones de roca ígnea microcristalina castaño rojiza y gris castaño clara, alterada, con calcita cristalina como relleno de huecos. Las muestras de este intervalo corresponden por sus características texturales a rocas volcánicas basálticas. Las muestras macroscópicas presentan alteración notable en los primeros 100 metros por debajo del techo de la Fomación y en la base suelen presentarse también alteradas. Las muestras tomadas en las perforaciones de Concordia y Federación son muy similares mineralógicamente y texturalmente y se diferencian de las muestras de Colon y Villa Elisa porque estas últimas muestran indicios de algún tipo de alteración hidrotermal con gran aporte de sílice rellenando las vesículas de las mismas. Se realizaron estudios microscópicos de los intervalos de 102, 204, 306, 404, 508 y 723 m.b.b.p. en recortes de perforación aglutinados que permitieron determinar la mineralogía característica de esta sección. En este tramo la columna solo el corte delgado de

723m.b.b.p.presenta mejores posibilidades de descripción en los anteriores el procesos de aglutinado no tuvo éxito.

La muestra correspondiente a la profundidad 723m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de un *basalto*. Su textura es porfírica. Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano al 30%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 60% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 20% de la muestra. Las olivinas de color verde claro de alto relieve y birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 15%. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, opacos, posiblemente algo de cuarzo (muy escaso) y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°10 correspondiente a esta muestra, presenta los minerales más abundantes de esta sección plagioclasas, piroxenos y olivinas.

Se concluye que los niveles atravesados en este tramo corresponden a una roca volcánica de composición basáltica y se corresponde con los niveles de rocas basálticas conocidos como basaltos tholeíticos de la Formación Serra Geral o Miembro Posadas (Herbst, 1970) de dicha Fomación.

Entre los 830m-850m.b.b.p. se observa una intercalación de areniscas de color amarillo rojiza (5YR 5/6), de granometría fina a muy fina con un tamaño medio de partículas de 150 micrones, un tamaño máximo de 380 micrones y un tamaño mínimo de 90 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de buena selección y escaso cemento carbonático (débil reacción HCl).

Mineralógicamente se compone de un 80% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago, con inclusiones de un mineral de hábito ehuedral de color castaño claro similar al topacio. El feldespato alcalino compone el 5% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas, presentan macla según ley de microclino y están cubiertos por la alteración (aparentemente a carbonatos y arcillas del tipo caolinita). Los fragmentos líticos de origen volcánico corresponden al 10% de la muestra de color verde claro, de 100 micras, baja birrefringencia, bajo relieve, angulosos y ecuantes, puede observarse plagioclasas muy alteradas a carbonatos. El 5% restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados. Posee algo de clorita producto de alteración.

Este nivel intercalado de areniscas es el primer nivel claramente representado en el perfil litológico y se considerará de acuerdo al criterio ya discutido como representativo del Miembro Solari de la Formación Serra Geral.

Entre los 850m-860m.b.b.p. se observa macroscopicamente una roca volcánica de composición basáltica, compacta y de color gris oscuro N°3. Su textura porfírica (afanítica?) con fenocristales de plagioclasas que componen un 60% de los mismos y un mineral de color verde claro de alto relieve y birrefringencia que puede tratarse en conjunto de olivinas y piroxenos que componen un 40% de los fenocristales muy alterado a óxidos de Fe y clorita. No se observa fluidalidad. Se considerara esta profundidad de 872 m.b.b.p. como la base de la Formación Serra Geral en la perforación en base a la litología ajustando este valor con los perfilajes como se vera en lo sucesivo.

➢ *Perforación Concordia -1 (C-1):*

Los niveles atribuibles al complejo basáltico de la Formación Serra Geral en la localidad de Concordia correspondientes al tramo comprendido desde los 60 a 972 m.b.b.p. son macroscopicamente muy similares al anterior y corresponden a una roca ígnea volcánica de textura porfírica, microcristalina de diversos colores y tonos de grises a saber, Gris medio oscuro N°3, 5YR/2 y Gris oscuro N°6, vesicular y amigdalóide pudiendo estar algunas rellenas de calcita o

zeolita, con pequeñas y frecuentes intercalaciones de roca ígnea efusiva microcristalina pardo rojiza, alterada, con calcita cristalina como relleno de huecos. Las muestras de este intervalo corresponden por sus características texturales a rocas volcánicas. Las muestras tomadas en las perforaciones de Concordia y Federación son muy similares mineralógicamente y texturalmente y como ya se ha expresado se diferencian de las muestras de Colon y Villa Elisa. Se realizó una descripción macroscópica (dado que no fue posible aglutinar las muestras y no pudo hacerse microscopía) de los intervalos de 60, 110, 240, 360, 450, 525, 630, 740, 830 y 970 m.b.b.p. en recortes de perforación en boca de pozo.

Las intercalaciones de niveles de arenisca registrados en el perfil litológico corresponden al tramo 750 a 790 m.b.b.p., único tramo donde se pudo recuperar muestra. La misma corresponde a una arenisca de color 5YR 2/1, de granometría fina a muy fina con un tamaño medio de partículas de 100 micrones, un tamaño máximo de 200 micrones y un mínimo de 40 micras, posee muy poca matrix limosa, poco consolidada, friable, de buena selección y cemento carbonático (débil reacción con HCl). Mineralógicamente se compone de un 75% de cuarzo, incoloro o de color gris claro, de 50 a 90 micras, posee baja birrefringencia y bajo relieve ecuantes. Un 15% de feldespato alcalino incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. Los mafitos corresponden al 5% de la composición de la muestra, son individuos angulosos de 60 micras de tamaño de color verde claro y muy alterados, pueden corresponder a olivinas y piroxenos desprendidos de los fragmentos líticos. El 5% restante lo componen los que pude ser material basáltico de derrumbe de color rojizo algunos muy alterados donde se observa plagioclasas alteradas, la alteración se manifiesta como clorita y carbonatos. Dicha intercalación correspondería al Miembro Solari de la Formación Serra Geral.

Se considerara esta profundidad de 972 m.b.b.p. como la base de la Formación Serra Geral en la perforación en base a la litología ajustando este valor con los perfilajes como se vera en lo sucesivo.

➢ *Perforación Colón -1 (Cl-1):*

Los niveles atribuibles al complejo basáltico de la Formación Serra Geral en la localidad de Colon presentan variaciones en la composición mineralógica de las muestras y particularmente en su contenido de cuarzo filoniano rellenando microfracturas. El tramo comprendido desde los 228 a 720 m.b.b.p. es macroscopicamente más homogéneo y corresponde a una roca ígnea efusiva de textura porfírica, de colores gris medio verdoso y gris medio violáceo, vesicular y amigdalóide con relleno de calcita. Se observan pequeñas y frecuentes intercalaciones de roca efusiva castaño rojiza y gris castaño clara, alterada, con abundante cuarzo y calcita cristalina como relleno de huecos y fisuras. Las muestras de este intervalo, a excepción de las intercalaciones clásticas Psamíticas (atribuibles al M. Solari), corresponden mayoritariamente a rocas efusivas y poseen espesores variables

Eventualmente las secciones clásticas intercaladas suelen asociarse con un mineral arcilloso, de color blanco, friable, o de una arcilla rojiza con fragmentos líticos volcánicos y cemento siliceo muy consolidado. Estas intercalaciones llegan a presentarse en algunos niveles con poca potencia, (no mas de 3 o 4 metros) como una arenisca fuertemente silicificada con intercalaciones de roca efusiva de composición basáltica y asociado a abundante cuarzo ígneo a lo largo de todo el intervalo. Los minerales accesorios se presentan en forma de trazas de proporción variable.

Se realizaron estudios microscópicos sobre corte de roca efusiva en los intervalos de 356, 406, 660 y 706 m.b.b.p. en recortes de perforación aglutinados que permitieron determinar la mineralogía característica de esta sección. Solo se fotografió la muestra de 706m.b.b.p. debido a que los cortes aglutinados se deshicieron previamente.

La muestra correspondiente a la profundidad 356m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de un *basalto*. Su textura es porfírica. Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano a

30°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 50% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 25% de la muestra. Las olivinas de color verde claro de alto relieve y birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 20%. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, opacos, posiblemente algo de cuarzo (muy escaso) y parte del mismo lo constituya material de derrumbe.

La muestra correspondiente a la profundidad 406m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de un *basalto*. Su textura es porfírica. Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano al 30°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 50% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 25% de la muestra. Las olivinas de color verde claro de alto relieve y birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 20%. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, opacos, posiblemente algo de cuarzo (muy escaso) y parte del mismo lo constituya material de derrumbe.

La muestra correspondiente a la profundidad 356m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de un *basalto*. Su textura es porfírica. Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano al 30°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 60% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 20% de la muestra. Las olivinas de color verde claro, alto relieve y alta birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 15%. El 5 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, opacos, posiblemente algo de cuarzo (muy escaso) y parte del mismo lo constituye el material de derrumbe de pozo.

La muestra correspondiente a la profundidad 706m.b.b.p., corresponde a un conjunto de recortes de perforación provenientes de un *basalto*. Su textura es porfírica. Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano al 30°), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 60% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 20% de la muestra. Las olivinas de color verde claro de alto relieve y birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 15%. El 10 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, opacos, posiblemente algo de cuarzo (muy escaso) y parte del mismo lo constituya material de derrumbe. La foto N°11 correspondiente a esta muestra, presenta los minerales más abundantes de esta sección plagioclasas, piroxenos y olivinas.

Se concluye que los niveles atravesados en este tramo corresponden a una roca volcánica de composición basáltica, clasificada como *Basaltos* y se corresponde con los niveles de rocas basálticas conocidos como basaltos tholeíticos de la Formación Serra Geral o Miembro Posadas (Herbst, 1970) de dicha Fomación.

Entre los 720 a 778 m.b.b.p. se intercala el nivel más potente de areniscas cuarzosas finas a muy finas, rosado clara, rosado oscura y rosado violácea. Este nivel arenoso intercalado en el complejo volcánico no es el primero en profundidad, pero sí, el más potente de la sección perforada. A partir de las observaciones microscópicas a grano suelto, el tramo corresponde a una arenisca, en parte limosa, de color (5R 7/4 a 5R 6/6), de granometría muy fina a fina con un tamaño medio de partículas de 160 micrones, un tamaño máximo de 190 micrones y un mínimo de 70 micrones, posee muy poca matrix, poco consolidada, friable, de muy buena selección y cemento carbonático. Mineralógicamente se compone de un 85% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes,

redondeados a subredondeados y prolados subangulosos, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. El feldespato alcalino compone el 10% de la muestra, incoloro, de bajo relieve y baja birrefringencia, las partículas son ecuantes y subangulosas. Las micas de corresponden a la variedad muscovita y constituyen el 5% de la muestra. El restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados. Este tramo mineralógicamente se diferencia poco de lo anteriormente descriptos para las perforaciones de Federación, Concordia y Villa Elisa.

En la sección basáltica es posible encontrar más intercalaciones de areniscas que las determinadas por el muestreo de los recortes de perforación. Esto se infiere del análisis de los perfilajes de pozo y se definirán en el correspondiente apartado, sin embargo, no se ha podido recuperar muestras de estas secciones posiblemente debido a que la arenisca es tan friable, poco cementada y poco espesor que no ha sido posible retenerla en la zaranda de la perforadora.

El tramo comprendido entre los 778 a 886m.b.b.p. se corresponden macroscopicamente a una roca ígnea efusiva basáltica de diferentes tonos de grises de tonos claros a oscuros, porfírica, de fractura fresca, con la presencia de opacos, presenta vesículas con relleno cuarzoso y oquedades. Intercala niveles clásticos psamíticos de escasa potencia, de color blanco e intercalaciones de areniscas de color rosa amarillento (también de poca potencia), muy cementadas con cemento silíceo. Estas intercalaciones suelen ser fundamentalmente cuarzosas y escasos fragmentos líticos oscuros con alteración de óxidos de hierro, se observa la asociación de sulfuros, posiblemente pirita y calcopirita de color amarillo, brillantes y con cristales bien desarrollados.

La edad asignada a los basaltos de la cuenca Chacoparanense se basa en su posición estratigráfica, su relación con los términos correlacionables y fundamentalmente en la radimetría natural de las muestras tomadas en los afloramientos ya indicado previamente. En base a las mismas se le ha asignado posible edad Jurásico medio e incluso Cretácico inferior.

La perforación de Colon Cl-1 proporcionó una muestra extraída a los 1238 m.b.b.p., (según control geológico) correspondiente a una litología de origen ígneo efusivo. Sobre la misma muestra se realizó microscopía y la determinación isotópica de su edad por el método de K/Ar en el INGEIS (Ostera, 1997). La muestra proveniente de este cuerpo intrusivo en profundidad es el único fragmento homogéneo que cumplía con las condiciones de pureza necesarias para la determinación isotópica, dado que la determinación a partir del recorte de perforación suele ser fuente de errores de datación por contaminación con los lodos de inyección. Esta última intruye el Basamento cristalino, lo que es indicio de su fracturación.

La muestra corresponde a la profundidad 1258m.b.b.p., corresponde a una roca ígnea subefusiva de composición *basáltica -andesítica*. Su textura es intergranular (alterada). Los fenocristales más abundantes corresponde a plagioclasas de la variedad labradorita (ángulo de extinción cercano al 30%), muestran macla según ley de albita, los cristales son euhedrales y constituyen el 60% del total. Los piroxenos (presumiblemente augita diopsídica) de color verde pálido, de moderado a alto relieve, Los mismos son fenocristales bien desarrollados con corte en sección basal que permiten su clara identificación. Comprenden el 30% de la muestra. Las olivinas de color verde claro de alto relieve y birrefringencia son fenocristales bien desarrollados alcanzan a un 5%. El 5 % restante corresponde a un conjunto de minerales entre biotita, óxidos de hierro, clorita, arcillas de alteración y zeolitas. Las fotos N°12 y 13 corresponden al cuerpo Diabásico descripto y permiten ver su textura y minerales más abundantes. Los resultados de la determinación isotópica son los siguientes:

Lugar	Edad.
Perforación Colón-1 1258 m.b.b.p.	160 +/- 6

➢ *Perforación Villa Elisa -1 (VE-1):*

Los inconvenientes técnicos durante la perforación en la localidad de Villa Elisa impidieron la sistemática toma de muestra, sin embargo, el autor tomo muestras a intervalos regulares de 50 metros para los niveles atribuibles al complejo basáltico de la Formación Serra

Geral. En la localidad de Villa Elisa comprenden el tramo desde los 348 a 982 m.b.b.p. es macroscopicamente muy similar a las perforaciones anteriores, corresponden a una roca ígnea volcánica de textura afanítica o porfírica, microcristalina de diversos colores y tonos de grises a saber, Gris medio oscuro N°4, 5YR/2 y Gris oscuro N°5, vesicular y amigdalóide algunas de ellas rellenas de calcita, con pequeñas y frecuentes intercalaciones de roca ígnea microcristalina pardo rojiza, alterada, con calcita cristalina como relleno de huecos. Las muestras de este intervalo corresponden por sus características texturales a rocas volcánicas.

Las muestras tomadas en las perforación de Villa Elisa son muy similares mineralógicamente y texturalmente y como ya se ha expresado se diferencian de las muestras de Colón por la ausencia de venillas de cuarzo en las pequeñas fracturas y discontinuidades de la muestras. Se realizó una descripción macroscópica (dado que no fue posible aglutinar las muestras) de los intervalos de 420, 560, 784/89 (?) y 980 m.b.b.p. en recortes de perforación en boca de pozo.

Las intercalaciones de niveles de arenisca registrados en el perfil litológico corresponden al tramo 930 a 982 m.b.b.p., único tramo donde se pudo recuperar muestra. La misma corresponde a una arenisca de color ocre (5YR 2/1), de granometría fina a muy fina con un tamaño medio de partículas de 110 micrones, un tamaño máximo de 190 micrones y un mínimo de 60 micras, posee muy poca matrix limosa, poco consolidada, friable, de buena selección y cemento parcialmente carbonático (débil reacción con HCl).

Mineralógicamente se compone de un 60% de cuarzo incoloro, con individuos ecuantes, subredondeados, posee baja birrefringencia y bajo relieve, extinción relámpago. Un 30% de feldespatos alcalinos, incoloros, de 40 a 70 micras, baja birrefringencia, bajo relieve, angulosos y ecuantes, muy alterados donde se observa plagioclasas muy alteradas, la alteración se manifiesta como clorita y carbonatos. Los mafitos corresponden al 5% de la composición de la muestra, son individuos angulosos de 60 micras de tamaño de color verde claro y muy alterados, pueden corresponder a olivinas y piroxenos desprendidos de los fragmentos líticos. El 5% restante lo componen los opacos de color rojizo algunos, prolados y subredondeados. Dicha intercalación correspondería al Miembro Solari de la Formación Serra Geral.

Dado que no existe otra información y no se realizaron perfilajes, se considerara esta profundidad de 982 m.b.b.p. como la base de la Formación Serra Geral en la perforación en base a la litología observada.

➢ *Perforación Concepción del Uruguay 1 (CU-1):*

En la perforación realizada en la localidad de Concepción de Uruguay se describió megascopicamente muestras a intervalos regulares de 50 metros para los niveles atribuibles al complejo basáltico de la Formación Serra Geral. En dicha localidad comprenden el tramo desde los 287 a 651m.b.b.p. es macroscopicamente muy similar a las perforaciones anteriores, correspondiendo a una roca ígnea efusiva basáltica de textura porfírica, microcristalina de diversos colores y tonos de grises a saber, Gris medio oscuro N°4, 5YR/2 y Gris oscuro N°5, vesicular y amigdalóide pudiendo estar algunas rellenas de calcita (reacciona débilmente con HCl). Eventualmente intercala pequeñas y frecuentes niveles de roca efusiva de composición basáltica ,de textura posiblemente microcristalina, de color pardo rojiza, alterada, con calcita cristalina como relleno de huecos. Las muestras de este intervalo corresponden por sus características texturales a rocas efusivas.

➢ *Perforación Gualeguaychú-1 (Gch-1):*

La sección comprendida entre los 475 – 725 m.b.b.p. se atravesaron rocas que macroscopicamente presentan características de las rocas efusivas basálticas de la región. Las muestras poseen una textura porfírica, de colores gris medio a gris oscuro, gris verdoso y castaño rojizo, presenta vesículas, aunque son menos notorias que en las muestras anteriores, con algunas de ellas rellenas de calcita. Se observan frecuentes intercalaciones de roca basáltica de textura

microcristalina castaño rojiza, alterada, con calcita cristalina como relleno de huecos. Las muestras de este intervalo corresponden por sus características texturales a rocas volcánicas, aunque no se ha realizado cortes microscópicos de esta sección la observación macroscópica es suficiente para identificar las mismas con los términos similares de composición basáltica de la Formación Serra Geral en la región.

➢ *Resumen de los datos de perforación*

En síntesis, los tramos descriptos coinciden con las descripciones ampliamente citadas correspondientes a las rocas de composición basáltica características a la Formación Serra Geral. Las perforaciones F-1, C-1, VE-1, Cl-1, CU-1 y Gchú-1 presentan en los tramos descriptos previamente litologías que son muy similares entre sí textural y mineralógicamente lo que no permite concluir que estos niveles de vulcanitas son correlacionables con las descriptas en el resto de la cuenca. Sin embargo es importante destacar una anomalía que es importante considerar en futuras interpretaciones más detalladas sobre la mineralogía de estas unidades.

En la perforación de Colón (Cl-1), el perfil litológico del tramo 886-1502 m.b.b.p. muestra diferencias notables en el contenido de cuarzo y feldespatos alcalinos y sus características mineralógicas con las muestras observadas el resto de las perforaciones del área de estudio que las hacen atribuibles al Basamento Cristalino. La ubicación del contacto inferior de las coladas no se pudo determinarse claramente durante al perforación, pero los cambios litológicos en el perfil, los tiempos de perforación y características de los lodos inyectados durante la perforación y sobre todo el perfilaje ayudan a determinar esa límite.

La descripción microscópica realizada en un testigo a los 1238 m.b.b.p. presenta, como ya se dijo previamente, una asociación mineralógica y textura característicos de las rocas de composición basáltica - andesítica relacionadas con este evento efusivo. Considérese este una inyección en profundidad, o sea un cuerpo Diabásico cuyo emplazamiento en el Basamento Cristalino fue facilitado por el ambiente distensivo y la intensa fracturación del mismo. No sería la única expresión efusiva de este tipo verificada en las perforaciones de la región. El pozo Gualeguaychú –1 describe un cuerpo intrusivo de composición basáltica en el tramo 797-802 notorio en el perfilaje, aunque no se identifique a partir de los recortes de pozo, por las causas ya citadas. El pozo Nogoyá ENR-1x , Las Mochas –1 , San Cristobal-1 por citar los más cercanos al área de estudio poseen descripciones de intercalaciones de cuerpos Diabásicos o eventos subefusivos en los perfiles de perforación. Considerando además que "Algunos derrames son de composición andesítica y coinciden con los portadores de los principales yacimientos andesíticos " (Bossi et. al. , 1973, 1974), la composición e interpretación litológica de estos cuerpos puede considerarse válida..

Este aspecto se discutirá más adelante en el apartado conclusiones. De todas formas estas variaciones texturales, mineralógicas o geoquímicas corresponden o se relacionan al mismo complejo efusivo definido como Formación Serra Geral con sus dos miembros. El Miembro Posadas correspondiente a las rocas efusivas y el Miembro Solari correspondiente a las rocas clásticas, considerando siempre la base de la ultima unidad efusiva inferior como la base de la Formación Serra Geral.

El cuarzo aparece recristalizado rellenando intersticios entre la roca, microfracturas y oquedades interpretándose al mismo como posterior al evento efusivo o póstumas. Se han verificado variaciones mineralógicas y geoquímicas en la Formación Serra Geral, por ejemplo, la asociación definida como Asociación Geoquímica 1, Derrames con micropegmatita, horblenda y cuarzo (Bossi, 1973,1974) . Esta última coincidiría con las observaciones acerca de la composición mineralógica aunque no es de ayuda para determinar la contemporaneidad del evento.

Formación Puerto Yeruá (De Alba y Serra, 1959)

Estos sedimentos fueron descriptos por primera vez por de Olivera, (1912) quien se refirió al hallazgo del reptil clasificado como **Argyrosaurus superbus**. Luego, Frenguelli (1939) las describe como sedimentitas del grupo "C" incluyendo las areniscas, brechas y toscas que afloran en Puerto Yeruá, este autor describe a las brechas como compuestas de fragmentos de areniscas de la Formación Botucatú, que constituyen las sedimentitas del grupo "A". Las mismas se describen no solo en Puerto Yeruá sino que son iguales a las aflorantes en Salto Grande, Cerro de la Cruz, Puerto de Concordia y arroyo Yuquerí Grande.

En el informe geológico de la hoja Ubajay se describen algunos afloramientos de esta arenisca sobre el Río Uruguay. De Alba y Serra (1959) son los primeros en describir el perfil asignándole el nombre de la localidad Puerto Yeruá. Según Padula y Mingramm las incluyen dentro de la Formación Mariano Boedo (Cretácico superior). Para Herbst (1971), se trata de una sucesión de areniscas gruesas y medianas además de conglomerados con irregulares lentes arcillosos, volviendo a confirmar el nombre de Formación Puerto Yeruá para las mismas. Russo (1979), Las describe como areniscas rojizas que deben su origen a un ambiente de depositación continental oxidante y a las calizas arenosas y areniscas calcáreas les asigna un origen marino litoral cercano a la costa. Su áreas de afloramiento han sido señaladas en las localidades de Salto Chico, Puerto Yeruá, Cueva del Tigre, Nueva Escocia, Paso Hervidero y Colon (Gentili y Rimoldi, 1979)

Herbst (1980), propone el nombre de Formación Pay Ubre para las areniscas calcáreas y calcáreos arenoso de la misma y deja el nombre de Formación Puerto Yeruá para las areniscas y conglomerados.

La edad se ha determinado en territorio argentino a través de un solo fósil **Argyrosaurus superbus** , le asigna edad senoniana (Cretácico superior). En Uruguay se han encontrado fósiles clasificados como **Uruguaysuchus aznarezi** (Lambert, 1939) y **Uruguaysochus terrai** (Bossi et. al., 1979). No hay consenso la respecto y la edad se encuentra en revisión (Groso, et. al, 1999)

Algunos autores han definido estas sedimentitas dentro de lo que se dio en llamar Formación Mariano Boedo. Según Russo (1979), la misma posee un espesor de 120m en el pozo Nogoyá 1 y alcanzan los 350m en la provincia del Chaco. El Cretácico en Uruguay, como veremos luego, reparte su espesor entre la Formación Guichón de 96m, la Formación Mercedes alcanza los 71m y la Formación Asencio los 30m (Bossi, et. al. 1975).

De acuerdo con Tófalo (1986) se tarta de variaciones laterales del mismo ambiente deposicional y proceso sedimentario. Este último autor determina una serie de Facies que le permiten determinar los procesos sedimentarios y ambiente deposicional de la Formación Puerto Yeruá. A tal efecto mencionaré algunas de las características de las facies definidas por Tófalo (1986):

Facies Sedimentarias Primarias

Facies A Conglomerados Areniscas y Pelitas:

Cuerpos lentiformes, conformados por conglomerados finos, areniscas y pelitas con variaciones laterales de las mismas, de base neta y erosiva excepto el pasaje a areniscas que es transicional, poseen entre 1 y 4 metros de espesor. Las estructuras más conspicuas son areniscas con estratificación entrecruzada planar y estructuras de corte y relleno, estructuras de estratificación plana horizontal, además posee estratificación entrecruzada en artesa e intercalación de limos de estratificación horizontal. Los niveles pelíticos son masivos con restos vegetales y los niveles limo arcillosos poseen estratificación horizontal y ondulitas escalonadas.

Estas facies fueron interpretadas como originados a partir de corrientes unidireccionales tractivas de energía variable de alta a moderada. En primera instancia estas corrientes fueron erosivas y rellenaron paleocauces. Estos depósitos tienen entonces un origen fluvial característico (Tófalo, 1986).

Facies B Pelitas Lenticulares:

Asociada a la anterior horizontal y verticalmente, son cuerpos lentiformes de espesor variable entre 8m y 10m. De base erosiva y tamaño de grano correspondiente a arena gruesa o sábulo que rápidamente varía a niveles pelitas. El techo es de contacto neto irregular y por encima se ubican las facies A, internamente la lentes presentan laminación horizontal. El material limoso tiene un

predominio de granos de cuarzo. El mismo se fue interpretado como rellenos de canales abandonados por sedimentación y decantación de material fino (Tófalo, 1986).

Facies Diagenéticas

Facies C de Calcretes pulverulento:

Son de contacto transicional con las facies A y muchas veces erosivo con las facies D. Las estructuras sedimentarias originales son difusas y has sido los destruidas por el reemplazo carbonático. Definidas como "Wackestone y Mudstone" de textura fango-sosten en las que el material carbonático ocupa el 95%. Posee material detrítico considerado como restos de paleosuelos y granos de arena gruesa corroídos por fango carbonático que lo reemplaza parcialmente (Tófalo, 1986).

Fueron interpretadas como producidas por el movimiento descendiente del agua en la zona vadosa o el ascenso capilar de agua desde la freática en periodos de gran evaporación (Tófalo, 1986).

Facies D Calcretes nodulares o pelletoidales:

Estos niveles gradan hacia la parte inferior con las facies A y el techo pasa transicionalmente a las facies E de duricostras, neto con las facies C y erosivo con las facies A. Sus estructuras primarias han sido alteradas y deformadas por la presencia de nódulos hacia los niveles superiores sin estructura interna y de tipo micrítico de 10cm a 15 cm de diámetro. Definidos petrográficamente como "Wackestone o Mudstone" poseen también fragmentos líticos de distinta composición. Fueron interpretados como el resultado de desplazamiento y reemplazo por introducción de carbonatos vadosos en suelos, rocas o sedimentos a causa de precipitaciones rápidas por evaporación (Tófalo, 1986).

Facies E Duricostras ("Hardpan"):

Constituida por niveles densos de carbonatos que pasan transicionalmente a las facies C o facies D o menos comúnmente a las facies H. Las estructuras primarias se hallan totalmente borradas. Se han denominado un conjunto de subfacies E1 y E2 en función del tipo de reemplazo de la calcita criptocristalina y forma del calcrete.

La interpretación de estas subfacies corresponden para las definidas como E1 a concentraciones de calcita criptocristalina en una matriz inicialmente de carbonato microcristalino; este cambio es de origen diagenético. La micrita es consecuencia de una rápida precipitación de soluciones hipersaturadas según Tófalo, (1986). Las facies E2 se las ha vinculado a precipitación de aguas meteóricas vadosas del tipo de las que ascienden en la freática en periodos de gran evaporación y por relleno de grietas de desecación o fracturas provocadas por pedoturbación (Tófalo, 1986). En síntesis ambas facies son consecuencia de transporte de carbonatos de calcio hacia abajo por percolación de aguas de lluvias vadosas.

Facies F de Calcretes laminares:

Estos niveles corresponden a bancos duros y bien consolidados de mayor resistencia la erosión debido la presencia de sílice (Tófalo, 1986). Sus estructuras primarias han desaparecido totalmente por la introducción del fango carbonático que desplazó a los clastos de origen detrítico. Su laminación es de origen diagenético dada por finas bandas de no mas de 0,5 cm de color gris claro, pardo claro y rojo pálido. Tófalo define su origen según los siguientes criterios:

- Diferencias del tamaño de grano de calcita
- Variaciones del contenido de oxido férrico
- Intercalación de Chert y ópalo con la calcita
- Intercalación de calcita con material arcilloso detrítico

Estas fueron interpretadas como "Cornstone" de tipo IV donde la laminación indica su génesis subaerea , por percolación de agua en zona vadosa conforme a la interpretación de Tófalo (1986).

Facies G de Calcretes Brechosos:

En general aparecen como calcretes bien indurados, masivos y estratificados que suprayacen a las facies E o las facies A definidas por el autor antes citado. Se diferenciaron dos tipos de brechas por la distinta litologías que las engloban, tratándose en un caso por trozos de la duricostra inferior y en el segundo de areniscas angulosas. Las dos facies han recibido la denomionación G1 y G2 (Tófalo, 1986) y las interpreto respectivamente según:

G1 Subfacies de brechas de calcretes recementados

G2 Subfacie de brechas clásticas

Las subfacies G1 son depósitos de no más de un metro de espesor donde se destacan gruesas fracturas rellenas de calcita, petrográficamente poseen mocrobrechamentos de los granos, con fango y relleno en las fracturas. La brecha es local compuesta por trozos de calcretes masivos inferiores, fracturados de color naranja rosado grisáseo y aglutinados por venas de carbonato esparítico.

Interpretado como producto de una rápida variación en las condiciones de cementación y fracturación no tectónica en zonas cercanas a superficie. Esto es la explicación de la formación de las brechas según Tófalo (1986).

Las subfacies G2 el carbonato se encuentra con el material arcilloso asociado constituyendo el 65% de la roca, presentándose como calcita microcristalina que por recristalización origina subesparita. Los fragmentos líticos son angulosos y de formas irregulares conformando el 30% y corresponden a los wakes del banco infrayacente (Tófalo, 1986).

Estos niveles fueron interpretados como una transformación "in situ" a escala macro y microscópica involucrando dos procesos: uno de naturaleza física y otro química. El más importante es el desplazamiento por crecimiento de calcita de las aguas meteórica vadosas, la fracturación se debe a la acción de raíces llenadas posteriormente por carbonatos (Tófalo, 1986).

Facies H de Calcretes conglomerádicos:

Sin evidencias de sus estructuras primarias por el crecimiento de la calcita, presenta sin embargo una gradación normal de grava a arena gruesa. En el techo gradan de calcretes conglomerádicos a "wackestone" arenosas. Se interpretaron como conglomerados intraformacionales y su presencia evidencia que en la cuenca deposicional se produjeron corrientes de moderada energía y la erosión en la base de los calcretes conglomerádicos prueba que ha habido erosión del material infrayacente. Esto se atribuye a depósitos que han sufrido un transporte corto (Tófalo, 1986).

De acuerdo con la descripción e interpretación para la Formación Puerto Yeruá propuesta por Tófalo (1986), que es la más reciente y completa con que se cuenta en la bibliografía hasta la fecha, este último autor interpreta la evolución del paleoambiente teniendo en cuenta que es muy importante determinar la proveniencia de carbonato de calcio, el rango de depositación sedimentaria, los procesos de dilución y cementación y el tiempo transcurrido. La fuente de carbonato se ha asignado la composición de los niveles hospedadores, las erupciones volcánicas, la vegetación y las aguas freáticas.

En zonas semiáridas el lavado por lixiviación es insuficiente para eliminarlo completamente del sistema, procesos de rápida evaporación producen una precipitación repentina de los carbonatos por disminución de la presión parcial en los poros. Es así como algunas de las facies de la formación puerto Yeruá (C, D, E y G) incluyen procesos mixtos de formación con participación de procesos pedogénicos. Todo esto vinculado a procesos de humedad y sequía que influye en el ascenso y descenso de la freática. Otras facies (A, B y H) evidencian procesos de gran descarga estacional clima semiárido y algunos calcretes se forman por depositación de carbonatos en canales. Esto no esta vinculado a un origen pedológico como se cito para las facies anteriores, aunque si pueden tener vinculados procesos de edafológicos.

El principal área de aporte es la Formación Serra Geral dado el predominio de basaltos y areniscas cuarzosas de iguales características que la antedicha Formación (Tófalo, 1986).

➢ *Perforación Colón (Cl-1):*

Desde los 140 a 228 m.b.b.p., la litología está constituida por areniscas silicificadas poco consolidadas, de coloración gris blanquecina, formada por clastos redondeados de composición cuarzosa, de tamaño arena fina. Estas areniscas se intercalan con areniscas muy finas en matriz arcillosa castaño rojizo - gris blanquecino, con venillas calcáreas que le dan un aspecto brechoso. Suelen intercalar a diferentes profundidades bancos de pocos metros de espesor donde domina material limo arcilloso, de color gris-rosado, con escasas areniscas calcáreas, de color amarillento a castaño rojizo, fina a media.

➢ *Perforación Villa Elisa (VE-1):*

Desde los 310 a 348 m.b.b.p. predominan los depósitos arenosos, poco consolidados y friables, de granometría variable en los distintos niveles de muy finos a medios, con intercalaciones de sedimentos limo arcillosos de color rosado.

➢ *Perforación Concepción del Uruguay (CU- 1)*

Desde los 218a 287 m.b.b.p. se atraviesan niveles de arenisca arcillosa, silicificada, fina a muy fina, color gris blanquecino, formada por partículas de composición de cuarzosa. Se observan intercalaciones de arcillas de color castaño amarillento.

Debido a que durante a las obras de perforación no se realizó perfilaje en los niveles suprabasálticos no se dispone de otra información que no sea litológica. Al respecto se consideran estos niveles como representativos de esta unidad, que debido a la ausencia de mayores datos consideramos conveniente considerar la dificultad de ajuste de los pases formacionales en el desarrollo del presente estudio.

➢ *Perforación Gualeguaychú (Gchu- 1)*

Los derrumbes durante la perforación consecuente de la baja densidad del lodo de inyección impiden un adecuado reconocimiento de la unidades postbasálticos en la perforación Gualeguaychú-1 (Benitez, 1999). De tal forma que en base al perfilaje de la perforación, la litología atravesada y la correlación con otras perforaciones realizadas en la región (INGM, 1958,1965, 1970) permitan inferir tentativamente las profundidades de los pases formacionales en esta sección de la perforación. En el tramo comprendido entre los 380 – 473 m.b.b.p., definido en base al perfilaje considerando el contraste resistivo y la disminución del valor de gama natural, coincidiría con la observación de que, hacia la base de la secuencia, atraviesa un conjunto de areniscas gruesas a medias, sabulíticas, de color amarillento, de composición cuarzosa, de forma equidimensional, subangulosos a subredondeados. Solo este tramo se ha considerado tentativamente y con dudas, dada la falta de un adecuado muestreo, correlacionables con al Formación Puerto Yeruá.

Formación Arroyo Avalos (Gentili y Rimoldi, 1979) o Formación Fray Bentos y unidades correlacionables

Estas rocas afloran en diversas localidades sobre la costa del Río Uruguay desde Concepción del Uruguay hacia el norte de Entre Ríos. Reconocidas desde principio de siglo tras el hallazgo de **Ameguinotherium Curuzucuatiense** (Podestá, 1901) se le asignó edad terciaria a las sedimentitas atribuibles luego a estas unidades. Estos niveles han recibido distintas denominaciones por distintos autores Terreno Loessoide (Kraglevich, 1928), Tosca Parda (Frenguelli, 1930) y Estratos de Punta Gorda (Walther, 1930), Capas de Fray Bentos (Lambert, 1940; Serra, 1945).

Esta última denominación fue respetada por diversos autores para un limo arenoso, con granos de cuarzo envueltos en una matriz arcillosa, con intercalaciones de loess y niveles de ceniza volcánica. Esta denominación fue revisada y modificada por De Alba y Serra (1959) como Depósitos Miocénicos. Estas sedimentitas afloran también en la provincia de Corrientes (como veremos más adelante) y en el diagrama estratigráfico de la provincia realizado por Herbst (1969, 1971) incluye

parte de la Formación Mercedes en lo que llamó Formación Arroyo Castillo mientras que las limonitas rosadas corresponderían a la Formación Fray Bentos.

Este es considerado por Gentili y Rimoldi (1979), que mantienen la denominación Formación Arrollo Avalos (Oligoceno) para las rocas carbonáticas de la Formación Mercedes y proponen incluir las sedimentitas limosas de los miembros superiores de la Formación Fray Bentos (Mioceno). Herbst (1981), reconsidera a la Formación Arroyo Castillo, reasignándole el nombre Fray Bentos para las areniscas y limonitas considerándolo Oligoceno inferior. Conforme al análisis de facies y paleoambiental de Tófalo (1986) sostiene como válida esta última afirmación y propone nombrar a la unidad como Formación Arroyo Avalos (Gentili y Rimoldi, 1979) por el termino no extranjero más antiguo para esa unidad.

El perfil tipo definido por Tófalo, (1986) está en Concepción del Uruguay (ER). Su edad corresponde a Oligocena en base a el hallazgo de **Prothypotherium** (Lambert, 1939), además de **Borus Globosus** y **Odontostomus dentatus**. Herbst (1981) le asigna edad Oligoceno inferior en función de la fauna fósil difícil de clasificar pero que sin duda atestigua la edad citada. Los espesores máximos no superan los 100 metros en la República del Uruguay (Bossi et. al., 1975) en Nueva Helvecia. Pero en la República Argentina en Concepción de Uruguay se atraviesan 50 metros y no se llega a la base. En el pozo Nogoyá - 1 se describen 200m de Formación Chaco probablemente atribuibles a esta (Tófalo, 1986). Por lo general es de contacto discordante con la Formación Serra Geral. El análisis facial y paleoambiental de Tófalo, (1986) incluye la descripción y determinación de las siguiente facies y su interpretación:

I Facies de Loess:

Interpretadas como de origen Eólico en región semiárida de escasa pendiente con participación de niveles subacueos correspondiente a pequeños canales debido a la presencia de las areniscas intraformacionales. (Tófalo, 1986). Apoya este origen la forma de los depósitos, la estratificación de gran ángulo, la laminación interrumpida por el crecimiento de raíces, su fauna, la buena selección de los granos y su granometría

J Facies Calcretes Pulverulentos:

A estos niveles carbonáticos se les asigna un origen pedológico, en algunos casos se evidencia un calcrete por iluviación, se ha propuesto que el carbonato deriva del loess que es lixiviado por el agua de lluvia y se concentra encima de la capa freática donde precipita en periodos secos, puede ocurrir que asciendan por capilaridad y precipiten (Tófalo, 1986).

K Facies de Calcretes Nodulares o Pelletoidales:

Los nódulos orthiticos se forman por precipitación progresiva del carbonato reemplazando los granos detríticos. El otro se vincula con la desaparición del material hospedador de alrededor del nódulo, precipitando una nueva generación de carbonato. Esto último puede vincularse a pedoturbación (Tófalo, 1986).

L Facies de Duricostras:

L1 Subfacies de Calcretes Psiolíticos, L2 Subfacies de Calcretes Aterronados y L3 Subfacies de Calcretes Masivos Atribuido a un ambiente vadoso donde el agua descendiente forma una película más gruesa en la parte inferior de los granos debido a la gravedad, la diferencia entre ambas es microtextural, las facies L3 se vinculan con procesos diagenéticos (Tófalo, 1986).

M Facies de Calcretes Laminados:

Su génesis fue interpretada como consecuencia de la segregación diagenética de los componentes de las zonas cercanas a la superficie, si la porosidad y permeabilidad de los bancos inferiores ha sido reducida por precipitación de carbonato a partir de aguas vadosas (Tófalo, 1986).

- N Facies de Calcretes Brechosos
- N1 Subfacies de Brechas de Calcretes Recementados, N2 Subfacies de Brechas Clásticas

Las subfacies N1, responden a procesos químicos y físicos que "in situ" transforman la roca debido a tres causas:

- Fenómenos de expansión por crecimiento de calcita y acomodamiento posterior
- material arcilloso del loess que sufren procesos de compresión/expansión
- Oscilaciones climáticas que producen el mismo efecto citado en 1 y 2
- Fracturación por crecimiento de raíces en zona freática
- Grietas horizontales de contracción ("buckle cracks")

Las subfacies N2 responden a procesos de disolución "in situ" y reemplazo.
0 Facies de Calcretes Conglomerádicos:

Corresponden a rellenos de canales o arroyos que surcaron las planicies donde principalmente sedimentaba loess (Tófalo, 1986). De acuerdo con lo descripto e interpretado por Tófalo el autor concluye en afirmar que la secuencia comienza con la facies I para terminar con las Facies M. A los fines estratigráficos en el presente estudio, es útil el análisis de la Formación Fray Bentos (Goso, 1965, in Preciozzi Porta et al., 1985; en Argentina, Herbst, 1971; Estratos de Fray Bentos, Coco, 1948, in Tófalo, 1986c; Serie de Fray Bentos, varios autores, Ejército Argentino, Comando de Ingenieros, 1948 a 1953, in Herbst, 1971; Capas de Fray Bentos, Martínez, 1950, in Herbst et al., 1985). La Formación Fray Bentos es un registro continental aflorante, de modo disperso, en el centro, centro-sur y SE de la Provincia de Corrientes y NE de la Provincia de Entre Ríos, según secciones incompletas que no exceden los 20 m. (Herbst, 1971, 1980; Herbst et al., 1985). En la República Oriental del Uruguay, dónde fue definida, se halla mejor expuesta, muy próxima a la margen izquierda del Río Uruguay, desde el N de Paysandú, hasta algo al S de Carmelo, comprendida entre acumulaciones continentales neocretácicas y registros marinos miocenos (Preciozzi et al., 1985) (Fernández Garrasino, 1961, 1987, 1989, 1992, observaciones personales). Luego, en el país vecino, la Formación Fray Bentos parece ocupar una posición estratigráfica bastante similar a la de la Formación Chaco.

A efectos de la presente contribución y de acuerdo con revisiones de Herbst et al. (1985), la denominación "Formación Fray Bentos", para las provincias de Corrientes y Entre Ríos, incluye totalmente, de base a techo, a las Formaciones "Arroyo Castillo" (Herbst, 1971) y "Arroyo Avalos" (Gentili y Rimoldi, 1979). Así, el aludido reordenamiento de nomenclaturas estratigráficas queda determinado como sigue:

Formación	Formación Arroyo Avalos
Fray Bentos	Formación Arroyo Castillo

El retorno al uso más amplio e integrador del nombre "Formación Fray Bentos" de Fernández Garrasino (1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990b) que cambia parcialmente algunos esquemas estratigráficos no significa desconocer la validez de las otras dos denominaciones. Sólo tiene el propósito de síntesis en comarcas de afloramientos dispersos, exiguos e incompletos y de adicional adecuación a normas internacionales (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983; Comité Argentino de Estratigrafía, 1992), relativas a unidades litoestratigráficas que se exponen, más o menos continuamente, en países vecinos, a través de sus fronteras comunes, como sería el caso de la "Formación Fray Bentos", respecto de Argentina y Uruguay.

Exposiciones de la Formación Fray Bentos, en Cantera Tellechea (caliza), cercana al Arroyo Castillo, vecindades de Curuzú Cuatiá (Provincia de Corrientes), permitieron recuperar restos de Ameghinotherium curuzucuatiense Podestá (Mammalia, Tipoterida) (Podestá, 1899; Serrano, 1901, in Tófalo, 1986c; Gentili y Rimoldi, 1979; Herbst et al., 1985), correspondiente al Oligoceno medio, según Patterson (in Gentili y Rimoldi, 1979). De acuerdo con Alvarez (1978, in Herbst et al., 1985) y Herbst et al. (1985), Ameghinotherium y otros ejemplares de mamíferos (Prohegetotherium sp., Propachyrucos sp.), más tarde hallados también en la Provincia de Corrientes (Paso Lucero, S de Chavarría y ONO de Mercedes y Felipe Yofré, cruce Ruta Nacional N° 123-Río Corrientes; curso del Arroyo María Grande, afluente izquierdo del Río Corrientes, S de Perugorria; márgenes del Arroyo

Avalos, al S de Perugorria), asignan la Formación Fray Bentos al Oligoceno inferior. Bondesio (1986) otorgó "edad mamífero deseadense" a estos ejemplares. La escala temporal radiométrica del Cenozoico de América del Sur y el esquema de la sucesión y cronología aproximada de sus edades-mamífero, presentados por Ortiz Jaureguizar (1986), muestran al "deseadense" comprendido exclusivamente en el Oligoceno, o bien en los intervalos Eoceno superior-Oligoceno superior, Oligoceno superior-Mioceno inferior, u Oligoceno inferior-Mioceno inferior, según alternativas fundadas en distintos antecedentes. Por lo tanto, la máxima amplitud cronológica del "deseadense" sería Eoceno superior-Oligoceno-Mioceno inferior, la cual también podría corresponder a la Formación Fray Bentos. En igual sentido y respecto a América del Sur, Hoffstetter (1980) ya había señalado que el límite Eoceno-Oligoceno podía ubicarse "...debajo (o dentro) del Deseadense...".

En Uruguay, la Formación Fray Bentos proveyó restos de vertebrados (aves, reptiles quelónidos, mamíferos), algunas microfaunas y algas diatomeáceas (Frenguelli, 1930; Mones y Ubilla, 1978; Preciozzi Porta et al., 1985). Se la consideró (parcialmente?) "deseadense" Oligocena inferior (Mones y Ubilla, 1978), u Oligocena irrestricta (Preciozzi Porta et al., 1985).

Siempre relativo a la República Oriental del Uruguay ya se apuntó que la Formación Fray Bentos subyace a sedimentitas marinas someras miocenas, representantes de la vasta ingresión Miocena media-pliocena inferior, extensamente distribuida en los dominios Chacoparanense. Entonces, parece asegurada la antigüedad mínima Miocena inferior de la Formación Fray Bentos, acorde con su filiación "deseadense", según el concepto más amplio. Asimismo, en el país limítrofe, ella descansa sobre las acumulaciones continentales neocretácicas más jóvenes, sin interposición de registros marinos maastrichtianos-paleocenos, o maastrichtianos-eocenos tempranos. Estas relaciones, observables en superficie, sugieren una discontinuidad en el límite inferior de la Formación Fray Bentos, quizás denunciada por sus psefitas y brechas de base y restringen su edad al lapso Eoceno-Mioceno inferior, lo cual tampoco contradice el cuño "deseadense" de esta unidad.

Todo lo expuesto y los razonamientos amplios, hacen comprensible situar a la Formación Fray Bentos (Entre Ríos y Uruguay), en el intervalo Eoceno superior-Mioceno inferior. Psefitas, brechas y/o areniscas gruesas basales, destacada presencia de psamitas finas y pelitas de matices rosados en toda la sección, conspicua y variada contribución de materiales carbonáticos y similares posiciones estratigráficas relativas, llevan a correlacionar la Formación Fray Bentos con la Formación Chaco y situar a ambas en el Eoceno superior-Mioceno inferior.

Relativo a la columna del pozo YPF Nogoyá 1, Böttcher (1977) describió, entre 190 y 390 m.b.b.p., la siguiente sucesión de 200 m. de espesor en los tramos 390-320 m.b.b.p. (70 m.): areniscas cuarzosas muy gruesas, rosadas claras. Tramo 320-260 m.b.b.p. (60 m.): alternancia de limolitas arenosas castañas claras, arcilitas castañas rojizas y areniscas medianas blanquecinas. Las psamitas se encuentran pobremente seleccionadas y su fracción clástica se compone de granos de cuarzo redondeados y escasos feldespatos, todos ellos cementados, de modo irregular, por "parches" de yeso. Tramo 260-190 m.b.b.p. (70 m.): limolitas arenosas carbonáticas, de color castaño claro. Siempre con referencia a YPF Nogoyá 1, esta sucesión de 190 a 390 metros de profundidad, hasta el presente sin hallazgos paleontológicos, se dispone sobre un posible registro marino somero a litoral, concedido a la Formación Mariano Boedo (Maastrichtiano-Paleoceno) (Fernández Garrasino, 1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990b). El mismo tramo perforado de 190 a 390 m.b.b.p., subyace a otra sucesión, también supuestamente marina y litoral, otorgada al Mioceno medio a superior-Plioceno inferior (Fernández Garrasino, 1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990b). La inferida posición estratigráfica relativa sugiere edad comprendida entre el Eoceno y el Mioceno inferior a medio, para el tramo 190-390 m.b.b.p. de YPF Nogoyá 1. Sus rasgos litológicos le atribuyen carácter continental. Las psamitas muy gruesas de la base, apoyadas sobre calizas arenosas paleocenas(?), supuestas litorales, indicarían una discontinuidad. Se advierte sin mayores dificultades, que esta sección 190-390 m.b.b.p. de YPF Nogoyá 1 guarda estrechas analogías sedimentarias, litológicas y de situación relativa en la columna, respecto de la Formación Chaco propiamente dicha, con la cual puede ser correlacionada. Así se modifican

parcialmente y perfeccionan, algunas inferencias previas de Fernández Garrasino (1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990b).

Referencias relacionadas a esta unidad continental de planicie aluvial, se hallan en los trabajos de Padula y Mingramm (1968), Mingramm y Russo (1969, 1972), Russo (1975), Mingramm et al. (1979), Russo y Serraiotto (1979) y Carle et al. (1989, 1991). Al aludir a ella, Russo et al. (1979) señalaron que: "...El nombre es habitualmente utilizado en los informes internos de YPF (YPF, Inédito) para referirse a las areniscas y pelitas, de colores rojizos y morados, comprendidas entre las Formaciones Mariano Boedo y Paraná y, cuándo esta última está ausente, entre las Formaciones Mariano Boedo y Pampa. Pese a que la denominación de Formación Chaco se utiliza con frecuencia, aun no ha sido definida conforme a las normas estratigráficas actualmente en uso. Por lo tanto, se aprovecha esta oportunidad para efectuar su diagnosis y formalizarla...". Ya en sus correlaciones del subsuelo Chacoparanense, Padula y Mingramm (1968) situaron a la "Formación Chaco (Oligoceno)", entre la infrayacente "Formación Mariano Boedo (Cretácico superior a Paleoceno)" y sobrepuestos registros marinos someros y litorales ("Neógeno, Mio-Plioceno"), como anticipo de las ideas de Russo et al. (1979). Entonces, según el concepto definitorio más preciso y restringido, la Formación Chaco reúne al conjunto, por ahora indiviso, de acumulaciones continentales terciarias Chacoparanense, comprendidas entre infrapuestas sedimentitas marinas someras y litorales, estimadas maastrichtianas-paleocenas y sobreyacientes depósitos miocenos medios-pliocenos, también marinos someros y litorales. Tal posición estratigráfica ubica a la Formación Chaco en el intervalo Eoceno-Mioceno. Pero en el subsuelo de comarcas septentrionales de la Provincia de Santiago del Estero y occidentales de la Provincia del Chaco, faltan las secuencias marinas someras miocenas medias-pliocenas inferiores del "mar paranense", las cuales podrían estar reemplazadas lateralmente por tramos continentales altos de la Formación Chaco, que alcanzaría así a tiempos pliocenos, en algunas localidades.

Los pozos perforados en la Provincia de Santa Fe, muestran vasta y continua distribución de la Formación Chaco, que llega a 325 m. de espesor en YPF San Cristóbal 2. Ella está uniformemente apoyada sobre las Formaciones Mariano Boedo y Paiva (Maastrichtiano-Paleoceno) y subyace a depósitos marinos someros y litorales miocenos medios a superiores-pliocenos inferiores, como lo determina la acepción más precisa y restringida de Russo et al. (1979).

Russo et al. (1979), al referirse a la "Formación Chaco", expresaron que "...En el sector oriental, paralelo al borde la cuenca, predominan las areniscas de grano fino, ocasionalmente medianas o gruesas, de colores amarillentos o blanquecinos, con intercalaciones delgadas de conglomerados, limolitas castañas, arcilitas limosas verdes y yeso cripto y microcristalino que, en algunos casos, se presenta como cemento de areniscas arcillosas (pozos Nogoyá, Mariano Boedo y Piraré. En el borde opuesto, en cambio, en las partes donde la Formación Paraná no ha llegado a depositarse, la Formación Chaco está constituida en su totalidad por areniscas castañas, friables, de grano fino y matriz arcillosa, con clastos angulosos o subredondeados de cuarzo. Sólo ocasionalmente aparecen intercalaciones arcilíticas de la misma coloración (pozos Coronel Rico, Santiago Temple). Hacia los sectores distales, al disminuir la cantidad de areniscas, la Formación queda constituida casi totalmente por arcilitas rosadas y castañas, ocasionalmente verdosas, con intercalaciones de yeso y anhidrita, más abundantes en su parte inferior (pozos de Ordóñez, Camilo Aldao, Ceres, San Cristóbal). Los mayores espesores (?, interrogación del autor del presente informe), variables entre 300 y 350 m, se localizan en los pozos perforados en el sector profundo de la cuenca (Ceres, Coronel Rico, San Cristóbal, etc.,...). Estos valores aumentan en los sitios donde no se ha depositado la Formación Paraná, como sucede en Las Breñas y Charata (420 y 430 m, respectivamente)" (estos serían los espesores máximos, nota del autor del presente informe).

Respecto del subsuelo bonaerense, la Formación Chaco resulta homóloga de la totalidad del registro continental integrado, de base a techo, por las Formaciones Los Cardos (Yrigoyen, 1975; Grupo Los Cardos, Zambrano, 1974; Eoceno-Oligoceno) y Olivos (Groeber, 1961; Oligoceno-Mioceno), de la "Cuenca del Salado". Además, la Formación Chaco es correlacionable con los depósitos también continentales de la Formación Ombucta (Kaasschieter, 1965; Eoceno-Mioceno

yrigoyen, 1975), de la "Cuenca del Colorado". Al igual que la Formación Chaco, el conjunto de las mencionadas acumulaciones continentales bonaerenses descansa sobre sedimentitas marinas neocretácicas maastrichtianas-paleocenas, e infrayacen a secuencias marinas someras mio-pliocenas.

La definición de la Formación Olivos en el subsuelo pertenece a Groeber (1961). Más tarde yrigoyen (1975) la advirtió en sendas sucesiones alumbradas por los pozos DMG Guardia Vieja 1 (m.b.b.p. 145 m.s.n.m.; profundidad final 827 m.b.b.p.) y DMG Laboulaye 1 (m.b.b.p. 138 m.s.n.m.; 1052 m.b.b.p.), ambos del SE de la Provincia de Córdoba (Figura 8 y 9), comprendida totalmente en los respectivos tramos 220-350 m.b.b.p. (130 m.) y 264-360 m.b.b.p. (96 m.). También fue identificada por el mismo autor, entre 140 y 485 m.b.b.p. (345 m.) de la columna de la perforación Gas del Estado Conesa 3, sita cercana al SSO de San Nicolás de los Arroyos, extremo septentrional bonaerense, muy próxima al límite Buenos Aires-Santa Fe (Yrigoyen, 1975).

La litología más frecuente de la Formación Olivos" se compone de arenas gruesas a conglomerádicas, de color pardo rojizo, amarillento o grisáceas a verde claro, cuarzosas, de grano subangular a subredondeado, con nódulos de yeso y anhidrita y en parte con cemento ligeramente calcáreo, alternando con fangolitas y arcillas arenosas pardo-rojizas que también contienen nódulos de yeso y anhidrita y escasa mica dispersa." (Yrigoyen, 1975). En el pozo DMG Laboulaye 1, a partir de 342,7 m.b.b.p., hacia abajo y sin nominación explícita, Padula (1972) describió "...areniscas gris blanquecino, feldespáticas, grano fino a grueso, friables, micáceas y algo calcáreas.". Cabe esperar la presencia de la Formación Olivos en el subsuelo austral santafecino, atento a la vecindad de los pozos DMG Guardia Vieja 1 y DMG Laboulaye 1, respecto del vértice Córdoba-Santa Fe-Buenos Aires y la cercanía de la perforación Gas del Estado Conesa 1 al límite Buenos Aires-Santa Fe, en el extremo Norte bonaerense.

Según las perforaciones, en el subsuelo de Guardia Vieja y Laboulaye (Córdoba) y también de Conesa (Buenos Aires), la Formación Olivos, hasta ahora sin hallazgos paleontológicos, se sobrepone a las Formaciones Mariano Boedo y Paiva (Neocretácico maastrichtiano-Eoterciario paleoceno) y subyace a registros marinos someros y litorales miocenos medios a superiores-pliocenos inferiores. Tal posición estratigráfica la sitúa en el intervalo Eoceno-Mioceno inferior y señala su posible equivalencia cronológica amplia, pero quizás parcial, con la Formación Chaco (Eoceno superior-Mioceno inferior) y coetáneas, también de origen continental.

Las perforaciones del área de estudio destindas a la explotación de acuíferos termales denominadas Colón -1, Concepción del Uruguay –1, Villa Elisa –1 y Gualeguaychú-1 atravesaron litologías correspondientes a estos niveles en los siguientes intervalos:

➢ *Perforación Colón (Cl-1):*

Desde los 20 a 140 m.b.b.p., la litología está constituida por areniscas calcáreas poco consolidadas, de coloración gris blanquecina, formada por clastos redondeados de composición cuarzosa, de tamaño arena fina. Estas areniscas se intercalan con areniscas muy finas en matriz arcillosa castaño rojizo oscuro, con venillas calcáreas que le dan un aspecto brechoso. Suelen intercalar a diferentes profundidades bancos de 10 - 20 metros de espesor donde domina material limo arcilloso, de color castaño rojizo y rosado, con escasa areniscas calcáreas, de color castaño amarillento a castaño rojizo, fina a media.

➢ *Perforación Villa Elisa (VE-1):*

Desde los 250 a 310 m.b.b.p. predominan los depósitos arenosos calcáreos, poco consolidados y friables, generalmente bien seleccionados, de granometría variable en los distintos niveles de muy finos a medios, con intercalaciones de sedimentos limo arcillosos de colores castaño rojizo oscuro y rosado. Hacia la base de la secuencia la litología es semejante pero comienzan a aparecer escasos clastos subangulosos de roca ígneas gris oscura (basalto).

➢ *Perforación Concepción del Uruguay (CU- 1)*

Desde los 55 a 218 m.b.b.p. se atraviesan niveles de arenisca arcillosa, calcárea, fina a muy fina, color castaño rojizo, formada por clastos de cuarzo, redondeados. Se observan intercalaciones de arcillas de color castaño amarillento a castaño rojizo.

Debido a que durante a las obras de perforación no se realizó perfilaje en los niveles suprabasálticos no se dispone de otra información que no se litológica, al respecto se consideran estos niveles como representativos de esta unidad que debido a la ausencia de mayores datos consideramos conveniente emplear la denominación de Formación Fray Bentos durante el desarrollo del presente estudio.

➢ *Perforación Gualeguaychú (Gchu- 1)*

Desde los 145 a 380 m.b.b.p. se atraviesan niveles de arenisca arcillosa a limonitas, color castaño rojizo (10 R 5/6), formada por clastos de cuarzo, redondeados. Se observan intercalaciones de arcillas de color castaño amarillento a castaño rojizo

Debido a las causas ya mencionadas referidas previamente al muestreo de esta perforación, la base y techo de al secuencia ha sido interpretada a partir del perfilaje, la respuesta de gamma natural es mayor y los valores de resistividad inferiores que en los niveles subyacentes y sobreyacentes.

No se dispone de otra información litológica que la descripta en la perforación Gualeguaychú – 1 (INGM, 1965) que ubica un cambio litológico a 198 m.b.b.p., "de gravas gruesas muy cementadas a una arena muy fina limosa", similar al observado en esta perforación a los 145 m.b.b.p. Al respecto se consideran estos niveles (145-380m.b.b.p.) como representativos de esta unidad que debido a la ausencia de mayores datos consideramos conveniente emplear la denominación de Formación Fray Bentos durante el desarrollo del presente estudio.

*Formación Paraná (*D'Orbigny, 1842; Bravard, 1858; *Doering, 1882)*

La Formación Paraná (redefinida Herbst et al., 1976, Zabert y Herbst, 1977; Formación Terciaria de Paraná, Burmeister, 1858; Piso Paranense, Doering, 1882; Piso Paraná, Borchert, 1901a, 1901b; Formación Paranense, Frenguelli, 1920) (Mioceno medio a superior-Plioceno inferior) El subsuelo de las llanuras orientales tucumanas y salteñas y de Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Córdoba, Entre Ríos, Este de La Pampa y Buenos Aires, es generoso en depósitos continentales comprendidos entre el Eoceno medio y el Mioceno medio, que también ofrecen afloramientos, algunos de los cuales son observables en Corrientes y Entre Ríos, a más de Paraguay, Brasil y Uruguay. Hacia arriba, les siguen los registros marinos someros miocenos medios-pliocenos inferiores del llamado "Mar Paranense", última ingresión Terciaria Chacoparanense, de muy amplia distribución geográfica en toda la cuenca, advertible en superficie y subsuelo. Depósitos aluviales Pliocenos y Pleistocenos cubren las acumulaciones marinas "paranenses".

En tiempos neocretácicos tardíos o eoterciarios tempranos y de inmediato al naciente del sector septentrional de la Cordillera Oriental, la orogenia ándica dio comienzo al levantamiento de las Sierras Subandinas, a quienes las sucesivas fases diastróficas Cenozoicas otorgaron su definitiva condición de faja sobrecorrida, vergente al Este. Hasta donde se conoce por afloramientos y pozos y según las interpretaciones

Russo et al. (1979) señalan, en el subsuelo del Oeste de la llanura cordobesa austral y faja meridiana central de La Pampa, una lineación positiva N-S, precisamente llamada "Alto de La Pampa", que separa las cuencas o subcuencas de General Levalle y Macachín, ubicadas a su naciente de la de Mercedes, sita al Oeste. Según se deduce de las ilustraciones de los autores, las Sierras Pampeanas orientales de Córdoba muestran el mismo rumbo general del "Alto de La Pampa", que alcanzaría al Río Colorado. Es fácil advertir que las serranías de los Cóndores y de las Peñas (OSO y SO de la ciudad de Río Tercero) son las expresiones de superficie más australes de las Sierras Pampeanas orientales de Córdoba. Más hacia el Sur y no inmediatamente, pero en coincidencia direccional, les sigue el lineamiento casi meridiano del Arroyo Santa Catalina (SSE de la ciudad de Río Cuarto), definido por

Baleani (1990) en la llanura sudoriental cordobesa y que empalmaría con el "Alto de La Pampa", dispuesto en rumbo aproximadamente similar. El mencionado "Alto de La Pampa" sería la prolongación hacia el Sur de las serranías pampeanas orientales, en el subsuelo de las llanuras sudoccidentales cordobesas y planicies orientales de la Provincia de La Pampa y su segmento más austral correspondería al "Alto de Pichimahuida", determinado por Russo (1980), el cual llegaría hasta el Río Colorado (límite La Pampa-Río Negro).

En la Provincia de Buenos Aires, el registro cenozoico comienza con la Formación Olivos sobre el basamento al norte del la cuenca del Salado corresponde a sedimentos de areniscas y arcillas de color pardo a rojizo, con intercalaciones calcáreas, conglomerádicas y abundante yeso y anhidrita, de origen continental , con límite superior en los - 240 m.b.n.m. En la cuenca del Salado se han descripto en las perforaciones mencionadas entre 826 y 1627 m.b.b.p. para el pozo Las Chilcas incluyendo la Formación Los Cardos parte del mismo ciclo pero con características más costaneras como todas hacia el este de la cuenca. Esta situación es crecientemente importante hacia la plataforma continental hasta que resulta difícilmente identificable de la Formación Paraná (Mioceno marino suprayacente de la cuenca). Su posible edad es Mioceno Inferior a Eoceno superior.

La Formación Paraná luego del depósito de la Formación Olivos se interpreta como un extenso mar qur cubrió durante el Mioceno gran parte de la llanura Chacopampeana, depositando los sedimentos de esta formación de gran espesor. En le techo de esta se observan arcillas verde azuladas, intercalaciones de areniscas, niveles calcáreos compactos y restos de fósiles marinos. Su techo, aunque variable, se encontraría entre los - 50 m. y - 90 m. b.n.mar.

En la Provincia de Buenos Aires en la región de la Cuenca del Salado se ha obtenido buen registro de estos niveles en las perforaciones profundas. Las profundidades son variables pero en el pozo Las Chilcas se describen ente los 232 a 735 m.b.b.p. y aparentemente parecen acuñar hacia el oeste controlado por las estructuras de profundidad, en Huetel se encuentra poco representada con facies de litoral marino.

Esta ultima es importante para este estudio debido fundamentalmente a que se encuentra a profundidades someras y posee agua marina relictica que es explotada por varias emprendimientos industriales (industria cervecera, petroquímicas, etc.) y turísticas o de recreación, debido fundamentalmente a sus caudales relativamente aceptables y la poca variación de su composición química.

En la Provincia de Entre Ríos, primero d'Orbigny (1842) y luego Bravard (1858), Burmeister (1858) y Borchert (1901a), tempranamente mencionaron, con distintos nombres, algunas secciones de la Formación Paraná, expuestas en barrancas cercanas a la ribera izquierda del Río Paraná, próximas a la homónima ciudad capital entrerriana. Varias décadas después, esta unidad fue revisada por Camacho (1967), Herbst et al. (1976) y Zabert y Herbst (1977), entre otros autores, quienes completaron y perfeccionaron su identificación y significado. La componen, principalmente, arcilitas verdosas, azuladas y grises amarillentas, con abundantes restos de invertebrados marinos. Hacia arriba, pasan gradualmente a areniscas verdosas y grises amarillentas, con intercalaciones calcáreas, generosas en fósiles. También se pueden observar algunas alternancias de pelitas rojizas y verdosas.

La Formación Paraná representa una ingresión marina somera y posterior regresión, cuyos registros están vastamente distribuidos en el subsuelo de las llanuras Chacoparanense; muchas veces y sobretodo en sectores orientales, las secuencias "paranenses" se hallan cubiertas por depósitos Pliocenos continentales, de importantes componentes fluviales. Este esquema concuerda con las ideas y revisiones de Aceñolaza (1976a, 1976b), e Iriondo (1976).

La Formación Paraná tiene conspicua representación en el subsuelo santafecino, dónde su ciclo completo de ingresión-regresión (non sensu Padula y Mingramm, 1968) alcanza unos 220 m. de espesor, en la perforación YPF San Cristóbal 1 y 200 m. en INGM Tostado 1, e YPF Ceres 1, ambas últimas situadas muy cerca del límite con Córdoba. Castellanos (1939) reconoció a la Formación Paraná ("Paranense", "Mesopotamiense", "Entrerriano"), en el subsuelo de la ciudad de Rosario. En el

subsuelo bonaerense septentrional y oriental, la Formación Paraná incluye a las llamadas "Arcilla Parda" (González Bonorino y Cetrángolo, 1962), "Arcillas Verdes" (Santa Cruz, 1972b; Bracaccini, 1980) y "Arcillas Azules" (Bracaccini, 1980), con foraminíferos y ostrácodos del Mioceno superior (Malumián, 1969, 1970). Estas unidades informales se hallan presentes en las áreas australes de la Provincia de Santa Fe, comprendidas entre Rosario y el Arroyo del Medio (límite Santa Fe - Buenos Aires) y son probables sus extensiones hacia latitudes santafecinas más norteñas, a juzgar por datos de pozos de estudio hidrogeológico perforados al S de la Laguna Mar Chiquita (Provincia de Córdoba) (Fritsch y Herrero Ducloux, 1979) y en el entorno de Seeber (Provincia de Córdoba, ESE de la Laguna Mar Chiquita, muy cerca del límite con Santa Fe según Bracaccini, 1980).

Acumulaciones marinas someras y litorales también distinguen a la Formación Paraná, en una faja de 70 Km. de ancho, extendida a la vera del Río Paraná, desde la ciudad de Corrientes, hasta Victoria (SE de la ciudad de Paraná, Entre Ríos). En el subsuelo occidental de la Provincia de Corrientes, la Formación Paraná constituye una sucesión no totalmente atravesada, de 70 m. de espesor parcial, compuesta de alternancias de arcilitas grises verdosas olivas, limolitas arenosas, arcilitas carbonáticas y areniscas cuarzosas grises amarillentas. En algunos bancos pelíticos, se hallaron fragmentos de ostreidos, ostrácodos marinos, foraminíferos y ejemplares microflorísticos (Herbst et al., 1985). En la Provincia de Entre Ríos, al N de la ciudad capital, sus expresiones aflorantes cercanas a la banda izquierda del Río Paraná, están incluidas en la Formación Pueblo Brugo (Gentili y Rimoldi, 1979). En la Mesopotamia sudoccidental, la sección de 100 m. de espesor, alumbrada por el pozo YPF Nogoyá 1 (SO de Entre Ríos), entre 90 y 190 m.b.b.p., se atribuyó, sin confirmar, a la Formación Paraná (Fernández Garrasino, 1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990b; Chebli et al., 1989). Este tramo del subsuelo entrerriano, reúne arcilitas carbonáticas castañas rosadas y dos intercalaciones yesíferas, de 10 a 20 m. de espesor (Böttcher, 1977).

Los invertebrados de la Formación Paraná le confieren edad Miocena (Rossi de García, 1966, 1969; Camacho, 1967; Rossi de García y Levy, 1983). Especialmente por algunos ostrácodos, foraminíferos y moluscos, esta unidad podría ser asignada al Mioceno superior (Camacho, 1967; Anzotegui, 1974; Aceñolaza, 1976; Herbst et al., 1976; Zabert y Herbst, 1977; Rossi de García y Levy, 1983; Herbst et al., 1985). Realmente, el "mar Paranense" dio lugar a registros complejos. Camacho (1967) dedujo cuatro asociaciones sedimentarias para él:

- Las llamadas "Arcillas Verdes", identificatorias de las áreas comparativamente más profundas (Formación Paraná);
- Areniscas y arenas deltaicas litorales (Formación Mesopotamia);
- Depósitos carbonáticos litorales y costaneros (Formación Entre Ríos);
- Cuerpos de yeso regresivos y litorales, sin nominación formal. En el subsuelo de Santiago del Estero, Chaco, Santa Fe, la sucesión que se trata determina un ciclo ingresión (Formación Paraná)-regresión (Formaciones Entre Ríos y Mesopotamia), comprendido verticalmente entre acumulaciones continentales.

Aunque la Formación Entre Ríos fue reconocida en varios pozos, pero no en todos, en ciertos casos puede ser dificultoso decidir si se está en presencia de facies proximales de la Formación Paraná (ingresión), o bien de secuencias regresivas algo más jóvenes (Formaciones Entre Ríos o Mesopotamia), de apariencias similares. Por ello, desde el punto de vista operativo de subsuelo, parece aconsejable usar, de modo transitorio si se quiere, el nombre difundido y generalizado de Formación Paraná, para aludir a la totalidad del ciclo. Iriondo (1973a) completó el análisis paleoambiental de las secuencias "paranenses".

Hacia el Oeste del Chaco y en Santiago del Estero, la Formación Paraná se vincularía lateralmente con secuencias costaneras y continentales, representadas por depósitos altos de la Formación Chaco, la cual ingresaría así en tiempos Pliocenos, según las posiciones paleogeográficas relativas. Tales variaciones de facies parecen claramente visibles en la correlación de los pozos DGMG

Alhuampa 1 (centro de la parte septentrional de la Provincia de Santiago del Estero), e YPF El Caburé 1 (sector septentrional de la Provincia de Santiago del Estero, cercano al límite con el Chaco), de acuerdo con las ilustraciones de Padula y Mingramm (1968), quienes en el texto no hacen referencia al Terciario ya que el trabajo está dirigido al Mesozoico. La columna atravesada por YPF El Caburé 1, muestra acumulaciones cuartarias apoyadas inmediatamente sobre la Formación Chaco; es decir, faltan los registros identificatorios de la Formación Paraná, posiblemente reemplazados por secciones superiores continentales de la Formación Chaco. Esta circunstancia puede explicarse por influencia del alto de Rincón-Caburé o del Quirquincho, localizado cercano al N del pozo YPF El Caburé 1 y que, al menos en la parte Norte de la Provincia de Santiago del Estero, representaría al borde septentrional de la "ingresión Paranense".

La Formación Paraná representa al último evento marino terciario Chacoparanense. Estudios específicos de ostrácodos y foraminíferos sugieren edad Miocena superior-pliocena inferior y una distribución paleogeográfica occidental más amplia para ella y sus equivalentes (Bertels y Zabert, 1980; Battaglia, 1982; Zabert, 1982; Chaia, 1988; Fernández Garrasino, 1988, 1989c, 1989d, 1992a). Secciones de cualidades "paranenses" se exponen en el Valle de Santa María (Provincias de Tucumán y Catamarca) y Valle de Choromoro (Tucumán), donde integran la Formación San José (Ruiz Huidobro, 1975). Unidades aproximadamente coetáneas de ella y de similar significado deposicional, también afloran en el contorno de la Sierra de Guasayán (SO de la Provincia de Santiago del Estero) y faldeos orientales de la de Alto o Ancasti (Provincia de Catamarca) y precisamente constituyen la Formación Guasayán (Battaglia, 1982).

En recortes de perforación asignados a esta unidad, procedentes del pozo Bandera La Holandesa N° 1 (SE de la Provincia de Santiago del Estero, localidad de Bandera, extremo Norte del Departamento de Belgrano, limítrofe con la Provincia de Santa Fe), se obtuvieron dientes de peces seláceos y foraminíferos atribuibles al Mioceno superior, de filiación "entrerriense" y también contenidos en depósitos "paranenses" de las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos (Rossi de García, 1982, in Battaglia, 1982)

Las presunciones expresadas tienen coherencia secuencial dinámica ya que la Formación Paraná es el testimonio marino terciario más joven de la Cuenca Chacoparanense y habría obedecido a directrices transgresivas dominantes de Sur a Norte y de Este a Oeste. Por consiguiente, los depósitos del "mar Paranense" serían gradualmente menos antiguos hacia el Norte y el Oeste y determinarían algunas relaciones de diacronismo (Fernández Garrasino, 1989c, 1989d, 1992a). En auxilio de tales ideas, ha de expresarse que numerosas secciones australes de la Formación Paraná contienen faunas marinas miocenas medias-superiores (Camacho, 1967; Yrigoyen, 1975), pero algunas de sus secuencias septentrionales y noroccidentales poseen no sólo microfósiles del Mioceno medio y superior (Chaia, 1988), sino también posible especímenes lagunares y marinos de edad Miocena superior-pliocena inferior (Bertels y Zabert, 1980; Zabert, 1982). Luego, en el ámbito de la Provincia de Santa Fe, correspondería edad Miocena media a superior-pliocena inferior a la Formación Paraná.

El correlato uruguayo de la Formación Paraná, es la Formación Camacho (Bossi, 1966; Piso de Paraná, Walther, 1931; Areniscas Fosilíferas de Camacho, Caorsi y Goñi, 1958). Corresponde a un registro marino somero a litoral, de edad Miocena superior, distinguido por sus invertebrados (pelecípodos, gastrópodos, braquiópodos, briozoarios, cirripedios, malacóstracos, equinodermos, foraminíferos, ostrácodos), a más de frústulos de algas diatomeáceas y algunos restos de peces cartilaginosos y mamíferos (Sprechmann, 1978, 1980; Mones, 1979).

Debe tenerse presente que no es objetivo de este trabajo el estudio los niveles de la Formación Paraná y que los pozos no tenían como objetivo su muestreo. Sin embargo, en base alas muestras tomadas por el autor en el área de estudio las perforaciones Federación -1, Concordia - 1, Colon -1 y Concepción del Uruguay no atravesaron niveles de litología similares a las descriptas previamente y que pudieran corresponder a la Formación Paraná. En la perforación de Villa Elisa -1 , de acuerdo a conversaciones personales del autor con la empresa perforadora, se atravesaron en el tramo comprendido entre los 110 m.b.b.p. hasta 250 m.b.b.p. donde se describieron como una arcilla-

limosa muy consolidada de color verde oscuro que por su potencia y características puede corresponder a niveles correlacionables con de la Formación Paraná.

Esta información (al menos el techo de la Formación) ha sido validada con información proveniente de perforaciones para suministro de agua subterránea en la región que frecuentemente tienen como piso hidrogeológico las arcillas de la Formación Paraná.

Formación Ituzaingó (De Alba, 1953), Formación Salto Chico (Rimoldi, 1963)

Es la Formación más conocida del Litoral argentino aflora en la barranca izquierda del Río Paraná desde el norte de Corrientes hasta la ciudad de Paraná en Entre Ríos. Iriondo (1980) sugiere la correlación de estas unidades con las conocidas "Arenas Puelches" o Formación Puelches (Santa Cruz, 1972) en el subsuelo de las provincias de Santa Fe, este del Córdoba, este del Chaco y norte de Buenos Aires. La misma está formada por arenas blancas y rojizas muy maduras con intercalaciones de niveles limosos. En general el tamaño de grano disminuye de norte a sudeste y en la base la estratificación es entrecruzada planar pasando hacia el techo a un régimen de mayor divagación (Iriondo, 1980).

Su máximo espesor se verifica en la provincia de Corrientes con 150 metros y disminuye en Entre Ríos (Paraná) a unos 10 metros. La variación de color que grada de colorado en la sección superior a blanquecino en la base es de origen epigenético y es de extensión regional atribuyéndose su origen a diferencias climáticas en la región (Iriondo ,1980). Su origen ha sido interpretado como fluvial evolucionando hacia un régimen de menor competencia hacia el tope de la secuencia (Herbts y Santa Cruz, 1984; Jalfin, 1988). Si bien no se ha fijado su edad con precisión se le atribuye edad Pliocena-Pleistocena inferior y apoya en discordancia con la Formación Paraná (Iriondo, 1980).

Con el retiro del mar paraniano hacia el sudeste, se crearon las condiciones sobre una extensa llanura, para el desarrollo de un sistema fluvial muy extendido arealmente. Sobre los depósitos dejados por este mar, conforme se producía el retroceso del mismo, se producía el avance de extensos canales, en algunos casos de gran profundidad que transportaban y depositaban cuerpos de sedimentos que en forma lateral. Estos cuerpos se interdigitaron dando origen a un depósito excepcionalmente continuo reconocido en gran parte de las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires y franja oriental de Chaco y Formosa como Formación Puelches (Santa Cruz, 1972). Es muy factible que se corresponda con sedimentos aflorantes en la provincia de Entre Ríos y de subsuelo en Corrientes conocidos como Formación Ituzaingó.

Conforman una secuencia de arenas cuarzosas, pardo amarillentas a blanquecinas de gran selección granulométrica y composicional con intercalaciones arcillosas de variado espesor, (Santa Cruz, 1972). Hay lugares donde la arena casi fue reemplazada en su totalidad por material fino, o lugares donde la arena registra espesores de mas de 100 metros, en esos casos, las Arenas Puelches pueden estar apoyadas directamente sobre la Formación Olivos. Santa Cruz (1994), reconoce como área de aporte el área cratónica del Brasil.

De aquel sistema fluvial se preserva hoy el río Paraná, que al llegar a la llanura deposita su carga clástica que transporta desde la alta cuenca. La profundidad de la Formación Puelches varía entre 15 m y 120 m. El espesor total medio de la Formación Puelches varia entre 20 m y 40 m, pero puede alcanzar los 80 m., como en General Belgrano o superar los 100 m en la localidad de Zárate. En la localidad de Saladillo el espesor es superior a los 60 m. y la profundidad del techo se encuentra allí entre los 90 m. y 110m. Se le atribuye una edad Plio-Pleistocena inferior. Sin embargo hacia el este y en proximidades del pozo Las Chilcas (Bs.As.) se definen como Formación Puelches, con la salvedad de que pueden tratarse de un equivale de la misma. Hacia el este es muy posible que interdigite con niveles arenosos que bien pueden estar relacionados con ambientes marinos someros o litorales.

La Formación Salto Chico se corresponde a la Formación Salto de la República Oriental del Uruguay (Bossi, 1969) se extiende a lo largo del Río Uruguay desde el norte de Entre Ríos hasta Colón

aflorando en forma discontinua. Se compone de arenas gruesas y finas de color amarillo lenticulares y escasas de rodados y arcillas verdes, su máximo espesor es de 60 metros.

Las arenas acuíferas de la zona arrocera de Entre Ríos son de esta Formación. Iriondo (1980) propone diferenciarla como una unidad aparte de la Formación Ituzaingó por que la Formación Salto Chico corresponde a un ambiente fluvial más inestable y su origen se vincula con depósitos del Río Uruguay y sus afluentes. La edad sería Pleistocena inferior según Bossi (1969).

Debe tenerse presente que no es objetivo de este trabajo el estudio los niveles de la Formaciones Ituzaingó - Salto Chico y que los pozos no tenían como objetivo su muestreo. Sin embargo, sobre la base de las muestras tomadas por el autor en el área de estudio las perforaciones Federación-1, Concordia-1, Colon-1, Villa Elisa-1, Concepción del Uruguay-1 y Gauleguaychú-1 atravesaron niveles de litología similares a las descriptas previamente y corresponden a la Formación Ituzaingó o Salto Chico conforme al criterio de los diferentes autores (Gentile y Rimoldi, 1979, Bertolini, 1993). En Federación-1 y Concordia-1 se atraviesa un conjunto de arenas medias a gruesas que hacia la base presentan gravas medias a gruesas de gradación normal, de color pardo amarillento, de composición cuarzosa con clastos líticos y de diversas variedades de sílice, de individuos prolados redondeados a subredondeados, poco consolidado y de pobre selección. Estos apoyan sobre la Formación Serra Geral. En Colón-1 y Concepción del Uruguay –1 presentan igual composición y apoyan en discordancia erosiva sobre la Formación Fray Bentos.

En la perforación de Villa Elisa -1, de acuerdo a conversaciones personales del autor con la empresa perforadora, perforadores locales de reconocida idoneidad y la observación de perfiles litológicos de perforaciones de agua para la producción arrocera en al zona, apoyarían sobre la Formación Paraná donde suelen describirse como "arenas modernas", poco consolidadas de color castaño claro que por su potencia y características puede corresponder a niveles correlacionables con de la Formación Ituzaingó. Esta información se verifica con las perforaciones de suministro de agua en al zona que explotan el nivel acuífero contenido por esta unidad formacional (ver 5.1) La perforación Gualeguaychú-1 presenta niveles de areniscas gruesas y gravas medias a gruesas de igual composición a la ya descripta previamente, con un aumento del grado de consolidación hacia la base (138-145 m.b.b.p.). Similar a las descriptas en las otras perforaciones presenta una mayor potencia, considerando la zona como un área tectónicamente deprimida, es esperable un aumento de espesor de las unidades en profundidad. La perforación Gualeguachú-1 (INGM, 1965) define entre los 17- 198 m.b.b.p. un intervalo similar a los descriptos en la perforación Gualeguaychu-1 de este estudio quedando comprendido esta unidad entre los 6-145 m.b.b.p.

En general es practica común en el área de estudio que las perforaciones someras (de poca profundidad) atraviesen niveles de gravas finas a gruesas con componentes clásticos de composición ígnea, granítica y clastos de sílice con espesores que oscilan entre los 20 a 60 metros, con el objeto de explotar los niveles acuíferos de esta unidad (Acuífero Ituzaingó). Estas litologías son frecuentemente asignadas la Formación Salto Chico. Se presenta a continuación el siguiente cuadro comparativo:

Perforación	F-1	C-1	Cl –1	VE –1	Gch-1	CU-1
Tramo, Prof en m.b.b.p.	0 – 47	5 (?) - 60	0 – 20	25 – 110	6-145	35 - 55
Espesor	47	55	20	85	139	20

Esta información ha sido validada con información proveniente de perforaciones para suministro de agua subterránea en la región que frecuentemente tienen como acuíferos más importantes a los comprendidos dentro de las Formaciones Ituzaingó o Salto Chico.

Grupo Punta Gorda (Iriondo, 1980)

El Grupo Punta Gorda constituye la mayor parte de la cubierta sedimentaria de tipo pampeano, que de acuerdo con Iriondo (1980), refiere este término a los sedimentos característicos de la llanura Argentina durante el pleistoceno. Posee un espesor variable de 20 a 40 metros y se la considera un Grupo porque puede separarse en unidades menores (Iriondo, 1980).

Formación Hernandarias (Reig, 1956)

Limo arcilloso de 3 metros de espesor en la localidad tipo, con finas láminas de arena se observan intercalaciones de niveles yesíferos. Esta formación constituye la cubierta cuaternaria que se extiende sobre la mayor parte de la provincia. Está constituida por limos arcillosos y arcillas limosas con proporción variable de arena fina a muy fina, distribuidas uniformemente en todo el perfil.

Se aprecian en afloramientos dos niveles que podrían constituir miembros dentro de la formación. Uno inferior más arcilloso de color gris plomizo a verdoso que contiene yeso en forma de cristales hojosos aislados. El superior tiene una coloración castaño rojizo, constituido por limos y arcillas y contiene en la cúspide concreciones calcáreas. La fracción arcilla es en sus características geomecánicas, muy expansiva y contractiva, de composición montmorillonítica.

El espesor máximo aflorante observado en las barrancas del Río Paraná, no supera los 15 m. y su extensión areal representa la mayor parte de la Provincia de Entre Ríos. Su origen se atribuye a un ambiente lacustre y palustre en clima seco y su edad por correlación con la Formación Yopí de Corrientes es Lujanense (Iriondo, 1980)

En las perforaciones del área de estudio no se muestrearon estos niveles, pero perforaciones realizadas para suministro de agua o molinos a pocos metros de las perforaciones nos permiten definir para los alcances de este estudio que los niveles que podría relacionarse con la Formación Hernandarias debieron haber sido atravesados en las perforaciones de Villa Elisa -1 y Concepción del Uruguay – 1 y Gualeguaychú-1, con espesores desde la superficie de 25 m, 35 m y 6 m respectivamente.

Formación Palmar (Gentile y Rimoldi, 1979)

Constituye una faja de 4 a 15 Km de ancho a lo largo del margen del Río Uruguay desde el norte de Entre Ríos hasta Concepción del Uruguay. En Federación y San José la misma aflora presentando estratos lenticulares de varios metros de largo y pocos metros de espesor, estratificación planar y estratos de arena intercalados de granulometría gruesa y mediana, color rojo amarillento y estratificación planar. Se le atribuye su origen como un depósito del Río Uruguay similar a los actuales y su edad no ha sido determinada (Iriondo, 1980).

4.3.1.- Unidades Litoestratigráficas y Propuesta Estratigrafía de las unidades atravesadas en los pozos de estudio Federación -1, Concordia -1, Colon -1, Villa Elisa - 1, Concepción del Uruguay 1 y Gualeguaychú -1

Interpretación de los Perfilajes de las perforaciones del área de estudio

Se ha descripto ampliamente en los apartados anteriores las litologías características de cada unidad atravesada por las perforaciones y se ha puesto especial énfasis en las perforaciones de interés. Se discutirá en lo sucesivo algunas características de los perfilajes realizados en las perforaciones Federación -1 (F-1), Concordia - 1 (C-1), Colón - 1(Cl-1) y Gualeguaychú-1 (Gchu-1) , únicas perforaciones en las cuales se ha perfilado la columna atravesada. En las perforaciones Federación – 1, Concordia - 1 y Gualeguaychú-1 se realizó un perfilaje que incluyó SP (potencial Espontáneo), Gamma Natural y Resistividad (Normal corta, media y larga).

En Colón-1 se incluyó además un perfilaje Sónico. En todos los casos se llego hasta el fondo de pozo. el objetivo de los mismos era en apoyo del estudio hidrogeológico, tratado en detalle en los capítulos siguientes, pero es posible extraer de esta información algunas interpretaciones

relacionadas con la litología de las formaciones atravesadas como apoyo a las unidades estratigráficas y litoestratigráficas.

Los niveles postbasálticos atravesados en las perforaciones no han sido registrados en los perfilajes debido a su ausencia en el registro o bien en el caso de Colón-1 que las técnicas de perforación demandaron encamisar estos niveles antes de perforar los niveles subyacentes. Por lo tanto, solo los niveles basálticos y prebasálticos han sido perfilados por considerarse estos los niveles productores. La única excepción lo constituye la perforación Gualeguaychú-1 que solo tenia encamisado los primeros 100 m.b.b.p. en el momento del perfilaje permitiendo obtener información de gran parte de las sedimentitas postbasálticas.

En las secuencias atribuibles a la Formación Serra Geral la composición litológica de la columna alterna niveles de rocas basálticas, areniscas y arcillas; estas ofrecen un buen contraste de parámetros geofísicos que facilita la identificación de los límites de dichas variaciones o intercalaciones. La litología de composición basáltica (Formación Serra Geral, Miembro Posadas) presenta valores de resistividad superiores a 100 ohmm, característicos de rocas ígneas, en las tres perforaciones con valores de emisión gamma natural del orden de 30°API si bien no se ha publicado estos índices para otros pozos en la cuenca su valor es constante y presenta coincidencia con el muestreo litológico.

De igual forma la respuesta resistiva de las intercalaciones de areniscas y lutitas (Formación Serra Geral, Miembro Solari) presenta valores de resistividad más variables, aunque siempre inferiores a los anteriores. Para la perforación Federación - 1 oscila en valores medios entre de 10-25 ohm.m, para la perforación de Concordia - 1 oscila en valores medios entre de 8-20 ohm.m, Colón - 1 oscila en valores medios entre de 8-25 ohm.m. y en Gualeguaychú-1 oscilan entre 5 – 7 ohm.m, en todos los casos la respuesta de gamma natural es de 40-70° API.

Estos valores son valores medios de resistividad referidos a posibles intervalos clásticos tienen correspondencia en los valores de conductividad de las aguas que contienen, (considerese que estas son medidas en boca de pozo, ver 5.2). Sin embargo, los valores por encima de 15 ohm.m, son un poco elevados y no se descarta cierto grado de incipiente de diagénesis que puede aumentar la cementación de las areniscas o pequeñas intercalaciones de arcilla y arenas con participación de material más fino cuando estos coinciden con picos de emisión gamma.

En base a lo expuesto se definen los siguientes criterios de interpretación que pueden tenerse presentes en futuras perforaciones.

- El perfilaje múltiple realizado permite definir claramente en las perforaciones Federación - 1 Concordia – 1, Colón -1 y Gualeguaychú-1, los niveles de cuerpos arenosos intercalados en las coladas basálticas (Miembro Solari). (Ver perfilajes ANEXO I). Estas zonas se caracterizan por una disminución en el valor de resistividades y un aumento de la emisión gamma natural.
- Resuelve satisfactoriamente el limite o contacto entre distintas coladas vinculado con niveles de arcilla producto de la propia alteración del basalto. Correspondería a niveles de espesor inferior a 5 metros con poca separación entre las curvas resistivas con gran contraste de emisión gamma natural.
- La zonas de intensa fracturación donde los fluidos presentan otro comportamiento resistivo se resuelven con dificultad si no se posee perfilaje sónico, esto solo fue posible en la perforación Colón -1. El desacople de la señal intensifica su respuesta caracterizando dichos niveles, su coincidencia con los criterios previos pueden definir zonas de aporte a partir de fracturas.

En la perforación Federación -1 (F-1) en el tramo de estudio comprendido desde los 125 - 1260 m.b.b.p. corresponde a las unidades de composición basáltica y las areniscas interestratificadas y subyacentes a las primeras (Formación Serra Geral, Botucatú y Piramboiá).

En el tramo entre 125 - 871 m.b.b.p., (el tramo entre 47 - 125m.b.b.p. fue encamisado previamente) el mismo presenta parámetros resistivos y gamma natural que coinciden con las

diferencias litológicas citadas previamente durante el muestreo. Posee en general valores resistividad de la normal corta y larga ligeramente distanciados probablemente vinculada a la fracturación de la roca basáltica. Se observan a intervalos irregulares una caída de los valores de resistividad y aumento de la emisión gamma natural, dicho registro puede interpretarse como las intercalaciones de arenisca del Miembro Solari, la fracturación de la sección basálticas (Miembro Posadas) puede ser otra causa pero en la perforación de Colón se contó con información para descartar esta hipótesis. Dado que no fue posible obtener recortes de perforación de estos intervalos, las intercalaciones se interpretan a partir de la respuesta resistiva y gamma del perfilaje, debiendo considerase esto como una limitación de la interpretación. A continuación se presentan en la tabla las profundidades y alturas sobre el nivlel del mar de las posibles intercalaciones del Miembro Solari en la perforación Federacíon-1:

Metros desde boca de pozo	Metros sobre el nivel del mar	Espesor en metros
170-177	-127 /-134	7
190-204	-147 /-161	14
290-314	-247 /-271	24
375-381	-332 /-338	6
444-454	-401 /-411	10
482-491	-439 /-448	9
512-543	-469 /-500	31
575-597	-532 /-555	23
652-675	-609 /-632	23
737-746	-694 /-703	9
766-777	-723 /-734	11
790-800	-747 /-757	10
810-871	-767 /-828	61
Total		**238**

Tabla N°13. Profundidades y espesores de las posibles intercalaciones clásticas en base al perfilaje de la perforación Fedración-1

La perforación Concordia -1 (C-1) en el tramo de estudio comprendido desde los 725 - 1170 m.b.b.p. corresponde a las unidades de composición basáltica y las areniscas interestratificadas y subyacentes a las primeras (Formación Serra Geral, Botucatú y Piramboiá). En el tamo entre 725 - 967 m.b.b.p. el mismo presenta parámetros resistivos y gamma natural que coinciden con las diferencias litológicas citadas previamente durante el muestreo para la Formación Serra Geral, si bien el techo de la misma está a 60 m.b.b.p. la intensa fracturación y el riesgo de derrumbe obligaron a encamisar y perfilar la sección inferior a 725m.b.b.p. En base al mismo criterio interpretativo que en la perforación de Federación - 1, a continuación se presentan en la tabla las profundidades y alturas de las posibles intercalaciones del Miembro Solari:

Metros desde boca de pozo	Metros sobre el nivel del mar	Espesor en metros
766-779	-728/-741	13
819-828	-781/-790	9
846-871	-808/-833	25
916-927	-878/-889	11
934-941	-896/-903	7
948-953	-910/-915	5
957-962	-919/-924	5
Total		**75**

Tabla N°14. Profundidades y espesores de las posibles intercalaciones clásticas en base al perfilaje de la perforación Concodia-1

Las perforaciones de Federación en el tramo 871-1260 m.b.b.p. y Concordia en el tramo 967-1171m.b.b.p. presentan una respuesta resistiva y de gamma natural que se corresponde con el muestreo litológico de la sedimentitas prebasálticas. En la perforación de Federación los valores resistivos en el tamo comprendido entre 871-1185m.b.b.p. son muy constantes en el orden de 15-20 ohm.m. Esto se corresponde en la perforación de Concordia en el tramo entre 967-1120m.b.b.p. y se interpretan en base al muestreo litológico como areniscas saturadas con aguas de buena calidad (ver Cap 5). Su valor resistivo es de un orden de magnitud similar a las intercalaciones de arenas interbasáltica, lo que coincide con la interpretación realizada en el tramo de composición basáltica. Estos últimos tramos se considera atribuibles a la Formación Botucatú (Rivera).

El tramo inferior a 1185 m.b.b.p. en la perforación de Federación y 1120 m.b.b.p. en la perforación de Concordia presenta un aumento de la emisión gamma natural y se corresponde con niveles de composición limo-arcillosa o limo-arenosa en el perfil litológico siendo más frecuentes las intercalaciones de arcilla o la presencia de matriz más arcillosa en la frecuencia. Estos tramos hacia el final de las perforaciones se considerará atribuibles a la Formación Piramboiá (Tacuarembó)

En la perforación de Colón - 1 (Cl-1) el tramo de estudio comprendido desde los 228 - 886 m.b.b.p. correspondiente a la Formación Serra Geral. El mismo presenta dos respuestas claramente diferenciadas en los parámetros resistivos y gamma natural que coinciden con las diferencias litológicas citadas previamente. Posee en general valores de normal corta y larga ligeramente distanciados; esto nos podría indicar que puede existir una cierta permeabilidad de los niveles basálticos probablemente vinculada a la fracturación de los mismos. Este criterio tiene fundamental importancia en posteriores trabajos hidrogeológicos en el sentido de establecer el aporte de agua que eventualmente estuviera cediendo a la perforación, además la perforación Cl-1 en Colón. Otra característica importante es que en intervalos bastante irregulares se observa una caída de los valores de resistividad y aumento de la emisión gamma natural, dicho registro puede interpretarse como consecuentes de las intercalaciones de arenisca del Miembro Solari, la fracturación de la sección basálticas (Miembro Posadas) se descarta debido a que el perfil Sónico no muestra alteraciones. A continuación se presentan en la tabla las profundidades y alturas de las posibles intercalaciones

Metros desde boca de pozo	Metros sobre el nivel del mar	Espesor en metros
250-270	-231/-251	20
290-330	-271/-311	40
345-405	-326/-386	50
450-460	-431/-441	10
500-530	-481/-511	30
565-575	-546/-556	10
660-680	-641/-661	20
715-780	-696/-771	65
Total		**245**

Tabla N°15. Profundidades y espesores de las posibles intercalaciones clásticas en base al perfilaje de la perforación Colón-1

Estos niveles corresponden a niveles resistivos pueden ser interpretados como la respuesta de las intercalaciones arenosas (Miembro Solari) intercaladas en la roca de composición basáltica (Miembro Posadas). El resto del perfilaje en profundidad muestra valores de resistividad y emisión gamma muy continuos del orden de magnitud de los medidos en la roca basáltica. A diferencia con los registrados en los perfilajes de Federación y Concordia el perfilaje de Colón presenta por debajo de los 886 m.b.b.p. y hasta el fondo de pozo (1502m.b.b.p.), valores muy resistivos que llegan a los 1000 ohm.m. correspondiendo a rocas ígneas con pocas posibilidades de aportar fluidos, (Basamento Cristalino). Aunque se consideró la posibilidad de explorar el Basamento cristalino fracturado como posible acuífero fisurado de la perforación Colón-1 en función de la posible

presencia de cuarzo en filón y cuerpos intrusivos volcánicos. El perfilaje de la perforación Colón-1 demuestra las pocas posibilidades de que el mismo posea niveles de fisurados de aporte.

El perfilaje sónico realizado en Colón –1 presenta respuestas que pueden corresponder a fracturas en profundidad en la roca ígnea o, lo que es más probable, un cambio litológico relacionado con el evento subefusivo intrusivo atribuible a la Formación Serra Geral y de composición basáltico-andesítica. Esto se manifiesta entre el tramo 1250 -1265 m.b.b.p., donde se obtiene la respuesta más nítida. Esta información complementa la hipótesis de la cercanía de un "neck" volcánico en al región (Vila, 1962; Guspi, 1993). La sección inferior a los 864m.b.b.p. a partir de la interpretación del perfil sónico posee intervalos, pero de características diferentes al anterior, por su poco espesor y su geometría pueden considerarse zonas con pequeñas fracturas o discontinuidades en la roca.. Estos niveles de interés aparecerían muy bien representados en las siguientes profundidades en la perforación Colón-1:

Metros desde boca de pozo	Metros sobre el nivel del mar	Espesor en metros
910-915	-891/-896	5
1125-1130	-1106/-1111	5
1150-1160	-1131/-1141	10
1250-1265	-1231/-1246	15
Total		**40**

Tabla N°16. Profundidades y espesores de la respuesta sónica de los tramos con posibles fracturas o discontinuidades en base al perfilaje de la perforación Colón-1.

Litológicamente esta determinación de la fracturación es importante considerando que es frecuente en los recortes de perforación a lo largo del perfil de la perforación Colón –1 encontrar venillas de cuarzo e incluso sulfuros asociados (pirita o calcopirita) que han recristalizado, posiblemente relacionado con un evento póstumo del episodio efusivo, sobre las fracturas y oquedades de la roca original. (Silva Busso, 1996. Inédito).

En la perforación de Gualeguaychú- 1 (Gchu-1) el tramo de estudio comprendido desde los 125 - 473 m.b.b.p. es atribuible a la respuesta de las Sedimentitas Post-basálticas en clara coincidencia con la información litológica obtenida de los recortes de pozo. En este tramo se identifican diferentes contrastes resistivos y variaciones en la emisión gama natural que han sido relacionados y atribuidos a las variaciones litológicas más significativas de la columna. Esta interpretación puede considerarse una primera aproximación, no es determinante y esta sujeta a modificaciones a partir de la información de futuras perforaciones en al zona debido a la falta de garantía en la representatividad de las muestras de pozo (Benitez con.ver.,1999). pueden resumirse según:

Tramo (m.b.b.p.)	Resistividad Ohm.m	Gamma Natural °API	Litología (dominante)	Unidad Formacional Inferida
100-145*	20 – 50	30	Gravas a arenas	Ituzaingó y/o Salto Chico
145 – 380	2 – 6	30 –60	Limos –arcillosos	Fray Bentos
380 – 473	7 – 12	30	Arenas arcillosas	Puerto Yeruá

** Corresponde solo al tramo perfilado pero puede extenderse hasta los 6 m.b.b.p.*

Tabla N°17. Relación entre la respuesta resistiva y gama natural con la litología en la Perforación Gualeguaychú-1

Este criterio se consideró para determinar los pases Formacionales de las unidades atravesadas citadas en el apartado anterior. El tramo comprendido entre 473 – 727 m.b.b.p. correspondiente a la Formación Serra Geral presenta, al igual que en las perforaciones anteriores, dos respuestas claramente diferenciadas en los parámetros resistivos y gamma natural que coinciden

con las diferencias litológicas ya citadas. A continuación se presentan en la tabla las profundidades y alturas de las posibles intercalaciones

Metros desde boca de pozo	Metros sobre el nivel del mar	Espesor en metros
600 – 615	-593 /– 608	15
667 -673	-660 /– 666	6
685 – 690	-678 /– 683	5
Total		**26**

Tabla N°18. Profundidades y espesores de las posibles intercalaciones clásticas (M. Solari) en base a los perfilajes de las perforaciones

Se observa en intervalos irregulares una caída de los valores de resistividad y aumento de la emisión gamma natural ya explicados como consecuentes de las intercalaciones de arenisca del Miembro Solari. Entre los 727-980 m.b.b.p. el perfilaje muestra valores de resistividad entre 2 a 5 ohm.m y emisión gamma entre 90 a 120 °API ambos muy continuos en toda la secuencia, eventualmente varían solo entre los 797 – 802 m.b.b.p. alcanzando al misma respuesta que las rocas efusivas y coincidiendo con los datos de perforación que describen un cuerpo intrusivo subefusivo a esa profundidad. El orden de magnitud de los medidos en las secciones inferiores de esta perforación no se corresponden con los valores de las areniscas intercaladas en la Formación Serra Geral y si coinciden con los medidos en los pozos de Federación –1 (1185-1260 m.b.b.p.) y Concordia-1 (1120-1170 m.b.b.p.) que corresponden a sedimentos limo arcillosos, (pudiendo intercalar niveles arenosos de poca potencia) atribuibles a la Formación Piramboiá.

En todos los casos las curvas de SP no son lo suficientemente resolutivas para definir alguna de las características antes citadas, más allá del hecho que evidencian variaciones de los valores de potencial es que se deba muy probablemente a variaciones litológicas en rocas clásticas pero esto ultimo es solo una aproximación. Se realizo también en la perforación de Colón un perfilaje Sónico que permite hacer notar la fracturación de la cubierta basáltica cuya interpretación se tratará en el capítulo 5.

Comentarios sobre las Unidades Litoestratigráficas y estratigrafía del área de estudio

De acuerdo a lo expuesto en los apartados anteriores se propone aquí, la correlación de los niveles geológicos atravesados por las perforaciones profundas de la provincia antes citadas. Los criterios de correlación son básicamente litoestratigraficos y deben considerarse como tales.

Si bien otras características geológicas en áreas de afloramiento permiten una mejor interpretación y correlación de las unidades entre si, en la margen occidental del Río Uruguay no afloran los niveles prebasálticos y los afloramientos de roca basáltica son muy restringidos.

Los niveles postbasálticos de edades anteriores al Plio-pleistoceno afloran en las márgenes del Río Uruguay en la banda costera comprendida desde Puerto Yeruá, Colón, Concepción del Uruguay hasta Gualeguaychú (Tófalo, 1986). Los niveles Plio-pleistocenos hasta el reciente afloran en la costa del Río Uruguay desde Gualeguaychú hasta la Provincia de Corrientes y las quebradas de los arroyos afluentes (Gentili y Rimoldi, 1979).

Debe considerarse aquí que las unidades atravesadas se definen a partir de las perforaciones mencionadas con las consecuentes limitaciones o criterios de interpretación que esto implica. La Formación Ituzaingó y la Formación Salto Chico se las considera en conjunto por su semejanza litológica y su posición estratigráfica a los efectos de este estudio, sin embargo, es importante mencionar que estas unidades se encuentran en estudio y revisión y es posible que se trate de variaciones faciales o ciclos fluviales del mismo evento sedimentario. Con igual criterio y de acuerdo con revisiones de Herbst et al. (1985), la denominación "Formación Fray Bentos", incluirá en

el área de estudio a las Formaciones Arroyo Castillo (Herbst, 1971) y Arroyo Avalos (Gentili y Rimoldi, 1979).

La Formación Puerto Yeruá (De alba y Serra, 1959) que aflora en las localidades de Salto Chico, Puerto Yeruá, Cueva del Tigre, Nueva Escocia, Paso Hervidero y Colon (Gentili y Rimoldi, 1979) ha sido difícilmente identificada en las perforaciones descriptas previamente, considerando los puntos de afloramiento citados era previsible hallarla en profundidad en las perforaciones de Colón, Villa Elisa y Concepción del Uruguay. Sin embargo es posible que debido a su diversa litología y el hecho de contener material retrabajado de la Formación Serra Geral, (Tófalo, 1986) ha dificultado su reconocimiento en los recortes de perforación .

En este estudio se optará por la interpretación que haga prevalecer el criterio de que la geología de superficie permite una base más segura en la interpretación de las unidades que los recortes de perforaciones tan distantes. La Formación Serra Geral, (Hausen, 1919), Arapey (Bossi, 1966) o Curuzú Cuatiá, (Gentile y Rimoldi, 1979) que comprenderán aquí el Miembro Solari (Herbst, 1971) debe considerarse una unidad litoestratigráfica característica de gran significado hidrogeológico, por lo tanto, se empleara el termino de Formación Serra Geral (explicado anteriormente 4.2) por considerarse previo a los anteriores, nombrada así en Brasil donde fue reconocida y definida previamente en áreas de afloramiento. El mismo criterio se sugiere con las areniscas prebasálticas, este estudio empleara los términos de Formación Botucatú (en Brasil Walther, 1911; en Argentina Castellanos, 1965) y Formación Piramboiá (Florencie y Pacheco, 1929) por considerarse previos a los términos Rivera (Herbst y Ferrando, 1988) y Tacuarembó (Falconer, 1931), los mismos se han diferenciado en las perforaciones de Federación (F-1) y Concordia (C-1).

La correlación de los niveles basálticos y prebasálticos se trataran en lo sucesivo con más detalle. En la siguiente tabla se expone una propuesta estratigráfica para el área de estudio con las profundidades de los pases formacionales reconocidos en cada perforación (en metros bajo boca de pozo) representadas luego en el cuadro estratigráfico para el área de estudio.

Unidad Formacional. Nomenclatura propuesta	Federación - 1 Profundidad en m.b.b.p..	Concordia - 1 Profundidad en m.b.b.p.	Colón - 1 Profundidad en m.b.b.p.	Villa Elisa - 1 Profundidad en m.b.b.p.	Concep. del Uruguay - 1 Profundidad en m.b.b.p.	Gualeguaychú -1 Profundidad en m.b.b.p.
Hernandarias	--- ---	0m 5m	---	0m 25m	0m 35m	0m 6m
Ituzaingó-Salto Chico	0m 47m	5m 60m	0m 20m	25m 110m	35m 55m	6m 145m
Paraná	--- ---	--- ---	--- ---	110m 250m	--- ---	---
Fray Bentos (Avalos y Castillo)	---	---	20m 140m	250m 310m	55m 218m	145m 380m
Puerto Yeruá	---	---	140m 228m	310m 348m	218m 287m	380m 473m
Serra Geral (Miembro Solari)	47m 872m	60m 972m	228m 886m	348m 982m	287m 651m	473m 727m
Botucatú (Rivera)	872m 1185m	972m 1121m	---	982m 1030m*	---	---
Piramboiá (Tacuarembó)	1185m 1260m*	1121m 1170m*	---	-?-	---	727m 980m
Basamento Cristalino	.?	.?	886m 1502m*-	.?	651m 1250m*	980m 988m*

*Fondo de perforación

Tabla N°19.- Cuadro estratigráfico propuesto para las perforaciones profundas del litoral oriental entrerriano en metros desde boca de pozo.

El georeferenciamieto de las perforaciones se realizó con un posicionador satelital que no dispone de un adecuado elipsoide para la detrminación de alturas relativas. Dado que la posición altimétrica tiene más relavancia en este estudio que su ubicación geografica; condierando que una indeterminación de 10 metros en la posición geográfica no afecta las interrpetaciones regionales a esta escala de trabajo.

Consecuentemente, las alturas sobre el nivel de mar (cota topográfica) de los límites formacionales definidos anteriormente que se describen en el siguiente cuadro, se han calculado a partir de la topografía sobre la base de la altitud de la cartografía disponible por el IGM en las hojas, (escala 1:50000), correspondientes a cada perforación y corregida o ajustada, donde fue necesario, con el empleo de altímetro de precisión en cada perforación:

Unidad Formacional. Nomenclatura propuesta	Federación - 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.	Concordia – 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.	Colón - 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.	Villa Elisa - 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.	Concep. del Uruguay - 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.	Gualeguaychú - 1 Cota del Intervalo techo-base en m.s.n.m.
Hernandarias	--- 	38 32	--- 	45 20	20 -15	7m -1m
Ituzaingó-Salto Chico	43 -4	32 -23	19 -1	20 -65	-15 -35	-1m -138
Paraná	--- 	--- 	--- 	-65 -205	--- 	---
Fray Bentos	--- 	--- 	-1 -121	-205 -265	-35 -198	-138m -373m
Puerto Yeruá	--- 	--- 	-121 -209	-265 -303	-198 -267	-373m -466
Serra Geral	-4 -829	-23 -935	-209 -867	-303 -937	-267 -631	-466m -720m
Botucatú (Rivera)	-829 -1142	-935 -1084	--- 	-937 -985*	 	---
Piramboiá (Tacuarembó)	-1142 -1217*	-1084 -1133*	--- 	--- 	 	-720m -973m
Basamento Cristalino	 	 	-867*	 	-631*	-973*

*Fondo de perforación

Tabla N°20.- Estratigráfico propuesto para las perforaciones profundas del litoral oriental entrerriano. Alturas de techo y base referidas al nivel del mar

El espesor de las unidades identificadas en las perforaciones se resume en el siguiente cuadro:

Unidad Formacional.	Federación - 1 Espesor en m	Concordia –1 Espesor en m	Colón - 1 Espesor en m	Villa Elisa - 1 Espesor en m	C. del Urug. - 1 Espesor en m	Gualeg.-1 Espesor en m
Hernandarias	---	6	---	25	35	6
Ituzaingó - Salto Chico	47	55	20	85	20	139
Paraná	---	---	---	140	---	---
Fray Bentos	---	---	120	60	163	235
Puerto Yeruá	---	---	88	38	69	93
Serra Geral	825	912	658	634	364	254
Botucatú (Rivera)	313	149	---	48*	 	---
Piramboiá (Tacuarembó)	75*	49*	---	---	 	253

*Fondo de perforación

Tabla.N°21.- Espesores de las unidades descriptas

Las perforaciones o perforaciones fuera del área de estudio se consideraran solo en los tramos de importancia para el presente trabajo. El criterio empleado y que se desprende de las interpretaciones realizadas por las diversas Instituciones (YPF, Inédito; INGM, 1958, 1965, 1970, para la diferenciación de las unidades sedimentarias supuestas prebasálticas y post-basalticas (tal vez a excepción del pozo Nogoyá -1), es fundamentalmente litológico y se resume en las siguientes características distintivas:

- Identificación y clasificación de las vulcanitas de la formación Serra Geral (cuando fue posible).
- Características texturales de las sedimentitas en las secuencias consideradas
- Aspectos mineralógicos de las unidades consideradas
- Presencia de matriz ferruginosa aglutinante en las sedimentitas de las diferentes unidades y/o ausencia de cemento carbonático.

Las descripciones de estas perforaciones se presentan en el capítulo 4 de este estudio y ya se han discutido en el capítulo 3, por lo tanto resumiremos aquí las altitudes sobre el nivel del mar de las unidades de interés a los efectos de que sirvan de ayuda en la correlación con las perforaciones de Federación, Concordia, Colón, Villa Elisa y Concepción del Uruguay. La siguiente tabla resume la información para las perforaciones mencionadas

Unidad Formacional. Nomenclatura propuesta	Nogoyá N°1			Est. Estacas			Gualeguay N°4		
	T	B	E	T	B	E	T	B	E
Serra Geral (Miembros Posadas y Solari)	-566	-1356	790	-325	?	?	-490	?	?
Botucatú (Rivera)	-1356	-1764	408	---	---	---	---	---	---

Unidad Formacional. Nomenclatura propuesta	Villa Ramírez N°1			Guaviraví N°1			Posadas N°1			Yofré N°1		
	T	B	E	T	B	E	T	B	E	T	B	E
Serra Geral (Miembros Posadas y Solari)	-661	?	?	31	-80	111	102	?[1]	?[1]	34	?[2]	?[2]
Botucatú (Rivera)	---	---	---	-80	?[3]	?[3]	---	---	---	---	---	---

? La perforación termino en el techo de la Formación Serra Geral. ?[1] La perforación termino en la cota de -358 m.s.n.m luego de atravesar 458m de espesor de las vulcanitas sin llegar a su base ?[2] La perforación termino en la cota de 12 m.s.n.m luego de atravesar 22m de espesor de las vulcanitas sin llegar a su base ?[3] La perforación termino en la cota de -646 m.s.n.m luego de atravesar 566m de espesor de las areniscas sin llegar a su base.

Tabla.N°22.- Altura y Espesores de las unidades descriptas en las perforaciones previas en la Prov. de Entre Ríos. (las Siglas T, B y E corresponden a las cotas en m.s.n.m., del Techo, Base y Espesor sucesivamente)

En resumen (ver cuadro estratigráfico) para cumplir con el objetivo de este trabajo y para el área de estudio se considerará Formación Piramboiá representada por los niveles limos y limos - arcillosos rojizos que se encuentran mejor representados en el subsuelo de la región en los tramos comprendidos entre los 727 – 980 m.b.b.p. en la perforación Gauleguaychú-1, (donde se atraviesa de techo a base), en el tramo 1185-1260 m.b.b.p. en la perforación Federación -1 y en el tramo 1120-1171 m.b.b.p. en el pozo Concordia –1. La Formación Botucatú queda representada en el área de estudio por las unidades clásticas cuya litología ya fuera expresada en los apartados correspondientes como niveles de arenisca fina a muy fina o media de color rojizo a rosa pálido e incluso de tonos ocre y amarillento. En el subsuelo responde a los tramos comprendidos entre los 872 - 1185 m.b.b.p. para la perforación

Federación -1, entre 972 - 1120 m.b.b.p. para la perforación Concordia -1 y el tramo comprendido correspondiente en la perforación Villa Elisa -1. Regionalmente estas unidades varían reduciendo su espesor en sentido Norte - Sur hasta la perforación de Colón-1, desde esta última y hacia el sur aproximadamente sobre el margen del Río Uruguay la misma no está representada en profundidad. Confirmado por el hecho de que en la perforación de Concepción del Uruguay no atraviesa estos niveles (Ver cuadros 16-19) más hacia el sudoeste la perforación Gualeguaychú –1 presenta niveles que se corresponden con la Formación Piramboiá, lo que confirma la afirmación. Hacia el Norte de Federación -1 hasta la perforación Guaviraví - 1 los espesores parecieran conservarse en el mismo orden de magnitud pero las profundidades de la unidades son más someras (ver tablas 20 ,21 y 22). En sentido Este - Oeste las unidades prebasálticas se profundizan hacia la zona central de la Provincia de Entre Ríos y en particular hacia la perforación Nogoyá -1 de YPF. Si bien, los espesores son más conservativos y comparablemente similares a los pozos de las ciudades costeras del Río Uruguay. En la Provincia de Corrientes desde Guaviraví - 1 hacia el oeste no existe ninguna perforación profunda, los afloramientos de areniscas descriptos previamente por Herbst (1971) corresponden al miembro Solari de la Formación Serra Geral, como veremos luego, pero las prospecciones profundas realizadas con métodos geoeléctricos en la localidad de San Javier, (a 20 Km al sur de Curuzú Cuatiá, Corrientes) indicarían que el espesor de los niveles resistivos atribuibles a los basaltos es del orden de 800 metros desde la superficie (ver apartado 5.2.2). De considerarse esta interpretación las unidades correspondientes a los depósitos prebasálticos se profundizarían en sentido Este - Oeste al igual que la zona de estudio. (ver perfiles anexos)

La Formación Serra Geral integrada por el complejo efusivo y rocas clásticas intercaladas entre las rocas efusivas. Por extensión se comprenderá como Formación Serra Geral los cuerpos intrusivos diabásicos relacionados con este complejo volcánico y/o rocas o mineralizaciones relacionadas con este evento efusivo. Se considera conveniente debido a la dificultad existente con la información disponible de establecer el límite de los diferentes eventos efusivos y su correcta relación estratigráfica con las unidades clásticas intercaladas, como se ha expuesto en los cuadros 20 y 21 de este capítulo y en el apartado 4.2.4. Esta Formación comprende a dos miembros formacionales, los Miembros Posadas y Solari (Gentile y Rimoldi, 1979). El Miembro Posadas (Gentile y Rimoldi, 1979) como ya se ha expresado en los apartados correspondientes, esta definido incluyendo las rocas del complejo efusivo volcánico sin determinar relación alguna entre las mismas más allá de las definidas por sus autores. El miembro Solari (Herbst, 1971) comprende solo a la fracción clástica de la Formación Serra Geral, criterio que se considerara extensible a subsuelo de la región. En las perforaciones y en particular en los perfilajes se observa que la cantidad de niveles intercalados y sus profundidades varían pero sus espesores oscilan entre los 10 metros los menos potentes y difícilmente superan los 50 metros de espesor . La Formación Serra Geral posee espesores y profundidades de techo y base muy variables como puede observarse en las perforaciones de la región y en los mapas estructurales correspondientes (capítulo 7, 7.1.3 al 7.1.6). La misma aumenta su potencia hacia la zona de la perforación Concordia -1 alcanzando por lo menos 912 metros de espesor , el mismo disminuye hacia el noreste hasta la perforación Guaviraví - 1 con 111 metros de espesor y acuña hacia el sur en la perforación de Colón –1 con 634 metros, Concepción del Uruguay - 1 con 364 metros y Gualeguaychú con 254 metros de espesor. En sentido Este - Oeste los niveles basálticos se profundizan en dirección al pozo Nogoyá - 1 de YPF pero no reducen significativamente su espesor , las perforaciones Gualeguay - 4, Estacas -1, Villa Ramírez - 1 muestran que el meláfiro interpretado como el techo de la Formación Serra Geral también se profundiza hacia el Río Paraná. En Corrientes y hacia el norte y oeste del área de estudio estas unidades afloran en una extensa región como se indica en los trabajos de Herbst, (1971); Herbst y Santa Cruz, (1985) y el mapa geológico de la Provincia de Corrientes (Herbst, et.al. 1995).

Los niveles post basálticos en el área de estudio comprenden un paquete sedimentario que en conjunto presenta variaciones laterales de importancia. Aunque este aspecto excede los alcances de este trabajo se mencionarán y correlacionarán las unidades atravesadas en subsuelo por las

Federación -1, entre 972 - 1120 m.b.b.p. para la perforación Concordia -1 y el tramo comprendido correspondiente en la perforación Villa Elisa -1. Regionalmente estas unidades varían reduciendo su espesor en sentido Norte - Sur hasta la perforación de Colón-1, desde esta última y hacia el sur aproximadamente sobre el margen del Río Uruguay la misma no está representada en profundidad. Confirmado por el hecho de que en la perforación de Concepción del Uruguay no atraviesa estos niveles (Ver cuadros 16-19) más hacia el sudoeste la perforación Gualeguaychú –1 presenta niveles que se corresponden con la Formación Piramboiá, lo que confirma la afirmación. Hacia el Norte de Federación -1 hasta la perforación Guaviraví - 1 los espesores parecieran conservarse en el mismo orden de magnitud pero las profundidades de la unidades son más someras (ver tablas 20 ,21 y 22). En sentido Este - Oeste las unidades prebasálticas se profundizan hacia la zona central de la Provincia de Entre Ríos y en particular hacia la perforación Nogoyá -1 de YPF. Si bien, los espesores son más conservativos y comparablemente similares a los pozos de las ciudades costeras del Río Uruguay. En la Provincia de Corrientes desde Guaviraví - 1hacia el oeste no existe ninguna perforación profunda, los afloramientos de areniscas descriptos previamente por Herbst (1971) corresponden al miembro Solari de la Formación Serra Geral, como veremos luego, pero las prospecciones profundas realizadas con métodos geoeléctricos en la localidad de San Javier, (a 20 Km al sur de Curuzú Cuatiá, Corrientes) indicarían que el espesor de los niveles resistivos atribuibles a los basaltos es del orden de 800 metros desde la superficie (ver apartado 5.2.2). De considerarse esta interpretación las unidades correspondientes a los depósitos prebasálticos se profundizarían en sentido Este - Oeste al igual que la zona de estudio. (ver perfiles anexos)

La Formación Serra Geral integrada por el complejo efusivo y rocas clásticas intercaladas entre las rocas efusivas. Por extensión se comprenderá como Formación Serra Geral los cuerpos intrusivos diabásicos relacionados con este complejo volcánico y/o rocas o mineralizaciones relacionadas con este evento efusivo. Se considera conveniente debido a la dificultad existente con la información disponible de establecer el límite de los diferentes eventos efusivos y su correcta relación estratigráfica con las unidades clásticas intercaladas, como se ha expuesto en los cuadros 20 y 21 de este capítulo y en el apartado 4.2.4. Esta Formación comprende a dos miembros formacionales, los Miembros Posadas y Solari (Gentile y Rimoldi, 1979). El Miembro Posadas (Gentile y Rimoldi, 1979) como ya se ha expresado en los apartados correspondientes, esta definido incluyendo las rocas del complejo efusivo volcánico sin determinar relación alguna entre las mismas más allá de las definidas por sus autores. El miembro Solari (Herbst, 1971) comprende solo a la fracción clástica de la Formación Serra Geral, criterio que se considerara extensible a subsuelo de la región. En las perforaciones y en particular en los perfilajes se observa que la cantidad de niveles intercalados y sus profundidades varían pero sus espesores oscilan entre los 10 metros los menos potentes y difícilmente superan los 50 metros de espesor . La Formación Serra Geral posee espesores y profundidades de techo y base muy variables como puede observarse en las perforaciones de la región y en los mapas estructurales correspondientes (capítulo 7, 7.1.3 al 7.1.6). La misma aumenta su potencia hacia la zona de la perforación Concordia -1 alcanzando por lo menos 912 metros de espesor , el mismo disminuye hacia el noreste hasta la perforación Guaviraví - 1 con 111 metros de espesor y acuña hacia el sur en la perforación de Colón –1 con 634 metros, Concepción del Uruguay - 1 con 364 metros y Gualeguaychú con 254 metros de espesor. En sentido Este - Oeste los niveles basálticos se profundizan en dirección al pozo Nogoyá - 1 de YPF pero no reducen significativamente su espesor , las perforaciones Gualeguay - 4, Estacas -1, Villa Ramírez - 1 muestran que el meláfiro interpretado como el techo de la Formación Serra Geral también se profundiza hacia el Río Paraná. En Corrientes y hacia el norte y oeste del área de estudio estas unidades afloran en una extensa región como se indica en los trabajos de Herbst, (1971); Herbst y Santa Cruz, (1985) y el mapa geológico de la Provincia de Corrientes (Herbst, et.al. 1995).

Los niveles post basálticos en el área de estudio comprenden un paquete sedimentario que en conjunto presenta variaciones laterales de importancia. Aunque este aspecto excede los alcances de este trabajo se mencionarán y correlacionarán las unidades atravesadas en subsuelo por las

perforaciones en el área. La secuencia correspondiente a la Formación Puerto Yeruá (De Alba y Serra, 1959; Tófalo, 1986) se encuentra representada por areniscas finas silicificadas poco consolidadas, de coloración gris blanquecina, presenta clastos redondeados de composición cuarzosa tamaño grava fina e intercalan con areniscas muy finas en matriz arcillosa castaño rojizo - gris blanquecino. En el área de estudio la misma, como ya se ha expuesto en los apartados correspondientes, ha sido atravesada por las perforaciones Colón - 1, Villa Elisa – 1, Concepción de Uruguay - 1 y Gualeguaychú-1 (ver cuadro 20 y 21); sus espesores varían entre 38 -93 metros profundizándose hacia el oeste y sur. En la perforación Nogoyá - 1 se describen como "Depósitos Clásticos y Carbonáticos de edad Cretácico Superior" (Chebli, Tófalo y Turzzini, 1989) y comprenderían el paquete sedimentario de 390 metros de espesor (ente 260 - 650m.b.b.p.) que incluiría a las Formaciones Puerto Yeruá, Mariano Boedo, Arroyo Castillo, Pay Ubre y la Formaciones Uruguayas Guichón, Mercedes y Asencio. La calidad de los afloramientos, los recortes de perforación y la dispersión de las mismas en la región hace difícil determinar la identificación y variación de espesores de estas sedimentitas, por lo tanto para consideraremos apropiada la interpretación de Chebli, Tófalo y Turzzini (1989) y correlacionables con los niveles por ellos definidos, asignándole a estos niveles edad Cretácico superior, aunque su edad este en discusión (Grosso et.al., 1999). La misma no se encuentra descripta en la perforaciones al norte de Colon - 1 ni en el subsuelo de la región norte de Entre Ríos y Corrientes.

La Formación Fray Bentos cuya litología está constituida por areniscas calcáreas poco consolidadas, de coloración gris blanquecina e intercalan con areniscas muy finas en matriz arcillosa castaño rojizo oscuro (ver aparados correspondientes) atravesada en la Colón - 1, Villa Elisa – 1, Concepción de Uruguay - 1 y Gualeguaychú-1 (ver cuadro 17 y 18) presenta espesores que varían entre 60 – 235 metros profundizándose hacia el oeste y aumentando al potencia hacia el sur del área de estudio. También hacia el Sudoeste, en el pozo Nogoyá - 1 se describen unidades denominadas Ciclo V de 70 metros de espesor (190 - 260 m.b.b.p.) (Chebli, Tófalo y Turzzini, 1989), similares a las sedimentitas considerados en este estudio como Formación Fray Bentos. Sedimentitas similares han sido descriptas en los pozos Villa Ramírez N°1 (tramo 324 - 771m.b.b.p.), Gualeguay N°4 (tramo 356 - 495m.b.b.p.), Estación Estacas N°1 (tramo 334 - 386m.b.b.p.) y perforaciones someras de explotación de agua subterránea como por ejemplo la. Escuela Agrotécnica en el Ejido de Colón (a 200m del Aeródromo de la Cuidad) entre los 12 - 49 m.b.b.p. en Ea La Quela (a 8km del cruce con la ruta 14); en Gualeguaychú a 52 m.b.b.p. se consideraran correlacionables entre si y con los términos y afloramientos en Corriente y Uruguay tal como lo proponen Chebli, Tófalo y Turzzini, (1989) y Tófalo, (1986). Se considerara por su relación estratigráfica una probable edad Oligo-Mioceno.

La Formación Paraná solo es atravesada por al perforación Villa Elisa –1; posee 140 metros de espesor: El hecho de ser esta la perforación profunda más hacia el oeste del área de estudio y como se analizará en el capítulo 5, ser una perforación con calidades hidroquímicas diferentes a las demás la convierte en particularmente significativa en este estudio. La aparición de sedimentitas marinas en la perforaciones profundas realizadas abona la hipótesis de que el extenso mar Paranense de poca profundidad y aguas templadas cubrió vastas áreas de la cuenca Chacoparanense (Russo et.al., 1979) y la sección occidental de la mesopotamia interdigitada con los depósitos Oligo-Miocenos de la Formación Fray Bentos (Chebli, Tófalo y Turzzini, 1989). Si bien no se describen en el pozo Nogoyá - 1 como areniscas verdosas, debido al ambiente oxidante (Chebli, Tófalo y Turzzini, 1989); se les atribuye el tramo 90 - 190 m.b.b.p. Sedimentitas similares han sido descriptas en los pozos Villa Ramírez N°1 (tramo 74 - 324m.b.b.p.), Gualeguay N°4 (tramo 95 - 356m.b.b.p.), Estación Estacas N°1 (tramo 77 - 334m.b.b.p.). Perforaciones realizadas para abastecimiento de agua subterránea en la zona de San Salvador (Ea. Arroyo Grande), Los Charrúas (Ea. el Trébol), Gualeguay (Ea. el Supremo y La Tijereta) y gran numero de lugares en la región central y sud-occidental de la Provincia de Entre Ríos realizadas por organismos públicos y empresas privadas, consideran los niveles arcillosos del techo de esta unidad como el basamento

hidrogeológico de la cuenca y evidencian su extensión en la zona centro-occidental de la provincia desde la traza de la Ruta 14 aproximadamente hacia el poniente. En la Provincia de Corrientes la Perforación INCyTH - 1 (Corrientes) atravesó 68 metros de espesor y como ya se ha expuesto aflora en la costa de la ciudad de Paraná en Entre Ríos. La misma no ha sido identificada en la perforaciones cercanas al Río Uruguay, al este de la Ruta 14 o en las cercanías de la ciudad de Gualeguaychú en un radio aproximado de 25 km.

El Mioceno marino de la región representado por la Formación Paraná y los niveles Plio-peistocenos hasta el reciente representados por al Formaciones Ituzaingó, Salto Chico, Hernandarias, Tezanos Pintos entre otras como más representativas; exceden los alcances de este estudio. Solo debe considerarse que los mismos y en particular las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico parecen seguir la tendencia regional de profundizarse hacia la región central y occidental del área de estudio y de la provincia (Bertolini, 1989), aflorando hacia el Río Uruguay como incluso se observa en el mapa geológico de la Provincia de Entre Ríos (Bertolini, 1995).

Se incluyen los perfiles litológicos y perfilajes de cada una de las perforaciones del área de estudio condensadas (a escala gráfica) para las perforaciones de Federación –1, Concordia-1, Villa Elisa-1, Colón – 1, Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú –1 al final del capítulo.

4.3.2.- Propuestas sobre la correlación de los niveles Triásicos - Cretácicos del subsuelo de la Provincia de Entre Ríos

Correlación de los pozos en el área de estudio, con otras unidades Mesozoicas de la Cuenca Chacoparanense en la república Oriental del Uruguay y Río Grande do Sul, Brasil

En la superficie y subsuelo de Uruguay, la Formación Yaguarí (sensu Ferrando y Andreis, 1986; Neopérmico kazaniano - tartariano, Andreis et al., 1991; 120 m., Elizalde et al., 1970, Ferrando y Andreis, 1986; 163 m., Andreis et al., 1991) presenta un miembro inferior de pelitas macizas o laminadas, a veces micáceas, pocas intercalaciones de psamitas finas, raras areniscas medianas y escasos calcáreos micríticos lenticulares o concrecionales. El conjunto es verdoso, castaño y grisáceo y se hace progresivamente rojizo, violáceo y borravino. Sigue el miembro superior, que hacia arriba muestra participación y frecuencia crecientes de psamitas, principalmente feldespáticas y arcósicas y paulatino incremento de sus granometrías. Los matices también son violáceos y borravino, pero hay gradual predominio de tonos rojizos en dirección al techo, cerca del cual aparecen areniscas con estructuras lentiformes y en artesa. El contenido paleontológico de la Formación Yaguarí fue reseñado por Andreis et al. (1991).

La sucesión 1940-1810 m.b.b.p. (130 m.) de YPF Nogoyá 1 guarda similitudes con la Formación Yaguarí (120 m., 163 m.); en efecto, ambas presentan secciones inferiores de matices grisáceos, con predominio pelítico y algunos niveles micríticos, secuencias superiores distinguidas por gradual incremento de la participación psamítica hacia arriba y general pasaje paulatino de colores grises y verdosos, a rojizos, en dirección al techo. Entonces, parece razonable considerar al tramo 1940-1810 m.b.p.p. de YPF Nogoyá 1, como representativo de la Formación Yaguarí. Son aun dudosas las correlaciones del tramo de fondo 2050-2020 m.b.b.p.(30 m.), si bien ofrece algunas semejanzas con secciones superiores de las Formaciones Paso Aguiar y Melo.

Los depósitos alumbrados de 1810 a 2088 m.b.b.p. en el pozo YPF Nogoyá 1, constituirían una sucesión neopérmica incompleta. Sus rasgos sedimentarios y estratigráficos indicarían gradual predominio de condiciones transicionales y continentales en dirección ascendente. Tal tendencia al pasaje ininterrumpido de medios marinos de plataforma y litorales costaneros, a continentales, sería más amplia y generalizada; ella no sólo es manifiesta en el binomio Pérmico uruguayo "Formación Paso Aguiar o Formación Melo superior - Formación Yaguarí" y especialmente en esta última, sino también en la conspicua sucesión neopérmica (o Neopérmica - Triásica?) de la Cuenca Paranense brasileña, definida, de base a techo, por las Formaciones Serra Alta, Teresina y Río do Rasto, gran

parte de cuyo conjunto representa a las secuencias regresivas del evento marino Neopaleozoico correspondiente a las Formaciones Palermo (Eopérmico kunguriano tardío-Neopérmico kazaniano temprano), e Iratí (Neopérmico kazaniano). La Formación Serra Alta (Neopérmico kazaniano - tartariano, Barros França y Potter, 1988, 1991, Milani et al., 1994; 100 m., Milani et al., 1994) se compone de limolitas grises azuladas, con bajo contenido de materia orgánica y lutitas grises oscuras; a veces, con nódulos calcáreos silicificados. La Formación Teresina (Neopérmico tartariano, Barros França y Potter, 1988, 1991, Milani et al., 1994; 850 m., Milani et al., 1994) se halla integrada por pelitas, a menudo micáceas, grises claras, verdosas, a veces rojizas; acompañan micritas y margas verdosas a grises azuladas y numerosos bancos y lentes alternantes de ftanitas y algunos niveles de calizas oolíticas. Hacia arriba, aumenta la participación psamítica y aparecen matices rosados, rojizos, rojizos violáceos, mejor definidos y estratificación entrecruzada de pequeña escala. Próximas al tope, pueden observarse concreciones calcáreas, calizas oolíticas y bancos de coquinas. Finalmente, la Formación Río do Rasto (Neopérmico tartariano, Daemon y Quadros, 1969, Gama Jr. et al., 1982; Barros França y Potter, 1988, 1991; Triásico, Milani, 1992, Milani et al., 1994; 650 m., Milani et al., 1994) reúne limolitas y arcilitas rojizas claras y lutitas rosadas, verdosas y rojizas. Hacia arriba, crece gradualmente la contribución de psamitas de tonos rojizos, a veces con estratificación lentiforme y estructuras en artesa, bien visibles cerca del techo.

En el Estado de Paraná (Brasil), a unos 100 m. debajo de su techo, la Formación Río do Rasto ofreció restos de anfibios laberintodóntidos tartarianos (Barberena y Daemon, 1974; Soares, 1981). Igual cronología indican los saurios brindados por depósitos conferibles a la Formación Río do Rasto, aflorantes en Río Grande do Sul (Brasil), cerca de Uruguay (Araujo, 1982). Así, por lo menos parte de esta unidad sería tartariana. Carecerían de edad evidente sus aludidos 100 m. más altos, sobrepuestos a los niveles con reptiles. Milani et al. (1994), fundado no sólo en relaciones de espesores y tasas de sedimentación según dominios tectónicos (Cunha y França, 1993), sino también en estudios paleobiológicos (Ragonha, 1984; Daemon et al., 1991), consideraron posible que secciones superiores del par Formación Teresina-Formación Río do Rasto pertenecieren al Triásico, como lo muestran sus esquemas ilustrativos, donde la última unidad nombrada se halla totalmente comprendida en el Triásico inferior a medio (Scitiano-Anisiano). Quizás sólo sean Triásicos parte de los depósitos más altos de la Formación Río do Rasto, incluidos en esos 100 m. superiores sin fósiles. Semejanzas litológicas, estratigráficas y secuenciales sugieren que el tramo 1860-1810 m.b.b.p. del pozo YPF Nogoyá 1 puede correlacionarse no sólo con el miembro superior de la Formación Yaguarí de Uruguay, si no también al menos con parte de la Formación Río do Rasto. En la misma perforación, las sedimentitas comprendidas entre 1940 y 1860 m.b.b.p. representarían a secciones superiores de la Formación Teresina.

En la columna atravesada por el pozo YPF Ordóñez 1 (SE de la Provincia de Córdoba), Peroni (1976) definió la Formación Ordóñez (Neocarbónico estefaniano-Neopérmico kazaniano, Vergel, 1993; 1540 m., Russo et al., 1980) y la concordantemente sobrepuesta Formación Victoriano Rodríguez (Neopérmico kazaniano-tartariano, Vergel, 1993; 660 m., Russo et al., 1980). Esta última se compone de limolitas, arcilitas micáceas y areniscas, cuyo conjunto muestra colores grises y morados y tonos rojizos hacia arriba, visiblemente dominantes cerca del techo de la unidad. Los depósitos de la sección 2088-1810 m.b.b.p. del pozo YPF Nogoyá 1, muestran algunos parecidos con la Formación Victoriano Rodríguez, a cuyas partes más altas representarían parcialmente.

Por proximidad geográfica, la estratigrafía mesozoica prebasáltica uruguaya, aflorante y de subsuelo, ofrece elementos de juicio válidos para la comparación con las regiones Mesopotámicas en general y entrerriana en particular. En el Noreste de Uruguay, las secuencias fluviales de la Formación Buena Vista se apoya concordantemente sobre la Formación Yaguarí. Esta relación de yacencia indica edad post-pérmica para la Formación Buena Vista. Analogías sedimentarias y de situación estratigráfica relativa, más algunos restos óseos de saurios, permitieron proponer la equivalencia cronológica de la Formación Buena Vista con la Formación Sanga do Cabral, de Río Grande do Sul (Andreis y Ferrando, 1982; Ferrando y Andreis, 1982, 1986). Esta última fue atribuida al Triásico

inferior por sus tetrápodos (Barberena et al., 1981). Luego, la misma edad correspondería a la Formación Buena Vista, del Uruguay.

De base a techo, la sucesión fluvial y eólica "Formaciones Buena Vista (Eotriásico)-Cuchilla Ombú (Triásico medio a superior, Ferrando y Andreis, 1986)-Tacuarembó (sensu Andreis et al., 1991; Neotriásico, Herbst y Ferrando, 1985; Neotriásico-Eojurásico)-Rivera (Eojurásico-Neojurásico temprano)" (200-210 m. de espesor total?) representaría, según conceptos actuales, al registro gondwánico triásico-jurásico más completo del Uruguay. Sin discontinuidades demasiado ostensibles, el conjunto se asienta sobre depósitos fluviales del techo de la Formación Yaguarí (Pérmico superior tartariano) y subyace a basaltos neojurásicos-eocretácicos. Aceptable posición estratigráfica equivalente, semejanzas litológicas y contenido microfaunístico orientativo, pero dudoso y no definitorio (Herbst y Zabert, 1989, 1990), hacen correlacionables la totalidad indiferenciada del tramo 1810-1440 m.b.b.p. (370 m.) del pozo YPF Nogoyá 1 y el conjunto de la sucesión mesozoica uruguaya aludida.

Asimismo, algunos antecedentes, analogías sedimentarias, similares ordenamientos estratigráficos y coherentes interpretaciones paleogeográficas, sostienen la equivalencia de gran parte de la sección 1810-1440 m.b.b.p. del pozo YPF Nogoyá 1, con la totalidad del registro fluvial y eólico triásico-jurásico pre-Serra Geral de Brasil, que incluye, de base a techo, a la Formación Piramboiá, la sincrónica Formación o Grupo Rosario do Sul y sobreyaciente Formación Botucatú. De esta forma Chebli, Tófalo y Turzzini, (1989) definen como Ciclo Sedimentario II y correlacionan estos niveles del pozo Nogoyá ERN IX con el Grupo Río do Rastro. Sobre el mismo intervalo Herbst y Zabert, (1990) destaca que " se observa que en el pozo Nogoyá –1 faltan completamente los términos eólicos correspondientes a al Formación Rivera (Botucatú)" de esta forma definen que el paquete en cuestión está representado por las Formación Piramboiá y en la parte inferior se observaría la transición con el miembro inferior de la Formación Yaguarí. Más recientemente Fernández Garrasino, (1996) propone su correlación con la Formación Misiones atendiendo al perforaciones de más occidentales realizadas en al cuenca y los afloramientos en Paraguay. La Formación Botucatú citada corresponde a los registros paranenses gondwánicos más jóvenes de Brasil y constituye una de las secuencias de ambientes paleodesérticos más destacadas, a escala global. La Formación Piramboiá y la Formación o Grupo Rosario do Sul se asientan discordantemente sobre la Formación Río do Rasto. Los estudios y revisiones del variado contenido paleobiológico, llevaron a conferir la Formación Rosario do Sul al intervalo Triásico medio tardío o Triásico superior-Eojurásico, edades extensivas a la análoga Formación Piramboiá. Ambas resultan correlacionables con las acumulaciones fluviales de la Formación Tacuarembó (sensu Andreis et al., 1991) de Uruguay, cuya base también es una superficie de erosión.

Sin fósiles diagnósticos, las conspicuas psamitas de la Formación Botucatú se apoyan sobre las Formaciones Piramboiá y Rosario do Sul, - o Grupo Rosario do Sul -, e infrayacen a basaltos neojurásicos-eocretácicos de Serra Geral. Estas relaciones hacen que la Formación Botucatú pueda considerarse jurásica inferior-jurásica superior temprana. En Uruguay, la Formación Rivera, registro gondwánico más joven y también constituida por eolianitas carentes de fósiles, representaría a la Formación Botucatú.

En Paraguay central y oriental, como unidad Triásica o Triásica superior, Harrington (1950) describió según el nombre de "Areniscas de Misiones" (por el Departamento paraguayo de las Misiones; Formación Misiones, Putzer, (1962); Formación Misiones, (Gentili et al., 1974)), a una sucesión homogénea de psamitas fluviales y eólicas, por lo común medianas a gruesas, cuarzosas, dominantemente rojizas, sin fósiles, de algo más de 200 m. de espesor. La Formación Misiones (sensu Harrington, 1950, Putzer, 1962) correspondería a la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990) y a la Formación Palacios (González et al., 1993, in Wiens et al., 1993), definida en cercanías asunceñas. Estas unidades paraguayas serían correlacionables no sólo con las partes superiores de la Formación Río do Rasto, más el conjunto de las Formaciones Piramboiá, Rosario do Sul, -o Grupo Rosario do Sul- y Botucatú de Brasil, sino también con la sección 1810-1440 m.b.b.p. del pozo YPF Nogoyá 1.

Mediante las columnas atravesadas por los pozos YPF San Cristóbal 1 y 2 (Provincia de Santa Fe), Padula y Mingramm (1968) distinguieron como Formación San Cristóbal, a un conjunto de clásticos continentales, atribuidos al Eocretácico y parcialmente asociados con efusiones de Serra Geral. Su cronología y correlaciones merecen ser revisadas, al igual que el significado de la "Formación Tacuarembó", en Argentina.

Excepto las propuestas iniciales de Padula y Mingramm (1968) y Padula (1972) y las revisiones de Böttcher (1977), no se establecieron, en la sucesión 2088 (fondo)-1440 m.b.b.p. del pozo YPF Nogoyá 1, posteriores nominaciones formales que atendieran a la estratigrafía actualizada de las cuencas paranenses. Sin embargo, el conjunto de las sedimentitas comprendidas entre 2088 y 1810 m.b.b.p. muestra de abajo hacia arriba, pasaje gradual de condiciones marinas someras, a litorales - costaneras y finalmente continentales. Tal tendencia secuencial, más la posición estratigráfica relativa y analogías litológicas, indican aceptable equivalencia amplia entre el tramo 2088-1810 m.b.b.p. de YPF Nogoyá 1 y los respectivos registros gondwánicos integrados, de base a techo, por las Formaciones Paso Aguiar o Melo superior-Yaguarí (Uruguay) y Formaciones Serra Alta-Teresina-Río do Rasto (Brasil). Las diferencias de espesores son atribuibles a disímiles posiciones paleogeográficas.

Los depósitos alumbrados de 1810 a 2088 m.b.b.p. por el pozo YPF Nogoyá 1, constituirían una sección neopérmica incompleta. No se habrían alcanzado eventuales secciones pelíticas subyacentes, análogas a la secuencias marinas transgresivas determinadas abajo-arriba, por las Formaciones Fraile Muerto-Mangrullo o Melo inferior-medio (Uruguay) y Formaciones Palermo-Irati (Brasil), frecuentes poseedoras de tenores no despreciables de materia orgánica, que las valoriza como posibles rocas generadoras de hidrocarburos. Estos registros transgresivos se relacionan, lateralmente y/o hacia abajo, con areniscas progradantes. Asimismo, el pozo YPF Nogoyá 1 no verificó, ni desechó, la presencia de acumulaciones psamíticas similares a las referidas y de areniscas eventualmente análogas a las del Grupo Itararé de Brasil (Formación San Gregorio, Uruguay; Formación Coronel Oviedo, Paraguay), que permitieron recuperar gas combustible, petróleo liviano y condensado, en ensayos de pozos en los Estados de Sao Paulo y Paraná (Murut y Fernández Garrasino, 1994)

Por semejanzas litológicas y situación estratigráfica relativa, se juzga que la sucesión 1810-1440 m.b.b.p. de YPF Nogoyá 1, representa al conjunto de los registros fluviales y eólicos triásicos - jurásicos pre-Serra Geral, aflorantes en Paraguay, Uruguay y Brasil. Los supuestos depósitos eo-mesotriásicos de la parte superior de la Formación Río do Rasto podrían corresponder a las psamitas incluidas en los primeros 100 m. inferiores de este tramo.

En el Noreste de Uruguay, la Formación Buena Vista (Areniscas de Buena Vista, Falconer, 1937; redefinida Ferrando y Andreis, 1986) se apoya concordantemente sobre la Formación Yaguarí, cuyo hecho no sería anterior al Pérmico superior tardío, según su paleofauna de saurios hallada en Río Grande do Sul (Brasil) (Araujo, 1982), si bien al respecto aun no existe opinión unánime. Esta relación de yacencia indica edad post-pérmica para la Formación Buena Vista, considerada como registro fluvial entrelazado proximal a medio (Ferrando y Andreis, 1986), o distal (Andreis et al., 1991). Las analogías sedimentarias y de situación estratigráfica relativa, permiten proponer cierta equivalencia cronológica de la Formación Buena Vista con la Formación Sanga do Cabral (Andreis et al., 1980) de Río Grande do Sul (Brasil) (Andreis y Ferrando, 1982; Ferrando y Andreis, 1982, 1986). Asimismo, la Formación Buena Vista contiene algunos fragmentos óseos similares a los restos de saurios descubiertos en la Formación Sanga do Cabral (Lavina, 1982, 1983; Ferrando y Andreis, 1986). Esta última fue atribuida al Triásico inferior por sus tetrápodos (Barberena et al., 1981). Luego, la misma edad correspondería a la Formación Buena Vista, del Uruguay (Andreis y Ferrando, 1982; Ferrando y Andreis, 1982, 1986; Fernández Garrasino, 1988, 1989c), aunque Andreis et al. (1991) ubican su techo en el Mesotriásico temprano (Anisiano) y así la sitúan en el Triásico inferior-medio (Scitiano-Anisiano).

Siempre en el Noreste de Uruguay, las eolianitas y areniscas y limolitas subácueas de interduna de la Formación Cuchilla Ombú (Ferrando y Andreis, 1986) descansan sobre la Formación Buena Vista (Triásico inferior, Triásico inferior a Triásico medio temprano anisiano), adosadas a

irregularidades previas de la superficie de sedimentación y subyacen a la Formación Tacuarembó (Bossi, 1966; Areniscas de Tacuarembó, Falconer, 1931) (Triásico superior-Jurásico). Se ha conferido a la Formación Cuchilla Ombú, carente de fósiles, posible edad Triásica media a superior (Ferrando y Andreis, 1986), o Triásica media (Fernández Garrasino, 1988, 1989c). En ella, sólo se han citado algunas rasgos de bioturbación, del tipo endichnia (Martinsson, 1970, in Ferrando y Andreis, 1986).

Según el significado original, hoy en revisión, la Formación Tacuarembó es un conjunto esencialmente arenoso de la superficie y subsuelo del centro y Norte del Uruguay. El miembro inferior representa un registro fluvial entrelazado distal y el superior tiene origen eólico (Preciozzi Porta et al., 1985; Ferrando y Andreis, 1986; Rébori, 1988). De acuerdo con la concepción clásica, en Uruguay, la Formación Tacuarembó subyace a basaltos neojurásicos-eocretácicos. Su base constituye una superficie de erosión sobrepuesta a los clásticos de la hoy conocida como Formación Cuchilla Ombú.

Para Sprechmann et al. (1981) y Ferrando y Andreis (1986), sólo el miembro inferior de la Formación Tacuarembó contiene fósiles. Walther (1932, 1933) mencionó algunos peces ganoideos descubiertos en ella; fueron clasificados como Semionotus o Lepidotus, o conferidos a la taxa de los Semionotidae (Wenz, in Goñi y Hoffstetter, 1964, in Sprechmann et al., 1981). Mones (1980) consideró un biocrón Triásico para Semionotus y posible edad Triásica superior-cretácica superior para Lepidotus, a la vez que admitió a la Formación Tacuarembó como eocretácica (neocomiana?), según los restos de reptiles (crocodilia) y huevos de dinosaurios. Pero esta definición no guarda coherencia con la posición estratigráfica de la unidad citada, la cual, según el concepto imperante hasta hace poco, presta inmediato apoyo a basaltos neojurásicos-eocretácicos.

Por estas razones y su contenido paleontológico, la Formación Tacuarembó, si se tiene en cuenta la definición original (Bossi, 1966; Falconer, 1931), puede atribuirse al Triásico superior-Jurásico superior temprano y representaría una de las unidades gondwánicas más jóvenes del Uruguay. Falconer (1937) citó la presencia de gastrópodos, en secciones expuestas próximas a la ciudad de Tacuarembó. Sprechmann et al. (1981) mencionaron escamas ganoideas, dientes y fragmentos óseos sueltos, moldes de ostrácodos, coprolitos y restos indeterminados. También en la Formación Tacuarembó de Uruguay, Herbst y Ferrando (1985) identificaron un conchostraco del Triásico superior; en pelitas macizas del miembro inferior de la unidad se presentan algunos icnites, del tipo endichnia (Ferrando y Andreis, 1986).

Nuevas revisiones del Mesozoico uruguayo definieron a la Formación Rivera (Herbst y Ferrando, 1985, comunicación verbal; Andreis et al., 1991), de importante componente eólica y equivalente al miembro superior de la original Formación Tacuarembó (sensu Bossi, 1966; Areniscas de Tacuarembó, Falconer, 1931). Así, esta última quedó restringida sólo a su primitivo "miembro inferior" de carácter fluvial y ubicada entre la subyacente Formación Cuchilla Ombú y la sobrepuesta nueva Formación Rivera, carente de fósiles y ahora unidad gondwánica más joven del Uruguay, que presta apoyo inmediato a basaltos neojurásicos-eocretácicos. El cuadro siguiente aclara edades y equivalencias nominales enunciadas, referentes al Mesozoico pre-basáltico uruguayo

Espesor (metros) [1]	Nominación Anterior	Nominación Actual
300-500	F. Arapey o Lavas basálticas	F. Arapey
50-60	F. Tacuarembó (superior)	F. Rivera
50-60	F. Tacuarembó (inferior)	F. Tacuarembó
<50	F. Cuchilla Ombú	F. Cuchilla Ombú
<50	F. Buena Vista	F. Buena Vista

[1] *Aproximado en base a las perforaciones existentes en Uruguay*

De base a techo, la sucesión continental "Formaciones Buena Vista-Cuchilla Ombú-Tacuarembó-Rivera" (200-210 m. de espesor total?) representaría, según los conceptos actuales, al registro Paranense triásico-jurásico pre-basáltico más completo del Uruguay. Sin discontinuidades demasiado ostensibles, el conjunto se asienta sobre depósitos fluviales del techo de la Formación Yaguarí (Pérmico superior tartariano, sin acuerdo unánime y subyace a basaltos neojurásicos-eocretácicos. Asimismo, el ex-miembro superior de la Formación Tacuarembó (sensu Bossi, 1966;

Areniscas de Tacuarembó, Falconer, 1931), hoy Formación Rivera, constituida por eolianitas carentes de fósiles, representaría a la Formación Botucatú (Eojurásico-Neojurásico temprano), de la Cuenca Paranense brasileña.

En el Noreste de Uruguay, las eolianitas y areniscas y limolitas subácueas de interduna de la Formación Cuchilla Ombú descansan sobre la Formación Buena Vista (Triásico inferior) y subyacen a los depósitos fluviales de la Formación Tacuarembó (sensu Andreis et al., 1991; Neotriásico, Herbst y Ferrando, 1985; Neotriásico-Eojurásico), cuya base es una superficie de erosión (Ferrando y Andreis, 1986). Así, se situó a la Formación Cuchilla Ombú, carente de fósiles, en el Triásico medio a superior (Ferrando y Andreis, 1986). Sobre la Formación Tacuarembó, sigue la Formación Rivera, de importantes componentes eólicas. Sin fósiles, esta última es la unidad gondwánica más joven del Uruguay y resulta conferible al Eojurásico-Neojurásico temprano.

De base a techo, la sucesión continental "Formaciones Buena Vista-Cuchilla Ombú-Tacuarembó-Rivera" (200-210 m. de espesor total?) representaría, según los conceptos actuales, al registro gondwánico triásico-jurásico más completo del Uruguay. Sin discontinuidades demasiado ostensibles, el conjunto se asienta sobre depósitos fluviales del techo de la Formación Yaguarí (Pérmico superior tartariano, sin acuerdo unánime) y subyace a basaltos neojurásicos-eocretácicos. Aceptable posición estratigráfica igual, semejanzas litológicas y contenido microfaunístico orientativo, pero dudoso y no definitorio (Herbst y Zabert, 1989, 1990), hacen correlacionables la totalidad indiferenciada del tramo 1810-1440 m.b.b.p. (370 m.) del pozo YPF Nogoyá 1 y el conjunto de la sucesión mesozoica uruguaya aludida.

No obstante la falta de resolución detallada y precisa de algunas edades, es razonable asumir que las respectivas bases de las Formaciones Tacuarembó (Uruguay) y Piramboiá (Brasil) y Formación o Grupo Rosario do Sul (Brasil), constituyen una misma superficie de discontinuidad, representada, en Paraguay oriental, por los límites inferiores de las Areniscas de Misiones (Harrington, 1950) o Formación Misiones (Putzer, 1962) y sus equivalentes locales guaraníes.

Correlaciones de las Areniscas de Misiones, o Formación Misiones, con unidades de la Cuenca Chacoparanense

Fundado en similitudes litológicas y relaciones estratigráficas visibles o inferidas, Harrington (1950) incluyó en sus "Areniscas de Misiones", a sucesiones de muy parecidas psamitas, asomantes en el sector de Villa Hayes-Asunción-Ypacaraí-Villeta-Yaguarón-Paraguarí y comarcas de Bogado-Carmen-Encarnación (S de Paraguay, banda derecha del Río Paraná, frontera Paraguay-Argentina) y Bella Vista-Capitán Bado (NE de Paraguay, frontera Paraguay-Brasil). En la última, al poniente de la Sierra o Cordillera de Amambay, Harrington (1950) observó psamitas homologables a sus "Areniscas de Misiones", apoyadas sobre sedimentitas atribuidas a la "Serie de Independencia" (Pérmico superior) y cubiertas por efusivas de Serra Geral o Alto Paraná (Neojurásico-Eocretácico). Esta posición estratigráfica de las secciones del NE paraguayo correlacionables con las Areniscas de Misiones, pertenece al intervalo Triásico-Jurásico superior temprano. Favorece a tal cronología la existencia de filones-capas basálticos, conferibles al magmatismo de Serra Geral o Alto Paraná y alojados en secuencias de las Areniscas de Misiones, cercanas a Encarnación (S de Paraguay) (Harrington, 1950). Al Norte de Carmen del Paraná (banda derecha del Río Paraná, ONO de Encarnación), también se reconocieron a las Areniscas de Misiones cubiertas por basaltos neojurásicos-eocretácicos (Harrington, 1950). Putzer (1962) señaló la ausencia de representantes de las Areniscas de Misiones en el NE paraguayo, entre Bella Vista y Capitán Bado; pero luego, Palmieri et al. (1990) ilustraron, al O de Capitán Bado, unidades estratigráficas y disposiciones similares a las definidas por Harrington (1950), al SE de Bella Vista y O de la Sierra o Cordillera de Amambay. Al E y SE de Caazapá y N de Encarnación (S de Paraguay), se identificaron sucesiones de las Areniscas de Misiones o Formación Misiones, comprendidas entre sedimentitas Pérmicas y basaltos de Serra Geral o Alto Paraná (Neojurásico-Eocretácico) (Putzer, 1962; Palmieri y Velázquez, 1982; Palmieri et al., 1990a). Aunque

sin sustento paleontológico y sólo deducida por relaciones estratigráficas y semejanzas litológicas, cabrían pocas dudas acerca de la edad Triásica - Jurásica superior temprana de las Areniscas de Misiones (sensu Harrington, 1950), o Formación Misiones (sensu Putzer, 1962).

La "Formación Patiño" correspondería a la totalidad del "Grupo Palacios", que definieron Spinzi et al. (1993). Palmieri et al. (1990a) estimaron a "su" Formación Patiño como Cretácico superior; por su parte, Spinzi et al. (1993) propusieron que la acumulación del Grupo Palacios ".fue acompañada de magmatitas cretácicas de 136,4 ± 5,1 m.a. (K/Ar. para plagioclasa, biotita y anfíbol)".

Pero en las áreas de afloramientos más típicos y conspicuos de la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990a) y Grupo Palacios, las edades distan de ser evidentes e incuestionables. Las localidades vecinas a Asunción, no muestran las relaciones del Grupo Palacios con los derrames basálticos neojurásicos-eocretácicos de Serra Geral o Alto Paraná (Fernández Garrasino y Murut, 1993, observaciones personales). Como determinaron Palmieri et al. (1990a) y Spinzi et al. (1993), las márgenes occidentales del valle de Ypacaraí ofrecen a la Formación Patiño, o Grupo Palacios, cubiertos por tapices edáficos y regolíticos actuales y dispuestos, mediante falla y discordancia, sobre sedimentitas paleozoicas, las más jóvenes conferidas al Devónico (Fernández Garrasino y Murut, 1993, observaciones personales). Esta situación de yacencia no asegura mínimamente las edades Cretácico superior (Palmieri et al., 1990a), o Neojurásica - Eocretácica (Spinzi et al., 1993), de las dos unidades aludidas, e invita a buscar argumentos cronológicos más precisos para ambas, a punto tal que, fundados en similitudes litológicas, Harrington (1947, 1948, in Harrington, 1950) y Putzer (1962), las incluyeron en las "Areniscas de Misiones" (sensu Harrington, 1950), o "Formación Misiones" (sensu Putzer, 1962) (Triásico-Jurásico pre-basaltos de Serra Geral o Alto Paraná), como indican sus respectivos mapas geológicos del Paraguay. En efecto, el análisis comparado de las cartografías de Harrington (1950), Putzer (1962) y Palmieri et al. (1990a), más los textos de Palmieri y Velázquez (1982) y Spinzi et al. (1993), lleva a concluir que los afloramientos de las Areniscas de Misiones o Formación Misiones, comprendidos entre Benjamín Aceval, Asunción y Paraguarí, son los mismos distinguidos como "Formación Patiño" (sensu Palmieri et al., 1990a) y que Spinzi et al. (1993) incluyeron en el "Grupo Palacios", así estimado contemporáneo de todas ellas.

Como ya se expresó arriba, Spinzi et al. (1993) determinaron que la acumulación del Grupo Palacios "...fue acompañada de magmatitas cretácicas de 136,4 ± 5,1 m. a. (K/Ar. para plagioclasa, biotita y anfíbol)...". La presencia de clastos basálticos en la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990), o Grupo Palacios, indicada de modo explícito, sería un elemento de juicio altamente orientativo, pero tampoco suficiente por sí solo, para establecer cronologías certeras. Spinzi et al. (1993) sólo aludieron a la existencia de "fragmentos alterados de rocas alcalinas" y "bloques predominantes de rocas alcalinas", en algunas secciones de la Formación Patiño (sensu Spinzi, 1983, unidad inferior del Grupo Palacios, non Formación Patiño, sensu Palmieri et al., 1990a). Los mismos autores también señalaron que "...La edad del Grupo Palacios queda determinada en forma indirecta por clastos de rocas alcalinas cretácicas de alrededor 136,4 ± 5,1 m.a.; sin que hasta el momento se encuentre restos fósiles que determinen su edad relativa (en Cerro Ñandua se observan algunos niveles con restos carbonizados, aún sin investigar). La edad preeocénica del Grupo Palacios queda bien establecida por la inyección de magmatitas nefelínicas (46,0 ± 7 m.a. K/Ar).".

Respecto del Grupo Palacios (Spinzi et al., 1993), se presentan así dudas y ciertas ambigüedades y entonces son oportunos algunos comentarios:

Se entiende por "rocas alcalinas", -no necesariamente "básicas"-, a las variedades con exceso del sodio y potasio requeridos para formar feldespatos, respecto de la cantidad de sílice disponible. Es decir, son relativamente "subsaturadas en sílice", lo cual da lugar a la presencia de feldespatoides y anfíboles y piroxenos sódicos. Al indicar que el Grupo Palacios contiene individuos de "rocas alcalinas cretácicas", cuya antigüedad es de 136,4 ± 5,1. millones de años, Spinzi et al. (1993) parecen referirse a vulcanitas o subvulcanitas de las Formaciones Serra Geral o Alto Paraná. Pero no describen explícitamente litoclastos basálticos, ni aclaran si las determinaciones isotópicas pertenecen a componentes detríticos, o a materiales "in situ" de las efusivas de atribuida procedencia. En tanto se

tratare de fragmentos de verdaderas rocas alcalinas, ellos no corresponderían a lavas de Serra Geral, sólo a veces olivínicas y frecuentemente tholeíticas, con porcentajes de sílice mayores que los de basaltos comunes. La presencia inequívoca de individuos basálticos en el Grupo Palacios, sería una pauta cronológica muy orientativa.

No surge totalmente claro el significado que Spinzi et al. (1993) conceden a la expresión "rocas alcalinas". Al indicar que el Grupo Palacios contiene individuos de "rocas alcalinas" cretácicas, cuya antigüedad es de 136,4 $\pm$ 5,1. millones de años, parecen referirse a los basaltos de Serra Geral o Alto Paraná. Pero no describen los rasgos petrográficos de estos clastos líticos, ni aclaran taxativamente si las determinaciones isotópicas corresponden a fragmentos detríticos incluidos en los depósitos, o a muestras "in situ" de las efusivas de procedencia. Si realmente fuesen individuos basálticos, sería posible, para las acumulaciones, edad igual o posterior a las vulcanitas de Serra Geral o Alto Paraná. Sin embargo, no se hacen referencias a litoclastos de ellas propiamente dichos.

Otra alternativa es que se trate de verdaderos clastos de rocas alcalinas, según las definiciones. De ser así, no representan a las lavas de Serra Geral (Alto Paraná en Paraguay), pues estas son variedades dominantemente tholeíticas, con proporciones de sílice mayores que los porcentajes comunes en basaltos "normales". Desde cierto punto de vista, las variedades tholeíticas poseen asociaciones mineralógicas contrastantes con las especies alcalinas, que son "subsaturadas" en sílice, razón por la cual suelen mostrar feldespatoides (feldespatos pobres en sílice combinada). La falta de menciones explícitas de fragmentos líticos de las vulcanitas básicas más comunes del magmatismo de Serra Geral o Alto Paraná (basaltos tholeíticos y a veces también olivínicos), hace sospechable la ausencia de tales clastos en el Grupo Palacios, circunstancia que favorece para el mismo una edad anterior a las aludidas efusiones del Neojurásico-Eocretácico.

Podría pensarse que los fragmentos de rocas alcalinas, contenidos en el Grupo Palacios según Spinzi et al. (1993), provienen de las vulcanitas - subvulcanitas asimismo alcalinas, supuestamente cretácicas y relacionadas con la actividad ígnea de Serra Geral o Alto Paraná (Neojurásico-Eocretácico), asomantes entre Fortín Olimpo y el Sur de Paraguarí (Putzer y van den Boom, 1961; Putzer, 1962), o de los diques y filones, también alcalinos, expuestos en la faja meridiana central de Paraguay e integrantes de la Formación Sapucai (Palmieri y Velázquez, 1982; Complejo alcalino de Sapucai, Palmieri, 1973) (147-98 millones de años, Jurásico superior-Cretácico inferior, Comte y Hasui, 1971; Palmieri y Arribas, 1975; Llambías y Turner, 1989) (120-80 millones de años, Cretácico inferior-Cretácico superior, Palmieri y Velázquez, 1982). Aunque en parte quizás más jóvenes, estas rocas ígneas de Sapucai estarían vinculadas con el magmatismo de Serra Geral (Neojurásico-Eocretácico). Si las subefusivas alcalinas de la Formación Sapucai y sus eventuales homólogas, hubieren provisto de detritos al Grupo Palacios, este sería posterior a ellas y muy probablemente habría de contener también clastos basálticos tholeíticos y/u olivínicos de Serra Geral o Alto Paraná, no aludidos de modo inequívoco por Spinzi et al. (1993), ni por Harrington (1950) en sus descripciones de las Areniscas de Misiones y equivalentes

Las fracciones clásticas de la Formación Itapytapunta contienen "feldespatos alcalinos" (Spinzi et al., 1993), es decir, feldespatos sódicos y potásicos, comunes en basaltos tholeíticos. Pero no se mencionan olivinas, augitas, pigeonitas, andesinas, o labradoritas detríticas, todos componentes mineralógicos, según diversas proporciones, de las vulcanitas de Serra Geral o Alto Paraná y que podrían acompañar a los feldespatos alcalinos, aunque fuese en proporciones subordinadas atento sus potenciales de preservación, si estas efusivas básicas hubieren provisto sedimentos al Grupo Palacios.

La contribución de individuos de rocas alcalinas propiamente dichas, en el Grupo Palacios, no sería, por sí sola, señal suficiente de obligado sincronismo, o posterioridad, respecto de los basaltos de Serra Geral o Alto Paraná y diques de la Formación Sapucai ya que existiría, al menos, una similar actividad ígnea anterior. En efecto, Palmieri y Velázquez (1982) hacen referencia a un magmatismo sienítico nefelínico Neopaleozoico en Paraguay. De manera concurrente, Llambías y Turner (1989) expresaron que ".En Paraguay existen manifestaciones Pérmico-Triásicas aisladas, como por ejemplo la del complejo alcalino de Pan de Azúcar, cuyas dataciones radimétricas van de 207 a 239 m. a.

(Comte y Hasui, 1971)". A su vez, Bossi (1990) señaló que "El vulcanismo Triásico de la cuenca del Paraná es muy escaso. Cordani y Tassinari (en Schobbenhaus, 1985) mencionan la presencia de rocas alcalinas en morros aislados en Fecho dos Morros (Pao de Açucar) sobre el río Paraguay, en el sector oeste de la cuenca. La edad de estas sienitas, fonolitas y traquitas es de 220 m.a., que las sitúa en el Triásico...". Las manifestaciones alcalinas indicadas afloran en ambas bandas del Río Paraguay (frontera Paraguay-Brasil), entre Puerto Guaraní y Puerto Palma Chica y Porto Murtinho; los valores isotópicos, comprendidos entre 239 y 207 millones de años, las ubican en el intervalo Mesotriásico (Anisiano inferior)-Eojurásico (Hettangiano inferior). Por sí misma, la existencia de tales variedades ígneas podría justificar la participación de clastos de rocas alcalinas en el Grupo Palacios y ayudaría a otorgarle antigüedad mínima Triásica. Asimismo, es necesario tener en cuenta que el registro Proterozoico superior del área Mutún-Urucum (comarca de Puerto Suárez, Bolivia-Corumbá, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, frontera Bolivia-Brasil) incluye lavas calco-alcalinas (Webb, 1978, in Montemurro, 1987).

Respecto del tema, al tratar los numerosos "necks y plutones de edad dudosa "del Paraguay, Harrington (1950) incluyó basaltos olivínicos grises oscuros, posibles gabros y sienitas o dioritas básicas, visibles en vecindades de Carapeguá, Quiindy e Ibicuy, al S de Paraguarí; además, observó otros basaltos olivínicos y posibles sienitas básicas o gabros, al O de la Sierra de Ybytyruzú, cercanías de Mbocayaty y Villarica. Según mapas y textos de Harrington (1950), estos cuerpos no extensos afectan depósitos hoy tenidos por ordovícicos-silúricos llandoverianos, o a sedimentitas neopaleozoicas. Las petrografías corresponden a exámenes macroscópicos; la pérdida de muestras, en 1947, por causas ajenas al autor, impidieron verificar clasificaciones. No obstante, Harrington (1950) expresó que varias de ellas serían ciertamente variedades alcalinas ya señaladas por Milch (1894) y Goldschlag (1913), ambos en las referencias de Harrington (1950). De acuerdo con mapas de Harrington (1950) y Putzer (1962), los dos cortejos ígneos, considerados alcalinos, no habrían intruído, de modo comprobado e indiscutible, a las Areniscas de Misiones o Formación Misiones, ni a sus posteriormente definidos y supuestos homólogos Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990a) y Grupo Palacios. Parecería, entonces, que esas manifestaciones ígneas, estimadas alcalinas, de Carapeguá-Quiindy-Ibycui, afectarían a unidades eopaleozoicas y las análogas de Mbocayaty-Villarrica harían lo mismo con depósitos carbónicos superiores-neopérmicos; pero ninguno de los dos conjuntos alcanzaría a las sedimentitas Triásicas - Jurásicas superiores, o por lo menos, no existirían pruebas objetivas irrefutables contrarias a esta sospecha. Sin olvidar todas las dudas e indefiniciones del caso, muchas ya anticipadas explícita o implícitamente por Harrington (1950) en textos y mapas, las presunciones que anteceden no se oponen a las propuestas de Palmieri y Velázquez (1982), acerca del magmatismo sienítico nefelínico Neopaleozoico de Paraguay y justifican la presencia de clastos de rocas alcalinas en la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990a), o Grupo Palacios (sensu Spinzi et al., 1993), sin negar posible edad Triásica - Neojurásica temprana para ambas unidades. Quizás, todas estas ígneas al parecer alcalinas, pudieren corresponder también a ese magmatismo Permo-triásico o Triásico, de similar composición, citado por Llambías y Turner (1989) y Bossi (1990), cuyas manifestaciones se exponen en márgenes del Río Paraguay. Harrington (1950) complementó su análisis de los "necks y plutones de edad dudosa" del Paraguay, con las siguientes menciones:

- Sector de cerrillos y canteras de Areguá, próximos al O del Lago de Ypacaraí; andesita básica o basalto, muy meteorizados
- Sector del Cerro Tacumbú, Asunción; basalto olivínico, gris oscuro, casi negro
- Sector del Cerro Lambaré, cercano al S de Asunción; basalto púrpura pardo a violeta pardo, al parecer sin olivinas, con amígdalas rellenas por ágata de matices claros. El tipo de roca "recuerda, hasta cierto punto, al de los basaltos de Serra Geral" (Harrington, 1950)

Las descripciones corresponden sólo a macroscopía, debido al extravío total de muestras, en 1947. Según Harrington (1950), todos estos cuerpos basálticos intruyen a clásticos rojizos, que en la

comarca Asunción-Ypacaraí, representan a las Areniscas de Misiones y los cuales hoy se incluyen en la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990a), o Grupo Palacios. Las observaciones de Harrington (1950) en el entorno de la capital guaraní, sugieren que estas sedimentitas son previas a las efusivas de Serra Geral o Alto Paraná (Neojurásico-Eocretácico) y por lo tanto, no más jóvenes que el Jurásico superior temprano. Así se explicaría la falta de auténticos clastos basálticos "tipo Serra Geral", en el Grupo Palacios y sus equivalentes.

En acuerdo con las presunciones de Harrington (1950) y como ya se mencionara, Putzer (1962) llamó la atención sobre cortejos efusivos y subefusivos, que reúnen cuerpos poco extensos, de filiación alcalina y edad Cretácico, según el autor. Enumeró fonolitas, basaltos, pórfiros tinguaíticos, diabasas, riolitas, essexitas, foyaítas, shonkinitas y sienitas alcalinas.

La totalidad de las Areniscas de Misiones o Formación Misiones podrían representar, en Paraguay oriental, al conjunto de la Formación Piramboiá, Formación o Grupo Rosario do Sul y sobrepuesta Formación Botucatú, de la Cuenca Paranense brasileña. A su vez, secciones superiores de la Formación Patiño (sensu Palmieri et al., 1990a) y parte o toda la Formación Itapytapunta (Spinzi et al., 1993), resultarían posibles equivalentes de la Formación Botucatú (Jurásico inferior-Jurásico superior temprano). Tal alternativa no pasó inadvertida para Harrington (1950), quien expresó al respecto: "Areniscas masivas de este tipo afloran en magníficos cortes naturales cerca de Asunción, a lo largo de las altas barrancas del río Paraguay y especialmente en el lugar denominado Itapitapunta ("Punta de piedras rojas" en guaraní), donde los acantilados de casi 20 metros de altura muestran una masa homogénea de areniscas rojas casi exentas de estratificación. Estas capas podrían ser comparadas directamente con las areniscas "verdaderas", o "superiores" de Botucatú del Estado de Sao Paulo, pero aún en las cercanías de Asunción se observan pequeños rodados dispersos en determinados niveles, que indican claramente que al menos parte de la sucesión no es de origen eólico. El carácter no-eólico de las capas es aún más manifiesto en la región de las Misiones, donde verdaderos conglomerados se intercalan ocasionalmente entre areniscas con laminación entrecruzada. Estas capas, que sin duda representan la parte inferior de la sucesión, pueden compararse con las Areniscas de Piramboiá de Sao Paulo. De lo expuesto, pues, podemos concluir que las areniscas de Misiones son el equivalente de las areniscas de Botucatú (sensu lato) del Brasil meridional y que están constituidas por un grupo de estratos continentales, eólicos y fluviales, del Triásico superior (Keuper)". Estas descripciones de Harrington (1950) recuerdan las características que Spinzi et al. (1993) señalaron para sus Formaciones Patiño e Itapytapunta, integrantes del Grupo Palacios, por ellos definido.

Como síntesis de lo expuesto debe considerarse que la estratigrafía de los niveles mesozoicos en su conjunto en Paraguay es aún un tema de estudio opinable que excede el alcance de este estudio.

4.4 Estratigrafía propuesta para la Región de la Cuenca Chacoparanense comprendida por las Provincias de Chaco, Córdoba, Formosa, Santa Fe y Santiago del Estero a la luz de las nuevas perforaciones

Mesozoico-Eoterciario Formación Serra Geral

Las unidades efusivas atribuibles a al Formación Serra Geral por su litología y espesor son claramente referidas en los informes técnicos de las perforaciones y en las descripciones de las perforaciones estudiadas por Padula y Mingramm, (1968). Las perforaciones San Cristobal SC–1, Mariano Boedo MBF-1, Camilo Aldao CAC-1, Ordoñez OC-1 realizadas por la Ex YPF, la Perforación en Firmat Mar SF.FT–1x (Marathon S.A.) describen a partir de los recortes de perforación rocas efusivas de composición basáltica, de color entre gris oscuro y gris verdoso, alveolar, con intercalaciones de arenisca cuarzosa o niveles arcillosos de color rojo o castaño rojizo. Se ha definido en los capítulos 3 y 4 (donde ha sido posible) la composición mineralógica de los niveles basálticos atravesados por las distintas perforaciones de la cuenca que encuentran clara correspondencia con los niveles descriptos para estas unidades. Los niveles efusivos de estas perforaciones han sido

correlacionados con las perforaciones en el República Oriental del Uruguay por Padula y Mingramm, (1968) y las perforaciones más recientes ya descriptas en el apartado 4.3 en la provincia de Entre Ríos y Firmat–1, corroboran este esquema de correlación regional.

En este contexto se resumen en la siguiente tabla los espesores y profundidades de la Formación Serra Geral para las perforaciones mencionadas:

Nombre de la perforación	Profundidades de techo y base en m.b.b.p.	Espesor en metros
San Cristobal SC-1	762 – 830	68
Mariano Boedo MBF-1	561 – 1047	486
Camilo Aldao CAC-1	812 – 969	157
Ordoñez OC-1	756 – 1066	310
Firmat, MAR SF.FT.-1.	800 – 1017 (801/1021)	217

Tabla.N°23 Profundidad y espesor de la Formación Serra Geral

La diminución de espesor y profundización de los niveles atribuibles a la Formación Serra Geral en las perforaciones al sudoeste de la Cuenca Chacoparanense se corresponde con la dirección de profundización de la cuenca y de la cubierta sedimentaria de la misma en esa región, controlado por los elementos tectónicos (figuras 3, 4 y 5) que ya han sido definidos por Pezzi y Mozetic, (1989).

En el pozo San Cristobal SC-1 Padula y Mingramm, (1968) describe una sección de 68 metros de espesor correspondiente a un "Basalto, en partes muy alterado, pardo violáceo, alveolar, con huecos rellenos por calcita y zeolita:" , El informe técnico de pozo de Mariano Boedo MBF-1, describe una "roca volcánica amigdaloide, color gris violáceo a gris oscuro". En la perforación Camilo Aldao se describe como "Basalto negruzco intercalado con alteración rojiza o blanquecina"

El testigo corona descripto a continuación corresponde al tramo de interes comprendido entre los 887 - 894 m.b.b.p., en el pozo Ordoñez OC-1. EL tramo coronado, redescripto en este trabajo, corresponde a niveles similares a los descriptos para la Formación Serra Geral. Se presenta a continuación la descripción del mismo:

Ordoñez (OC-1x) Córdoba

Tramo (m.b.b.p.)	Descripción
887 - 894	.Roca volcánica de composición basáltica, de color gris N°5, amigdaloide, con vesículas rellenas de material carbonático y zeolitas. Intercala brecha con clastos basálticos y pequeños niveles arcillosos de color rojo 10R6/2

La perforación de estudio en Firmat, define un basalto gris oscuro de composición afanítica con máficos y describe intercalaciones de limolitas en parte arenosas de 18 metros de espesor, en el tramo 843-861 m.b.b.p., la misma de color rojo amarillento, de composición cuarzosa e individuos subredondeados a subangulosos, matriz arcillosa, muy consolidado y de baja porosidad. Entre el tramo 870 - 942 describe 62 metros de una intercalación de arenisca de color gris rojiza, de composición cuarzosa de individuos subredondeada a subangulosos , matriz arcillosa, consolidado y con cemento ferruginoso. Estas intercalaciones coinciden con las descripciones presentadas para el Miembro Solari de la Formación Serra Geral que han sido identificados en el perfil litológico.

El pozo Firmat –1 ha sido perfilado y los valores del pase formacional pueden corregirse a 801 - 1021 m.b.b.p. y a partir del mismo los niveles limo arenosos pueden redefinirse entre 838 – 864 m.b.b.p. y 867 – 925 m.b.b.p. si se consideran los criterios de interpretación empleados en los perfilajes de las perforaciones descriptas en el apartado 4.3.1. atendiendo que la calidad de las aguas contenidas por la Formación posee elevadas conductividades e índices de cloruros, (hecho que se deduce del control de lodos de inyección de la perforación) que facilita la diferenciación de las unidades por el contraste resistivo entre la roca basáltica y los niveles limo arenosos saturados en aguas poco resistivas.

Si bien las presencia de los cuerpos intrusivos diabásicos no serán considerados de valor estratigráfica en relación con las Formaciones infra o suprayacentes, en esta breve mención se incluyen las perforaciones que han atravesados estos cuerpos intrusivos. Los cuerpos intrusivos

diabásicos atravesados por las perforaciones en esta región de la cuenca han sido descriptos en las siguientes perforaciones:

Nombre de la perforación	Profundidades de techo y base en m.b.b.p.	Espesor en metros
Las Breñas Oriental	2003 – 2034	31
Santiago Temple	900 - 996	96
San Cristobal SF SC1	1420 - 1500	80?
Las Mochas Sh. LM 1x	3150 - 3200	50?

Las perforación en Las Breñas, (YPF, Inédito) describe un tramo coronado entre 2003-3034 como cuerpo diabásico intrusivo de composición dioritica.. El pozo Santiago Temple CST-1x (YPF, Inédito) describe también un cuerpo diabásico andesítico en los intervalos citados en cuadro anterior que subyace a un "gabro olivínico" definido en el perfil. En ambos casos la información actual es fragmentaria o se ha perdido y no se ha realizado determinaciones radioisotópicas de los mismos que permitan mejorar la interpretación. Lo mismo ocurre con la perforación santa Fe SF.SC.1x donde el cuerpo intrusivo descripto por Padula y Mingramm, (1968) correspondería a una diabasa de composición basáltica y edad posible jurásico medio. La perforación Mochas SH.LM x-1 (Shell-CAPSA) ubicada en la provincia de Santa Fe (X:6855292.5;Y:5376540.68) con una cota de 67m.s.n.m., 3200 m de profundidad de fondo de pozo en 3133 m.s.n.m no determina en el último tramo de perforación entre 3150-3200 m.b.b.p. un cuerpo diabásico de composición dioritica (Shell, inf. Tec), la misma fue datada radimétricamente por el método de K/Ar con una edad de 141 +/- 5 m.a.(Jurásica superior). De lo expuesto se concluye en base a las perforaciones, que los cuerpos diabásicos de composición basáltica - dioritica atribuibles a la Formación Serra Geral suelen intruir niveles Paleozoicos superior-Triásico inferior. Sin esto bien no es regla y requieren un estudio más detallado se sugiere considerarlos como parte de la Formación Serra Geral y se los describirá a las profundidades correspondientes.

Se concluye, de acuerdo a lo expuesto, que los niveles descriptos corresponden o son correlacionables litológica y estratigraficamente con la Formación Serra Geral. De acuerdo con Fernández Garrasino, (1996) esto último es un criterio propuesto para definir la Formación Misiones en profundidad en la región occidental de la Cuenca Chacoparanense Argentina.

Formación Misiones (Putzer, 1962; Areniscas de Misiones, Harrington, 1950, por el Departamento paraguayo de las Misiones; Arenisca Misiones, Eckel, 1959; non Areniscas de Misiones, Hausen, 1919; non Formación Misiones, Gentili et al., 1974; en Argentina, este trabajo, Fernández Garrasino, 1995) (Triásico-Neojurásico temprano)

Los antecedentes definitorios de esta unidad pertenecen a Paraguay oriental (Harrington, 1959; Putzer, 1962). Respecto de Argentina, el presente informe propone este nombre, para designar a las sucesiones clásticas continentales, interpuestas entre depósitos eo- o neopaleozoicos y la base del conjunto de efusiones basálticas neojurásicas-eocretácicas, del magmatismo de Serra Geral. La nominación es útil a los fines operativos de subsuelo, para aquellos casos en los cuales aun no fue posible establecer divisiones, o límites inequívocos entre unidades o estas no ofrecen cualidades propias mínimamente distintivas. También es aplicable cuándo la nomenclatura litoestratigráfica usada resulta ambigua, imprecisa, o bien no mantiene el significado original reconocido de las unidades, según las definiciones identificatorias en las localidades tipo.

De acuerdo con Fernández Garrasino, (1996) las Sedimentitas representativas de la Formación Misiones, se habrían alcanzado en los pozos YPF San Cristóbal 1 (mitad septentrional de la Provincia de Santa Fe,), e YPF Mariano Boedo 1 (extremo SE de la Provincia de Formosa,), a más de otros. En la última perforación nombrada, la sección que, en este trabajo, se reconoce como Formación Misiones, sobreyace a areniscas cuarzosas grises blanquecinas, de individuos redondeados, muy litificadas, supuestas Ordovícicas y atribuidas a la Formación Las Breñas y se halla abajo de basaltos

neojurásicos-eocretácicos. Su existencia es previsible, al menos, en el subsuelo de la faja oriental de la Provincia del Chaco.

Como se ha resumido en el apartado 4.3.2, fue en Paraguay sudoriental, al Sur del Río Tebicuary, inmediaciones de San Juan Bautista, Santa María, Santa Rosa y San Ignacio, donde Harrington (1950) definió como unidad Triásica o Triásica superior, a las "Areniscas de Misiones" (por el Departamento paraguayo de las Misiones), luego "Formación Misiones". Por sus rasgos deposicionales y analogías con acumulaciones similares de la Cuenca Paranense brasileña, se les atribuyó origen fluvial y eólico (Harrington, 1950; Palmieri y Velázquez, 1982).

En Paraguay sudoriental, las Areniscas de Misiones constituyen un conjunto homogéneo de psamitas cuarzosas, sin fósiles, por lo común medianas a gruesas y dominantemente rojizas, pero también rojizas oscuras y castañas rojizas, con individuos lisos y muy redondeados, de baja esfericidad. La matriz y los materiales aglutinantes más comunes son arcillosos y hematíticos; con frecuencia, se observan efectos locales de silicificación. Los bancos son macizos, o bien presentan estratificación gruesa, a veces mal definida. Ocasionalmente, se advierten secciones de buena estratificación y estructuras entrecruzadas. Entre las areniscas, suelen intercalarse depósitos psefíticos, que no exceden 1 m. de espesor. Abundan los rodados pequeños, sólo algunos de hasta 15 cm. de diámetro, redondeados - muy redondeados y subelípticos, compuestos por fragmentos de cuarzo, cuarcitas y variedades amorfas de la sílice (Harrington, 1950). Palmieri y Velázquez (1982) reconocieron similares cualidades y destacaron su estratificación entrecruzada y grado de selección. Harrington (1950) estimó que el espesor total de las "Areniscas de Misiones", en Paraguay, puede ser mayor a los 200 m.

En el pozo YPF Mariano Boedo 1 (SE de la Provincia de Formosa), el tramo conferible a las Areniscas de Misiones o Formación Misiones, de unos 180 m. de espesor, presenta rasgos similares a los observados en el país guaraní. Se distingue por areniscas cuarzosas y ortocuarcitas, rosadas y rojizas, de clastos bien redondeados y despulidos, con pátinas de óxidos de hierro. No se advirtieron intercalaciones conglomerádicas. El testigo corona descripto a continuación corresponde al tramo de iteres comprendido entre los 1047 - 1222 m.b.b.p., porque el tramo comprendido entre los 547 - 561m.b.b.p. denominado también Formación Cuivá (?) o Tacuarembó en el informe original, pueden considerarse sedimentitas posiblemente atribuibles a la Formación Mariano Boedo debido a su pequeño espesor y su posición estratigráfica. EL tramo coronado, redescripto en este trabajo, corresponde a niveles similares a los descriptos para la Formación Misiones. Se presenta a continuación la descripción del mismo:

Mariano Boedo (FMB1-X) Formosa

Tramo (m.b.b.p.)	**Descripción**
1112 - 1118	Arena fina arcillosa de color rojo castaño (5R51/2) de composición predomínate cuarzosa, intercala pelitas laminadas, cemento de óxidos de hierros y estratificación planar de gran ángulo.

En la perforación YPF Nogoyá-1 (SO de la Provincia de Entre Ríos), el tramo conferible a las Areniscas de Misiones o Formación Misiones (Fernández Garrasino, 1994), de unos 370m. de espesor (1440-1810m.b.b.p.), se describió en los informes originales de perforación como areniscas muy finas color castaño oscuro, cuarzosas y micáceas, con pátinas de óxidos de hierro. Intercala en todo el intervalo limonitas y arcillitas de color castaño oscuro y se les asigno el término de "Tercer Miembro" o "Sedimentitas sin denominación". El tramo de interés comprendido entre los 1440 - 1840 m.b.b.p., fue posteriormente divido en dos secciones diferenciables por su litología una sección 1490 - 1650m.b.b.p. y 1650 - 1820 m.b.b.p. (Chebli, Tófalo y Turzzini, 1989) al la primera sección fundamentalmente pelítica correlacionada según estos autores con el miembro inferior de la Formación Tacuarembó y la segunda sección fundamentalmente compuesta de areniscas atribuible y correlacionable a las Formaciones Rosario do Sul (Brasil) o Buena Vista (Uruguay).

Fernández Garrasino, (1994) en función de la dificultad de establecer la estratigráfica a causa de la continuidad litológica del paquete sedimentario y la falta de suficiente información regional

propone incluir a estos y correlacionarlos con al Formación Misiones. Esta última interpretación es la que prevalecerá en este estudio debido a que las nuevas perforaciones realizadas hacia el norte y este de la provincia en particular Federación-1 y Concordia -1 permiten una interpretación más integrada del conjunto sedimentario infrabasáltico por su potencia y cercanía a las áreas de afloramiento. El termino Formación Misiones permite un margen de interpretación más adecuada a la información existente en el área.

Las perforaciones de YPF Camilo Aldao y Ordoñez, en el SE de Córdoba describen en sus informes de pozo originales niveles denominados oportunamente como Formación Tacuarembó correspondientes a los siguientes tramos para Camilo Aldao entre 969 - 1010 m.b.b.p. y para Ordoñez el tramo 1066 - 1181 m.b.b.p.

En ambos la litología descripta es similar (ver Anexo I) y puede resumirse como una Arenisca rojiza clara de granometría muy fina, de composición cuarzosa de partículas subredondeadas, irregular selección y consolidada. Intercala pelitas de igual coloración con cemento carbonático. En la perforación Ordoñez se incluyó dentro de la misma unidad 10 metros de conglomerado basal, de color rojo, con clastos de cuarzo hialinos, subredondeados y con matriz arcillosa. En la perforación de Camilo Aldao, en base a la descripción de las muestras de pozo se sugiere considerar el tramo entre 987 - 1010 m.b.b.p. como representativo de las unidades descriptas ya que en el mismo informe el tramo 969 - 987 se describe como una roca de composición basáltica.

En ambos casos, la ausencia de elementos e información que permitan diferenciar las unidades formacionales asignadas a estas areniscas, su lejanía con las áreas de afloramiento en Uruguay, se considera más conveniente proponer el termino Formación Misiones y correlacionarlo con los niveles similares definidos previamente. En síntesis se propone para la Formación Misiones los tramos:

Camilo Aldao	969-1010 m.b.b.p.
Ordoñez	1066-1181m.b.b.p.

Grupo Alhuampa (Padula y Mingramm, 1968)

Las dificultades en la determinación de la estratigrafía propuesta en las diferentes perforaciones obedece a la ausencia de niveles basálticos que complica la determinación de los pases formacionales y edad atribuibles a los sedimentos atravesados por las diferentes perforaciones, tal es el caso de los pozos Pirané, El Destierro, Arbol Blanco, Charata I, Campo Gallo, Los Horcones, El Caburé y Las Breñas I y II de la EX YPF. Las perforaciones Roque Sáenz Peña, Añatuya y Campo Gallo y Villa Angela de la Ex Secretaría de Minería. Las descripciones litológicas o muestras existentes permiten inferir con dificultades unidades en el registro con litologías similares a las del área de estudio y posiblemente atribuibles o correlacionables a los términos ya descriptos de la Formación Botucatú en el litoral Argentino. Estratigraficamente se denomina a estas unidades como Formación Tacuarembó y puede sintetizarse en el siguiente cuadro:

Nombre de la perforación	Profundidades de techo y base en m.b.b.p.	Espesor en metros
Arbol Blanco	656 – 780	124
Pirané	860 – 1910	1050
Charata	670 – 820	150
Las Breñas I	670 – 972	302
El Destierro	---	---
El Caburé	290 – 740	450
Campo Gallo	312 - 390 (683 ?)	78 (371?)
Los Horcones I y II	---	---

Tabla.N°24 Espesores y Profundidades del Grupo Alhuampa (Ex YPF)

La ex Secretaría de Minería, no propone términos formacionales, sin embargo le asigna edades probables en función de su relación estratigráfica y descripciones litológicas en perforaciones previamente realizadas por métodos de percusión. Las perforaciones aquí consideradas se las conoce bajo el nombre de Añatuya y Villa Angela, Campo Gallo y Roque Sáenz Peña. En el caso de la perforación de Campo Gallo se le asigna edad "TRIASICA" al tramo comprendido entre los 400 - 504 m.b.b.p. describiendo litologías que por sus características se asemejan a las areniscas descriptas en los pozos anteriormente mencionados definiéndolas como "Areniscas pardo rojizas, fina , poco consolidadas, poco arcillosa calcáreas(?)". En la Perforación Campo Gallo de la EX YPF, se describe una litología similar y se las denomina Formaciones Tacuarembó (312 - 390m.b.b.p.) y Buena Vista (390 - 683m.b.b.p.). La descripciones son semejantes para ambos intervalos con las referidas en el pozo Campo Gallo N° 1 de la Ex Secretaría de Minería, por lo tanto a falta de otro elemento de juicio, en este trabajo se considera a todo el tramo 312 - 683 m.b.b.p. como niveles relacionados con la Formación Botucatú o variaciones laterales de la misma, dado que la Formación Buena Vista se define como facies fluviales con un registro muy en el perfil característico en Uruguay y Brasil.

Situación similar se verifica con las perforaciones de Villa Angela (512 - 624 m.b.b.p.), Añatuya (460 - 660 m.b.b.p.) y Roque Sáenz Peña (525 - 918 m.b.b.p.) en sus tramos respectivos en las tres se describe "Areniscas de color pardo rojizo, poco cementados con carbonatos" además de mencionar en las descripciones como características más conspicuas, óxidos de hierro como cemento, colores entre el rojo violácco y el rosa grisácco, granulometrías finas y poca arcilla. Por la profundidad de estos niveles, litología y relación con las perforaciones descripciones e interpretaciones estratigráficas de la EX YPF se considera a estos niveles relacionados con la Formación Botucatú o variaciones laterales de la misma.

Los testigos corona existentes de las perforaciones Pirané y El Caburé de la ex YPF revisados y re-descriptos con el uso de lupa binocular en este estudio se detallan a continuación:

Pirané (TMP 1 -X) Formosa

Tramo (m.b.b.p.)	**Descripción**
991 – 995	Arcillitas laminadas de color pardo rojizas. Hacia la base del testigo, arenisca muy fina con pintas violáceas y laminación paralela
1100 – 1104	Limo calcáreo de color blanco grisáceo bioturbado, masivo.
1175 – 1177	bancos de limo calcáreo de color blanquecino con laminación paralela. Intercala niveles de limo calcáreo muy bioturbado.
1422 – 1424	Arena fina de color rojizo y laminación paralela
1689 – 1692	Arena media de color rojiza con pintas violáceas, friable, intercala arena más fina blanquecina. De composición cuarzosa, presenta estratificación planar que hacia la base del testigo asemeja estratificación entrecruzada
1841 – 1844	Arena de color blanquecino-rosado, posee pintas violáceas de granometría media, composición cuarzosa y estratificación plana.
1876 – 1877	Arena de color rosado-blanquecina media a fina con partículas de composición cuarzosa y laminación paralela

EL Caburé (SEEC1-X) Santiago del Estero

Tramo (m.b.b.p.)	**Descripción**
501 – 506	Arena fina de color rosado intercala venillas carbonáticas y presenta estratificación entrecruzada.

En ambos casos estos tramos coronados se han interpretado como Formación Tacuarembó y es aceptable la relación posible como variaciones laterales de un ambiente de gran extensión regional para estos niveles y edades. Si bien su mineralogía, granometría y estructuras se asemejan a las descriptas en la Formación Botucatú, la escasez de información permite unificar a estos niveles en un paquete sedimentario más amplio a fin de albergar las diferentes posibilidades. Sobre la base de la revisión de la litología y testigos corona aún existentes en YPF a la luz de las nuevas perforaciones e información relacionada se propone aquí considerar algunos cambios en los pases formacionales y

nomenclatura de las unidades atravesadas por las perforaciones indicadas con el objeto de organizar el conocimiento estratigráfico de la región. Se propone considerar a estos niveles como Grupo Alhuampa tal como lo definieron Padula y Mingramm, (1968) para aquellas unidades indiferencias que poseen como base al Neopaleozoico y como techo a los niveles terciarios (Formación Chaco) o Cretácico superiores (Formación Mariano Boedo). En el mismo trabajo se proponen y definen límites formacionales para los niveles considerados en las perforaciones en la provincia de Santa Fe y Córdoba realizadas por YPF, refiriéndose como Formaciones San Cristobal y Buena Vista correlacionables con la Formación Botucatú y Piramboiá de Brasil o Formación Rivera Tacuarembó del Uruguay, (Padula y Mingramm, 1968 y Fernández Garrasino, 1995). La perforación Alhuampa de la Ex-DGMG da nombre a este conjunto sedimentario que Padula y Mingramm (1968) proponen considerar como Grupo cuando no es posible una mejor determinación de los términos formacionales correspondientes. Las siguientes tablas resumen los tramos considerados para las estratigrafía propuesta por Padula y Mingramm, (1968) en las perforaciones realizadas en suelo santafecino (Tabla N°25).

Nombre de la perforación	Espesor en metros F. San Cristobal	Espesor en metros F. Buena Vista
San Cristobal - 1 (YPF SC-1)	543*	135
San Cristobal - 2 (YPF SC-2)	438	704
Calchaquí – 1 (YPF SFC-1)	470	964
Ceres - 1 (YPF SFCE-1)	496	---
Tostado –1 DGMG	454	---
Alhuampa –1 DGMG	950	235

Tabla.N°25. Pozos y tramos consideradas e interpretados como F. San Cristobal y F. Buena Vista (Padula y Mingramm, 1968) correlacionables al Grupo Alhuampa

** Incluye 68 metros de basaltos de la Formación Serra Geral*

La perforación Mochas SH.LM x-1 (Shell - CAPSA) ubicada en la provincia de Santa Fe (X:6855292.5;Y:5376540.68) con una cota de 67m.s.n.m., 3200 m de profundidad de fondo de pozo o 3133 m.s.n.m no determina pases formacionales; en el perfil geológico se define un intervalo entre 440-958 m.b.b.p. (-373/-891m.s.n.m) que de acuerdo al informe técnico de pozo, (1990) se describe para el primer intervalo entre 440-632m.b.b.p. (-373/-565m.s.n.m.) una "arenisca (wake) rojiza ,feldespáticas de individuos subangulosos a subredondeados de matriz arcillosas, consolidada y de mala selección, con cemento carbonático y yeso" y para el intervalo siguiente entre 632-958 m.b.b.p. (-565/-891m.s.n.m) se ha descripto como "arenisca en parte limonita de color rojizo a rojizo amarillento y pardo rojizo, cuarzosa de individuos subangulosos, de buen selección y patina o cemento de óxidos de hierro". Denominadas en dicho informe como "Upper Gondwana Formation", de origen "eólico aluvional" y se le asignó a estos niveles edad Permo-triásico.

Esta nomenclatura estratigráfica propuesta en el informe de pozo no se corresponde con la definida por ningún autor en la Cuenca Chacoparanense, reinterpretando la información en conjunto con el perfilaje de pozo. El primer intervalo 440-632 m.b.b.p. presenta una descripción litológica que en otras perforaciones de la región se ha denominado Formación Mariano Boedo y el tramo referido por su posición estratigráfica puede considerase como dicho termino formacional. El tramo correspondiente a los 632-958 m.b.b.p. presenta una litología y valores de resistividad que suelen describirse en otras perforaciones de la región con el nombre de "Formación Tacuarembó". El estudio palinológico de las muestras de esta sección es estéril excepto hacia la base de la secuencia a partir de los 890m.b.b.p. donde se comenzó a determinar palinomorfos. En la base de esta secuencia, en el tramo entre 920-958m.b.b.p., se determinó una zona de Cristatisporitos atribuibles al Pérmico inferior, pero esta zona se extiende hasta los 2450m.b.b.p. Siendo al base de la secuencia, es razonable considerar la posibilidad de retrabajo de las unidades subyacentes.

Se propone aquí denominar a las sedimentitas de este intervalo como Grupo Alhuampa, quedando sobrepuesta la Formación Mariano Boedo y subyacente los niveles paleozoicos definidos en dicha perforación probablemente correlacionables con las Formaciones Charata y Sachayoj.

A continuación se resume en la tabla. siguiente aquellas perforaciones no consideradas o más recientes que presentan sedimentitas similares a las descriptas y que se las considerará comprendidas dentro de la denominación Grupo Alhuampa.

Nombre de la perforación	Profundidades de techo y base en m.b.b.p.	Espesor en metros
Arbol Blanco Ex YPF	656 - 780	124
Pirané Ex YPF	860 - 1910	1050
Charata Ex YPF	670 - 820	150
Las Breñas I Ex YPF	670 - 972	302
El Caburé Ex YPF	290 - 740	450
Campo Gallo Ex YPF	312 - 683	371
Campo Gallo N°1 Ex INGM	400 - 504	104
Villa Angela N°1 Ex INGM	512 - 624	112
Añatuya N°1 Ex INGM	460 - 660	200
Roque Sáenz Peña N°1 Ex INGM	525 - 918	393
Las Mochas (Shell-CAPSA)	632 - 891	259

Tabla.N°26. Pozos y tramos consideradas dentro del Grupo Alhuampa

Control Estratigráfico en el Alto de Pampeano Oriental y Alto de Camilo Aldao (Pezzi y Mozzetic, 1989)

Las perforaciones Los Horcones 1 y 2 y El desierto CE es-1, no presentan en el registro litológico niveles atribuibles al Grupo Alhuampa, Formación Misiones y Formación Serra Geral (M. Posadas y M. Solari), como ya ha sido ampliamente expuesto en el capítulo ,los altos de la Cuenca Chacoparanense han controlado la sedimentación en extensas regiones y diversas edades. La ausencia de los niveles atribuibles al mesozoico en estas perforaciones confirma la existencia del Alto Pampeano Oriental.

El Alto de Camilo Aldao, sobre la base de la información de las perforaciones de Santiago Temple y Firmat, ha controlado la sedimentación sobre los niveles infrabasálticos que como ya se ha expresado no aparecen en el registro litológico de las mismas niveles atribuibles y correlacionables con la Formación Misiones. Los cuerpos arenosos descriptos en las perforaciones están intercalados con las rocas efusivas basálticas por lo que estratigraficametne se considera el Miembro Solari, ampliamente tratado en los apartados 4.3 y 4.4.

4.5 Conclusiones sobre la propuesta estratigrafía del área de estudio para los niveles Triásico - Cretácicos en el marco regional

La correlación propuesta se basada en perforaciones en área de llanura con escasos o distantes afloramientos y por lo tanto es conveniente considerar en la interpretación esta característica condicionante de los estudios geológicos e hidrogeológicos de la región de la Cuenca Chacoparanense.

Formación Piramboiá y Botucatú

Por debajo del complejo efusivo - sedimentario de la Formación Serra Geral se disponen las areniscas rojizas cuarzosas y las areniscas limo arcillosas caracterizadas en los pozos Federación -1, Concordia-1 y Villa Elisa -1 correlacionables con las Formaciones Rivera y Tacuarembó en Uruguay o Botucatú y Piramboiá en Brasil (ver cuadro estratigráfico), sobre la base de la litología ya tratada en los capítulos revios. En el norte el pozo Guaviraví N°1 por su proximidad a otras perforaciones, áreas de afloramiento y descripción litológica se lo correlacionará tentativamente con la Formación Botucatú, pero esta afirmación quedará pendiente a la luz de futuras perforaciones o estudios sedimentológicos y estratigráficos más detallados.

Hacia la ciudad de Colon y Concepción de Uruguay no se han encontrado en profundidad niveles representativos de estos registros, debido a la elevación de la cota del Basamento Cristalino en esa región, que pudo haber controlado la sedimentación durante el mesozoico. En favor de esta conjetura el hallazgo de los depósitos prebasálticos de la perforación en Gualeguaychú, que debido a su ubicación geográfica y litología, serían correlacionables con la Formación Piramboiá. Esta última ya ha sido anteriormente reconocida en los niveles descriptos para las limonitas prebasálticas infrayacentes a la Formación Botucatú en los pozos más al norte. En Gualeguaychú –1 la Formación Botucatú no se reconoce en el registro. Por esta razón se sugiere en base a las perforaciones más cercanas y al igual que otros autores (Chebli, Tófalo y Turazzini, 1989) interpretarlas correlacionándolas a la sección psamítica inferior, de composición limo arcillosa, se considerará correlacionable con la Formación Piramboiá. En el registro de los niveles infrabasálticos en las perforaciones Colon -1, Concepción del Uruguay CU-1, las sedimentitas prebasálticas están ausentes (las que existen son interbasalticas). En la perforación Nogoyá –1, previamente a las perforaciones en Entre Ríos citadas en este estudio, se han considerado esos niveles infrabasálticos correlacionables a la Formación Misiones en el concepto expresado por Fernández Garrasino (1996). La diferenciación, identificación y correlación de las Formaciones Botucatú y Piramboiá, a la luz del análisis de la perforaciones recientes en Entre Ríos, ha sido posible considerando su proximidad con los afloramientos en al república del Uruguay y Brasil. Se propone considerar la posibilidad de correlacionar estos los niveles comprendidos entre (1440-1850md.b.p.) en Nogoyá-1 con la Formación Piramboiá y probablemente hacia la base el miembro inferior de Yaguarí de acuerdo a la interpretación propuesta por Herbst y Zabert, (1990).

En función de lo anterior se sugiere un cuadro estratigráfico para la región (ver cuadro estratigráfico) desde el Mesozoico hasta los depósitos actuales. El mismo presenta para las arenas infrabasálticas dos niveles bien diferenciados que fueron llamados Miembro I y el Miembro II (Silva Busso, 1997. Inédito). La diferencia es que el Miembro I presenta fundamentalmente niveles de areniscas finas, muy finas y medianas de color rojizo amarillento con escasas intercalaciones de limo arcillas tal como se describe en la litología de la perforación El Miembro II se caracteriza por contener predominantemente niveles limo-arcillosos con intercalaciones de areniscas muy finas color rojo bermellón. La identificación de este Miembro se basa en las mismas interpretaciones efectuadas previamente. Por ultimo y en base a lo detallado previamente, se concluye que ambos miembros por su similitud litológica podrían correlacionarse con las Formaciones Rivera y Tacuarembó (miembro Superior e Inferior) en Uruguay o bien las Formaciones Botucatú (Miembro I) y Piramboiá (Miembro II) considerando esta última denominación por ser anterior a la propuesta en Uruguay, Argentina. y Paraguay. Sobre la base de lo expuesto anteriormente podemos definir un cuadro estratigráfico a partir de la interpretación de la información considerada.

Las tablas 20, 21 y 22 resumen los pases de los distintos contactos formacionales verificados e interpretados en las perforaciones realizadas por ANCAP yPF, Secretaría de Minería, O.S de Uruguay y los Municipios de Federación, Colón, Villa Elisa, Concordia y Concepción del Uruguay y Gualeguaychú. Los términos Formacionales Botucatú y Piramboiá en Brasil son correlacionables con las Formaciones Rivera y Tacuarembó respectivamente en Uruguay (Fernández Garrasino, 1994, 1995 y 1996). En base a la información anterior se realizaron los mapas de curvas estructurales para las Formaciones Serra Geral en Argentina. (ver mapas Cap. 7). También se realizaron los perfiles señalados en el Mapa de Síntesis (ver 7.1.7)

Los perfiles de los pozos se presentan en el anexo correspondiente, En el Mapa de Síntesis es importante destacar las diferencias altimétricas entre de los contactos reales e inferidos, o sea, entre las perforaciones y los interpretados a partir de los sondeos eléctricos verticales o la sísmica que deben considerarse como datos complementarios de las perforaciones. Así como también, la notoria variación del espesor de los basaltos y areniscas hacia el sur del área de estudio interpretda a partir de al geofísica regional. La Formación Serra Geral en el Perfil Guaviraví - Gualeguaychú, ha incluido la perforación de Guaviraví aunque no coincide exactamente con la dirección de perfil; la misma nos muestra la continuidad de los niveles de areniscas y basaltos en la Provincia de Corrientes donde existe una

reducción de los espesores de la Formación Serra Geral importante pero aún difícil de determinar si se debe a controles estructurales en profundidad o la altura del basamento de la cuenca en esa región. Aunque la perforación no llegó a la base de las Formaciones Botucatú / Piramboiá no pareciera haber una disminución importante de su espesor. En el sur de Colon, Concepción de Uruguay, Nogoyá y Gualeguaychú la estructura de bloques dificulta la interpretación de los niveles infrabasálticos. En Colón se llegó a la base de la Formación Serra Geral y su espesor coincide con la disminución gradual. La existencia de una mineralización más ácida rellenando microfracturas y los cuerpos subefusivos son un indicativo de la posibilidad de eventos póstumos relacionados con la cercanía de un "neck" volcánico definido por geofísica (Vila, 1962) en la zonas de 1 de Mayo, a menos de 17 Km de la perforación. En Colón y Concepción del Uruguay la Formación Serra Geral, la elevación del Basamento cristalino, apoyaría sobre un posible alto local del basamento asociado a un antiguo fallamiento. En Gualeguaychú los niveles prebasálticos atravesados de litología limo-arcillosa se corresponden con los descriptos en el pozo Nogoyá N°1 definidos como Formación Misiones (Fernández Garrasino, 1996) considerándoselos en este estudio como correlacionables con la Formación Piramboiá, probable expresión de las variaciones laterales hacia el oeste de las Formaciones Botucatú / Piramboiá del Brasil y Rivera / Tacuarembó del Uruguay. Las posibles interpretaciones estratigráficas se verificarán en lo sucesivo como consecuencia de nuevas perforaciones o prospecciones geofísicas, pero esta interpretación tiene significado como posible límite del acuífero termal y en particular del acuífero contenido en la Formación Botucatú.

De acuerdo con lo expuesto, las secuencias basálticas y las areniscas infrabasálticas descriptas poseen las características litológicas comparables con las perforaciones y afloramientos en Uruguay. Estas poseen una continuidad litológica y disposición estratigráfica en profundidad similar a las descriptas en las perforaciones de la Provincia de Entre Ríos. Además, puede extenderse este criterio de continuidad hacia el norte hasta al menos el pozo Guaviraví -1 en Corrientes, al sur hasta el pozo de Colon-1 en Entre Ríos y al oeste tomaremos como límite probable el meridiano de 58°30' que atraviesa la Provincia de Entre Ríos (a pocos kilómetros al oeste del pozo Villa Elisa-1). Este criterio lo circunscribe en un área que resulta apropiada para el estudio hidrogeológico y como lo han descripto distintos autores (Padula y Mingramm, 1968; Fernández Garrasino, 1991,1992,1993,1994,1995) constituye una subcuenca local que evidencia una profundización en dirección Sudoeste de la provincia de Entre Ríos cuyo depocentro puede relacionarse con la subcuenca de Rosario.

No hay evidencia, sobre la base de la información actual, de un posible control de la sedimentación por parte del basamento al sur de la provincia relacionado con el " Alto de Asunción ", (Fernández Garrasino, 1989) para las edades Triásico - Jurásico en esta zona de la cuenca. Considerando los lineamientos expuestos en el apartado 4..5. que harían suponer un sistema de bloques relacionados a antiguos fallamientos observándose una profundización de la cuenca en la perforación Nogoya-1 y Gualeguaychú - 1.

Además entre Colón -1 y Villa Elisa -1 a una distancia de 30Km los contactos geológicos de las Unidades Formacionales del registro geológico de pozo se desfasan en deferencias del orden de casi cien metros con espesores de coladas basálticas relativamente comparables. Rasgo geológico que además coincide con la interpretación de anomalías magnetométricas en la zona de 1 de Mayo, a 17 kilómetros de ambas localidades, interpretadas como un posible "neck" volcánico (Vila, 1962). Como ya se ha expresado en 4.5 estas diferencias altimetrías de los contactos entre todas las perforaciones con mayor o menor importancia suelen coincidir con cursos fluviales convenientemente orientados. Esto puede indicar cierto grado de control estructural determinado por posibles fallas que controlan una antiguo sistema de bloques. Pero esta posibilidad solo puede tenerse en cuenta como una inferencia en base a la profundidad de los contactos y su variación en las perforaciones conjuntamente con otras causas que junto con las litoestratigráficas ya desarrolladas a lo largo del capítulo 4, e hidrogeológicas que se verán en los capítulos sucesivos solo pueden verificarse con un adecuado estudio estructural cuya información hoy en día es insuficiente en esta región.

Hacia el oeste del Río Paraná las perforaciones en la cuenca realizadas por la Ex-YPF y la Secretaría de Minería, reinterpretadas en este estudio nos permite verificar que la Formación Serra Geral se extiende hacia el oeste de la cuenca aproximadamente hasta las provincias de Santa Fe, Formosa y Chaco, llegando hasta Sierras Pampeanas en la provincia de Córdoba como se observa en las perforaciones de Ordoñez, Camilo Aldao o el sur de Santa Fe en Firmat. Las areniscas infrayacentes en estas localidades son atribuibles a la Formación Misiones (Fernández Garrasino, 1996) en las perforaciones donde puede verificarse la existencia en profundidad del complejo efusivo volcánico. Las intrusiones diabásicas se consideran también relacionadas a este evento y por tanto corresponden a la Formación Serra Geral, pero no son un criterio válido para la identificación en profundidad de las areniscas infrabasálticas. Estos cuerpos intrusivos suelen alojarse en niveles geológicos claramente atribuibles al paleozoico (Firmat-1 y Las Mochas-1) e incluso en Basamento (Colón-1) y no pueden considerase como niveles estratigráficos de referencia.

Las perforaciones realizadas en el oeste de la provincia de Chaco, Santiago de Estero y Formosa en las cuales no se ha atravesado el complejo efusivo volcánico o Formación Serra Geral es difícil determinar la correcta correlación de los depósitos de areniscas rojizas continentales que han sido denominadas frecuentemente con los nombres de Formación Tacuarembó, Mariano Boedo e incluso Buena Vista. La información litológica existente hace difícil determinar los pases formacionales de dichos sedimentos que, de acuerdo a las descripciones los recortes de perforación, no se corresponden litológicamente o bien se encuentran ausentes en el registro como en las perforaciones de Los Horcones, el Desierto y Santiago Temple sobre el Alto Pampeano Oriental (ver figuras 3, 4 y 5) según Pezzi y Mozetic, (1990). Sobre la base de los perfiles coronados y recortes reinterpretados en algunos de estos pozos se considerara en este estudio que el conjunto sedimentario considerado será referido bajo la denominación de Grupo Alhuampa (Padula y Mingramm, 1968) definido en aquellas perforaciones donde la diferenciación del paquete sedimentario se ve dificultado por falta de información de superficie, de profundidad o variaciones laterales de las unidades sedimentarios consideradas El mapa de distribución de estos niveles en profundidad (ver 7.1.1) en la Cuenca Chacoparanense se presenta en el capítulo 7 y hacia el oeste de la cuenca fue confeccionado en base a los criterios regionales sugeridos por Padula y Mingramm (1968) y más recientemente por Fernández Garrasino (1994, 1995 y 1996). Hacia el este, en la Región Mesopotámica se consideran los criterios ya expresados previamente en este capítulo. A continuación se propone un cuadro estratigráfico actualizado a la luz de los datos de las nuevas perforaciones

Formación Serra Geral

Considerado lo expuesto, la Formación Serra Geral se extiende arealmente en el subsuelo de la provincia de Entre Ríos y Corrientes intercalando niveles de areniscas bien diferenciadas correspondientes al Miembro Solari (Herbst, Santa Cruz, 1985) de la Formación Serra Geral. Esta interpretación realizada en este estudio para la región se refiere al paquete inerdigitado de coladas basálticas y areniscas cuya posición en la estratigrafía es difícil de determinar y cuya edad esta conferida por su relación con las coladas basálticas. Es notorio destacar que en muchas de los afloramientos y las perforaciones previas a las estudiadas en este trabajo los niveles intercalados en las coladas fueron interpretados como correspondientes a las Formación Fray Bentos de edad Eocena que por sus características geológicas y génesis dichos depósitos aparecen bien diferenciados al Miembro Solari y a la Formación Botucatú. Las interpretaciones son más confusas en las perforaciones al oeste del río Paraná efectuadas por las empresas petroleras o por la Ex Secretaría de Minería de la Nación y muy frecuente en áreas donde en le registro no aparecen representados los niveles basálticos de la Formación Serra Geral. Los niveles de diabasas en la región intruyen frecuentemente las sedimentitas infrayacentes al Mesozoico (pozos Las Mochas -1 y Firmat -1, Santa Fe), estos ultimas son considerados como correspondientes a la Formación Serra Geral. Estratigraficamente consideraremos que los niveles de arenas intercalados en las coladas volcánicas corresponden al Miembro Solari, sin

embargo, los niveles de arenas que infrayacen a las vulcanitas y estén intruídas por las diabasas corresponderán a las areniscas prebasálticas de la región.

Como se ha expuesto en los apartados 4.1, 4.2, 4.3 y 4.5 nos permite concluir que la Formación Serra Geral en área de estudio se define en profundidad a partir de las perforaciones en la región. Todas las perforaciones del litoral Entrerriano Oriental han atravesado niveles de vulcanitas atribuibles a este término formacional. Las perforaciones previas en Guaviraví y Nogoyá han atravesado también estos niveles en los intervalos y características oportunamente citados. En todas las perforaciones que han poseído perfilaje de pozos y recortes de perforación se ha podido identificar la profundidad y espesor de los niveles intercalados de areniscas correspondientes al Miembro Solari y la intensa fracturación del Miembro Posadas, ambas características de importancia hidrogeológica. La perforación Colón –1 atraviesa niveles de una secuencia volcánica que en su intervalo inferior (765m.b.b.p.-886m.b.b.p.) presenta en la roca volcánica de composición basáltica una fracturación microscópica que se ha rellenado tardíamente de cuarzo, plagioclasas ácidas y biotita (ver 4.3). Este tipo de asociación mineralógica más ácida y el cuerpo subefusivos de composición basalto-andesítica (1250-1265) que intruye en profundidad el Basamento Cristalino podría interpretarse como la cristalización de flujos póstumos de origen volcánico considerando la anomalía gravimétrica cercana de la localidad de 1 de Mayo (ver 4.6).

Estas características permiten correlacionar estas secuencias volcánicas con los similares términos formacionales definidos en la Cuenca Chacoparanense, desde la región occidental en Argentina, como ya se ha definido, hasta la región oriental y nororiental en Brasil, Paraguay y Uruguay

4.6 Lineamientos estructurales y propuesta de un modelo de control estructural para los niveles Jurásico - Cretácicos en la Provincia de Entre Ríos

Araujo et.al., (1995) han propuesto para la cuenca y sobre el acuífero termal en Brasil cuatro factores de importancia:

- Depocentros lávicos correspondientes a la Formación Serra Geral
- Activación regional de los sistemas de fallas
- Reactivación de arcos
- Levantamiento de los bordes actuales a causa de movimientos verticales

Un bajo estructural definido por la base de la Formación Serra Geral aparece delineando un rumbo NNE-SSO coincidiendo con el eje deposicional de la cuenca. Sobre este eje los citados autores han definido tres depocentros uno en el estado de Paraná (Brasil) y dos en Sao Pablo (Brasil). Su origen se lo considera relacionado con un gradual aumento costero en brasil a consecuencia de una reactivación de los fallamientos E-O. Una interpretación tectónica propuesta por Araujo et.al., (1995) se resume considerando que los movimientos verticales ascendentes en el borde de la cuenca, que tuvieron lugar durante la fase de "rift", (momento de la separación de América del Sur y Africa), a través del efecto "shoulder" del rift en la margen este y por la orogénesis andina en la margen oeste fueron responsables de la actual configuración estructural de la cuenca. Siendo de importancia los arcos de Punta Grosa y Río Grande como divisorias hidrogeológicas del sistema acuífero. La reactivación de este último durante la fase de rift generó un alto estructural que separó en dos la cuenca, una al noroeste mayoritariamente en territorio brasileño y otra al sudoeste en Argentina, Uruguay y Paraguay (ver mapa de la figura 1 y 2).

Este criterio es importante para comprender regionalmente la extensión y variabilidad de los acuíferos contenidos por las unidades mesozoicas en toda la Cuenca Chacoparanense, considerando que los altos referidos pueden eventualmente considerarse límites de cuenca y divisorias de aguas subterráneas.

En función de lo expuesto el mesozoico de la región mesopotámica presenta rasgos geológicos característicos de la Cuenca Chacoparanense en Brasil diferenciándola de las unidades del subsuelo al oeste de la misma en Argentina. Sin embargo, sus similitudes estratigráficas y estructurales con la región noreste de la cuenca en Brasil, si bien controlan, no determinan en su conjunto el único factor de importancia hidrogeológica. La información de subsuelo obtenida a partir de diferentes estudios geofísicos, perforaciones y rasgos geomorfológicos superficiales constituyen la base de un modelo estructural propuesto para el área de estudio. La información considerada y existente es fundamentalmente de la Provincia de Entre Ríos, Corrientes y el litoral de la República del Uruguay y la misma se agrupa según:

De superficie

- Imágenes Satelitales: Tipo MSS y Landsat TM
- Cartografía: Hojas hidrológicas INCyTH N° 7, 8 y 10 (Ferreiro, et.al.1993 y 1994)

De subsuelo

- Perforaciones (ver apartados 4.1 al 4.5)
- Sísmica de Refracción (Secretaría de Energía, Inédito)
- Magnetometría
- Gravimetría
- Magnetotelúrica
- Geoeléctrica

Las prospecciones sísmicas en la zona fueron realizadas por YPF y constituyen fundamentalmente la sísmica de apoyatura a las perforaciones de estudios de la región. Las mismas fueron realizadas durante la década del 40 y la tecnología del momento no permitía una resolución adecuada de los niveles de profundidad, a causa de el espesor de la cubierta basáltica que enmascara o distorsiona la señal Según Rey, (1945) la velocidad de propagación horizontal de las rocas volcánicas es de 5500 m/s muy superior a la velocidad del sustrato infrayacente lo que dificulta su correcta interpretación. En este estudio fueron útiles para determinar la profundidad del techo de la Formación Serra Geral y el espesor de la cubierta sedimentaria suprayacente.

En base a la información de YPF (Secretaría de Energía, Inédito) se incluyó en el mapa 7.1.1 y 7.1.2 los puntos de muestreo, perfiles geológicos y síntesis de la información de subsuelo, las profundidades y velocidades de propagación de la roca volcánica en subsuelo (F. Serra Geral). Las líneas sísmicas se realizaron en sentido Este-Oeste en el centro sur de la provincia de Entre Ríos, siendo los perfiles de mayor interés los realizados entre Victoria - Concepción del Uruguay siguiendo la traza de la ruta prov. 131 y Gualeguay - Gualeguaychú siguiendo aproximadamente la traza de la ruta prov. 16.

Las líneas sísmicas se realizaron a ambas márgenes de los Arroyos Nogoyá, Gualeguaychú y Gualeguay que discurren en dirección Norte-Sur. Se consideró la velocidad representativa de las vulcanitas basálticas del techo de la formación las comprendidas entre 4850 -5800 m/s, diferenciándose de la velocidad de propagación en la cubierta sedimentaria suprayacente que oscila entre 1700-2400 m/s.

De acuerdo a esta diferenciación y atribuyendo el cambio de velocidades al límite geólogico entre el complejo volcánico y los sedimentos superiores (Rey, 1945), se observa una profundización de dicho contacto en sentido NE-SO y E-O, que en su expresión superficial puede considerarse como los lineamientos principales que afectan a los niveles mesozoicos y los acuíferos por ellos contenidos en el área de estudio. Es discutible si estos lineamientos se correlacionan con fallamientos o la morfología de la coladas basálticas en profundidad, dicho análisis estructural no es un objetivo en este estudio. Desde el punto de vista hidrogeológico los cambios litológicos laterales debidos a la profundización del contacto señalado entre vulcanitas y cubierta sedimentaria tiene un

importante control sobre los acuíferos de la región porque se relaciona con límites de calidad de sus aguas, variaciones en sus propiedades hidráulicas y termométricos.

La relación entre la geología de subsuelo y la geomorfología fluvial de superficie sobre el complejo efusivo aflorante en Uruguay ha sido objeto de diversos estudios. El basamento pre - Devónico regional (figura 7) presenta la estructura propuesta por Gómez Rifas et.al., (1996) donde describe las principales cuencas de la región comprendida entre el sur y sudoeste del Uruguay y el este de la Prov. de Ente Ríos, Argentina. Las mismas son asociadas a las depresiones tectónicas o graben de Guichón, Santa Lucía, Merlín - Pelotas y Marmaraja. Los horst más importantes son el de La Plata y Cerrito de la Victoria. Pueden definirse también las suturas y grandes fallas regionales (Baldis et al., 1984, 1985; Gómez Rifas, 1996; Mantovani, 1995; De Santana et.al., 1994) determinadas a partir de datos de perforaciones, mapeo geofísico y rasgos geológicos y geomorfológicos de superficie a partir de imágenes LANDSAT TM (González Rifas, Mazquelin, 1996).

La red de drenaje superficial, las características geomorfológicas y geográficas del área de estudio y probablemente de la Provincia de Entre Ríos presenta una disposición tal que ha sido relacionada con algunas de las fallas regionales tanscurrentes (rumbo NO-SE) antes citadas, (Padula y Mingramm, 1968; González Rifas, Mazquelin, 1996). Las hojas hidrológicas del INCyTH Río Paraná y Río de la Plata (Ferreiro, 1993, 1994) fuero interpretadas a partir de las imágenes satelitales LANDSAT (1980 y 1981) color compuesto, complementada con las hojas del IGM a escalas 1:500000 y 1:250000 para compensar la imagen, de forma similar a la interpretación de Gómez Rifas et.al., (1996) para el sur y sudeste del Uruguay.

Sobre la base de lo expuesto el diseño de la red de drenaje y características geográficas nos permite inferir que la traza de los cursos fluviales parecería relacionarse no solamente con los fallamientos más importantes de la zona, sino también con los sistemas de fallas de menor extensión e igual rumbo y sistemas de fallas de la región de rumbo N-S y NE-SE. El mapa de lineamientos estructurales (ver 7.1.3) propone una posible interpretación estructural inferida a partir de la información citada completada con la obtenida recientemente de las perforaciones y prospecciones geofísicas en las localidades de estudio.

Las prospección aeromagnética interpretada por Vila, (1962) fue realizada como parte de las operaciones de exploración de la ExYPF en la región. El autor realiza una interpretación cualitativa de las anomalías magnéticas en la región de la prov. de Entre Ríos comprendida básicamente entre las localidades de Paraná, la traza de la ruta 18, la ruta 131al sur y al este la ruta 194 hasta Concepción del Uruguay. Se empleó variómetros de Shmidl en dispositivo aéreo a 600m de altura. El resultado de las mismas se presentan en la figuras contiguas comprendiendo el área de Concepción de Uruguay - San José - Caseros. Entre las interpretaciones propuestas se determinó que la anomalía de la Ea. San Cristobal en la localidad de 1 de Mayo corresponde a un cuerpo vertical de imanación invertida, característica de las chimeneas volcánicas de magmatismo básico (Vila, 1962). Se propone una profundidad de 2.2 km para el cuerpo vertical, si bien considera que no debe tomarse a toda el área con imanación uniforme y recomienda estudios de detalle, se concluye que la anomalía de 1 de Mayo puede corresponder a una antigua chimenea volcánica relacionada con líneas de fracturación en la corteza que probablemente condicione la red de drenaje natural y los ríos de la región. Guspi, (1991) realiza un cálculo aproximado de campos potenciales originados por estructuras de revolución en torno a un eje vertical. Tomando como ejemplo las anomalías aeromagnéticas de la región de 1 de Mayo en Entre Ríos y modeliza las supuestas anomalías en 2D o 3D concluyendo con un modelo de chimenea de 10,5 Km de profundidad y entre 2 a 4km de radio. En tal caso es plausible suponer un aumento de espesor de la Formación Serra Geral cerca de estos centros efusivos por el apilamiento de las coladas lávicas en la dirección en que originalmente se hayan desplazado.

Los estudios gravimétricos realizados por Introcaso y Gerster, (1985) proponen una interpretación que considera la posibilidad de zonas de efusión de derrames lávicos a partir de la anomalías de Bouguer registradas en los perfiles gravimétricos y las perforaciones de Camilo

Aldao, Ordoñez y Saira en la Prov. de Córdoba y un perfil Nogoyá(Arg.)-Paso Ulliestre (ROU)-Rincón del Bonete(ROU). partiendo del supuesto de que la extensión de las lavas no supera los 100 Km de radio a causa de la pendiente regional y el contraste gravimétrico de estos puntos con la cubierta sedimentaria. Se señalaron posibles centros efusivos en Córdoba y en la localidad de 1 de Mayo en la Provincia de Entre Ríos de forma que existiría cierta coincidencia entre las interpretaciones gravimétricas y aeromagnéticas. Estas interpretaciones serian coincidentes con las ya conocidas para la Formación Serra Geral (Brasil) (Leiz et.al., 1966) y son criterios válidos para relacionar los lineamientos superficiales con estructuras de profundidad relacionadas con el sistema extensional mesozoico de la región.

Según la Carta Gravimétrica del IFIR. (Introcaso, 1996) existe clara correspondencia entre la distribución de las curvas isogálicas y el relieve del basamento en profundidad como puede observarse en el mapa de lineamientos estructurales (7.1.3) donde han sido incluidas estas. Los estudios de Magnetotelúrica realizados por Mamani, Venecia y Maidana, (1992) en el área de San José, a 5 Kilometros al norte de Colón concluyen en presentar un modelo de 5 capas prediciendo el basamento eléctrico (basamento geológico?) a 5128 m desde superficie. Dentro de las conclusiones se propone también un perfil magnetotelúrico que modeliza al conjunto sedimentario con pases a los 511 (primer paquete sedimentario), 680 (acuífero superior), 1200 (cubierta basáltica) y 4080 (acuíferos inferiores) en metros desde superficie. Esta interpretación geológica no condice con los resultados de las perforaciones realizadas en el área de Colón, sin embargo sería posible reinterpretarlas sobre la base de la nueva información de las perforaciones.

Las prospecciones geoeléctricas fueron realizadas con el objetivo de identificar niveles resistivos en profundidad que puedan atribuirse a la respuesta del acuífero termal. Se interpretará esta información con más detalle en el capítulo 5.1. Regionalmente el complejo efusivo presenta variaciones de resistividades debido a que el agua que contiene en sus fracturas o sedimentos intercalados (M. Solari) controlan esta variación. Por lo tanto es conveniente considerar que en base a las prospecciones realizadas (Ponti y Pastore, 1992; Bertolini y Tomas, 1992; Díaz, Sanguinetti, Dallacosta, 1993; Pastore, 1998; Ponti et.al., 1997; Kruse et. al., 1998; Informe Geoconsult S.A., 1996), las resistividades toman valores entre 80 - 200 ohm.m para el complejo efusivo. Poseen buena resolución y se diferencian de la cubierta sedimentaria suprabasaltica, pero muy pocos sondeos logran resolver y diferenciar los niveles infrabasalticos. Por esta razón, en este apartado, solo se considerará de valor estratigráfico el pase resistivo superior del complejo efusivo, correlacionable con el techo de la Formación Serra Geral.

Sobre la base de la estratigrafía de las perforaciones más recientes en la región se confeccionaron los cortes geológicos y un diagrama de bloques 3D dividido en tres secciones para su mejor interpretación (Sur, Centro y Norte) presentados a continuación indicados con el nombre de las localidades más cercanas para facilitar su lectura.

Cortes:

- Gualeguaychú -Federación (N-S)
- Federación - Guaviraví (NE-SO)
- Paso Ulliestre - Guaviraví (N-S)
- Villa Gral. Ramírez - Almirón (E-O)
- La Paz - Artigas (E-O)
- Gualeguay - Salsipuedes (E-O)
- Concordia - Daymán (E-O)
- Villa Elisa – Colón - Guaviyú (E-O)

Bloque 3D:

- Bloque Sur
- Bloque Centro
- Bloque Norte

Los rasgos estructurales que controlan los niveles profundos previos al Plio-pleistoceno de la Cuenca Chacoparanense Argentina han sido objeto de diversas interpretaciones por diversos autores. Stappenbeck, (1926) sugiere un sistema de fallas directas y bloques tipo "graben" que controlarían al menos al Mioceno y la unidades infrayacentes considerando un perfil idealizado entre las Sierras Pampeana (córdoba) y el Uruguay como el de la figura 8. Más recientemente el CFI, (1962) presenta una interpretación estructural caracterizada por fallamientos directos y tectónica de bloques que controla la estratigráfica del Mioceno, representada por la transgresión marina de la Formación Paraná y más notoriamente representado por los depósitos mesozoicos de la región (Figura 9). En el área de estudio, Tujchneider y Fili, (1988) proponen un perfil geológico regional como el de la figura 10, restringido al área de la cuenca hídrica del Arroyo Feliciano, cuya perforación más profunda es la de Estación Estacas (que no supera los 400 metros), razón por la cual no se presentan elementos estructurales en el perfil. La figura 11 muestra un perfil muy idealizado realizado por Araujo et.al., (1995) que adolece de falta de información suficiente para realizar un modelo estructural más complejo.

Los rasgos estructurales de la cuenca intracratónica Chacoparanense varían significativamente a lo largo de toda su extensión controlada por el ambiente deposicional y evolución estructural. Los cortes geológicos y bloques diagrama (ver cortes y bloques al final del capítulo 4) permiten interpretar la geometría y disposición en profundidad de los niveles de interés, tienen como fundamental objetivo ser la base estructural y estratigráfica de los acuíferos de la región y en particular del Sistema Acuífero Termal. Estos incluyen también las interpretaciones de las prospecciones sísmicas correspondientes al techo de la Formación Serra Geral y la geoeléctrica regional. Los perfiles de rumbo Norte-Sur y Noreste-Suroeste correspondientes a los pozos en la costa argentina y uruguaya, muestran un descenso altimétrico del techo de la Formación Serra Geral, más notorio al sur de Concordia -1 en la banda argentina y de Daymán -1 en la banda uruguaya. La altimetría del techo de las formaciones infrayacentes (Formación Botucatú y Piramboiá) también disminuye en igual dirección conservando su espesores en el mismo orden de magnitud en el tramo Federación-Concordia y Arapey-Daymán. El espesor de la Formación Serra Geral disminuye notoriamente hacia el norte hasta Guaviraví donde es posible suponer un sistema de fallas que lo controlan (Padula y Mingramm, 1968). Hacia el sur de Concordia - 1 y en particular en el tramo entre Colón -1 / Gualeguaychú -1, la altimetría del techo de Serra Geral disminuye gradualmente, pero la base aumenta poco altimetricamente hasta que en Colón - 1 alcanzando un espesor de 634 metros; pero la base se encuentra a los 886m.b.b.p., apoyando directamente sobre el Basamento Cristalino, hecho no verificado en los pozos de Federación y Concordia. Esto se evidencia hacia el sur donde disminuye más su espesor y la base gana altura (651m.b.b.p.), este control estructural es de importancia hidrogeológica independiente de la profundización del basamento en el pozo Gualeguaychú-1 (ver capítulo 5).

Los perfiles Este- Oeste muestran una altimetría descendente del techo y base de la Formación Serra Geral, Botucatú/Piramboiá, los mismos pueden verse con más detalle en el corte Villa Elisa -Daymán. Estratigráficametne es importante mencionar que los niveles suprabasaltios al este de Villa Elisa (exclusive) son de origen continental en toda la columna, las Formaciones Puerto Yeruá, Arroyo Avalos o Fray Bentos (Tófalo, 1986), Formación Ituzaingó (De Alba, 1953, Herbst 1971), Formación Salto Chico (Rimoldi, 1963), Formación Hernandarias (Gentile y Rimoldi, 1979) y unidades recientes corresponden a sedimentos de origen continental. Al oeste de la perforación Villa Elisa -1 (inclusive) la columna estratigráfica de los pozos incluye la Formación Paraná (D'Orbigny, 1842; Bravard, 1858; Doering, 1882) de origen marino. En síntesis, haciendo una interpretación general de los cortes indicados puede concluirse que la zona de estudio dentro de la cuenca presenta una profundización en dirección Noreste-Suroeste en el sentido de las perforaciones Guaviraví -1 hacia Nogoyá -1 constituyendo una subcuenca, interpretación que coincide con las realizadas por Padula y Mingramm (1968). En la región del área de estudio las estructuras de bloques en profundidad, consecuentes del evento tecto-efusivo que originó las vulcanitas de la Formación Serra Geral, tienen

control, al menos sobre los niveles Mesozoicos infrabasalticos y muy posiblemente haya condicionado los procesos de sedimentación de gran parte de los depósitos suprabasalticos hasta los más recientes. Coincidiendo con interpretaciones previas en la región (Pasotti, 1974 y 1982). Para Tuchjnaider y Filí, (1987) este control de las estructuras de profundidad es verificable en el Arroyo Feliciano y muy posiblemente en los principales cursos fluviales de la provincia de Entre Ríos que han sido relacionados con rasgos o lineamientos estructurales regionales (Padula y Mingramm, 1968).

La menor altimetría de techo y base, la disminución de espesor, la mineralización en microfracturas y existencia de cuerpos subefusivos más antiguos, de la Formación Serra Geral en la perforación Colón -1 (ver perfiles), conjuntamente con la diferencia altimétrica del techo entre esta y la perforación de Villa Elisa -1, la cercanía de la anomalía magnética de 1 de Mayo (Vila, 1962), la prospección geoeléctrica de la Ciudad de Colón (Díaz, Sanguinetti y Dallacosta, 1993) circunscriben un área superficial de 20 Km de radio que contribuye a la interpretación relacionada con la posible existencia de una chimenea volcánica en profundidad (Vila, 1962). El perfil magnetotelúrico Mamani, Venecia y Maidana (1992) puede reinterpretarse considerando que la profundización de la Formación Serra Geral en área de Colón de tal forma el intervalo propuesto hasta 680 metros corresponde a la cubierta sedimentaria suprabasaltica y el intervalo de la Formación Serra Geral que intercala los miembros clásticos productores de agua termal (M. Solari) de la de 1200 -4081 metros sería atribuible también a la respuesta del evento efusivo en lugar de niveles sedimentarios infrabasalticos.

Sobre la base de esta interpretación se aceptaran como probables los siguiente criterios como fundamento de la estratigrafía y geometría de los acuíferos contenidos en las Formaciones Serra Geral y Botucatú. Considerándose este como el modelo estructural posible del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina.

- Las unidades geológicas definidas en los afloramientos y perforaciones de la República Oriental del Uruguay poseen continuidad litológica y estratigráfica en las perforaciones realizadas hacia el oeste sobre el sector Argentino, al menos para la región de la Mesopotamia. En el área de estudio en Entre Ríos este criterio puede precisarse al menos hasta la cuenca del Río Gualeguay en el centro y sur de la provincia y hasta las localidades de San Salvador -Chajarí - Guaviraví (Corrientes) en el norte. Este área puede considerarse en profundidad y para edades mesozoicas como dominio de las Formaciones Serra Geral, Botucatú y Piramboiá tomando y recomendando la nomenclatura empleada en Brasil, por ser estos los primeros en definir los estratos tipo de estas unidades en la Cuenca Chacoparanense, (ver mapas del capítulo 7).
- Las unidades geológicas definidas en las perforaciones de Nogoyá y Gualeguay al sur y al oeste de la zona de estudio en la provincia de Entre Ríos poseen una posición estratigráfica similar, con variaciones litológicas que permiten una adecuada identificación de las unidades y es conveniente considerarlas como correlacionables con las unidades definidas en el Uruguay y Brasil. La perforación Gualeguay–1 posee niveles que representan litológica y estratigraficamente a ambas unidades y en el caso particular de la perforación Nogoyá ENR-1x dada la ausencia de términos comparables a las eolianitas, se consideraran estos niveles correlacionables con la Formación Piramboiá (Herbst y Zabert, 1990).
- Atendiendo al concepto definido por Fernández Garrasino, (1996) para la Formación Misiones en Argentina, se considerará también dentro de esta unidad estratigráfica a los niveles atravesados para estas edades (Triásico-Jurásicas) en las perforaciones al oeste de la cuenca a saber Firmat-1, Las Mochas-1, Mariano Boedo FMB-1X, Ordoñez CO-1x, Camilo Aldao CCA-1x, Ceres, San Cristobal - 1 y 2, (ver mapa regional capítulo 7, 7.1.1).
- Las perforaciones de la región norte y este de la Cuenca Chacoparanense denominadas Arbol Blanco SEAB-1x, Pirané FP-1x, Charata ChCH-1x, Las Breñas Y y II ChLB-1x/2x, Las Breñas Oriental, El Caburé SEEC-1x y Campo Gallo SECG-1x, no permiten una adecuada identificación de las unidades a causa de las variaciones litológicas, su distancia a las áreas donde fueron

identificados los estratos tipo y la altura y relación estratigráfica con las unidades infra y suprayacentes. Por ello se sugiere preservar la denominación de Grupo Alhuampa (Padula y Mingramm, 1968) para el conjunto sedimentario de posible correlación con las unidades clásticas mesozoicas de la cuenca en las perforaciones donde la ausencia del complejo efusivo no permite una adecuada correlación.

- En la Provincia de Entre Ríos existe cierto grado de control superficial de las estructuras extensionales relacionadas con el proceso tecto-efusivo que origino las vulcanitas de la denominada Formación Serra Geral. Estas estructuras de profundidad que podrían tener influencia sobre los niveles geológicos más recientes y en ocasiones llegan incluso al cuaternario (ver apartados 4.5 y 4.6) determinando cierto control sobre las características geomorfológicas de la región. Por ser la zona de estudio un área donde los procesos fluviales son de mayor importancia en la modelación del paisaje estos pueden considerarse una expresión superficial de los lineamientos estructurales en profundidad.
- Sobre la base de lo anterior, la región se vería afectada por al menos tres sistemas de lineamientos (posibles fallas); uno de rumbo NO-SE; uno de rumbo NE-SO y uno de rumbo N-S. Este control estructural controla la estratigrafía y es la base para una adecuada interpretación de la geología mesozoica de profundidad en la región y en el área de estudio.
- En función de la historia geológica de la región es posible suponer que los procesos tectónicos sobreimpuestos también pudieron actuar como un control estructural de los distintos procesos deposicionales sincrónicos. Coincidiendo con la interpretación propuesta por Padula y Mingramm (1968); Chebli et.al., (1989); Fernández Garrasino, (1996) la cuenca en el área de estudio muestra una profundización NE-SO hacia la perforación Nogoyá ERN-1x posiblemente controlada por estructura de bloques con fracturas NE-SO correspondientes a los lineamientos NE. (ver figura 6) de Chebli et.al., (1989), regionales y de falla única y los de rumbo NO-SE., consecuentes de la reactivación tectónica durante la separación de Godwana de fallas existentes e incluso generando nuevas familias de fallas que favorecieron la intrusión ígnea en profundidad (Zalán, et.al., 1987; Chebl et.al., 1989), estas nuevas familias pueden adquirir rumbo N-S como ya se ha indicado Este control de profundidad puede involucrar el Basamento cristalino de la misma (como se observa en las perforaciones de Nogoyá ERN-1x, Concepción del Uruguay -1, Gualeguaychú -1 y Gualeguay-4) que hacia el sur pareciera elevarse altimetricamente constituyendo un "alto", el denominado "Alto del Río del Plata" controlando la sedimentación al menos hasta las unidades de edad pli-pleistocena de la región sur del área de estudio. Este aumento altimétrico del basamento hacia el este ha sido identificado por Introcaso, (1996) en la carta gravimétrica del IFIR. e incluido en el mapa de lineamientos estructurales (ver 7.1.3).
- El control estructural propuesto en ese estudio tiene influencia sobre los límites estratigráficos y estructurales, geometría de las unidades geológicas, áreas de carga y descarga, direcciones de flujo, relación de presiones e hidroquímica del Sistema Acuífero Termal en el área de estudio, con probable influencia sobre los acuíferos contenidos en las unidades Suprabasálticas.
- La estratigrafía y geología estructural de la cuenca en Brasil son comparables con las del área de estudio en Argentina y Uruguay originadas de un conjunto de procesos tecto-efusivos y tecto-sedimentarios en común que ocurrieron durante el mesozoico. Los acuíferos de las Formaciones Serra Geral y Botucatú están controlados por las estructuras mencionadas, aunque, como se verá en el capítulo 5, las características hidrológicas del área de estudio que conjuntamente la disposición de los depocentros y altos de la cuenca, los particularizan de los acuíferos contenidos en el noreste de la cuenca en Brasil.

CAPITULO 5. HIDROGEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

"Otro tanto digo del Río de la Plata por la banda sur.
como esta roca interior no deja penetrar bien adentro
las aguas de lluvia, resulta que ningún pozo es profundo
y para encontrar agua si la hay, basta ahondar un poco
en la primera depresión que se presente"

Felix de Azara, 1797

5. HIDROGEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

5.1. Hidrogeología General propuesta para el área de estudio

En la República Argentina el área estudiada, comprende la zona central–este de la Provincia de Entre Ríos limitada al sur por el Delta del Paraná, al Norte por los Arroyos Feliciano y Guayquiraró pudiendo incluir la región sudoriental de la Provincia de Corrientes, hacia el este el río Uruguay y el Río Paraná al oeste. Eventualmente se incluirá en este estudio unidades acuíferas relacionadas en la región occidental del Uruguay, Río Grande do Sul, Brasil, y la Prov. de Santa Fe en Argentina. La estratigrafía se presenta sobre la base de diversos autores y la hidroestratigrafía que se propone intenta incluir las propuestas del CFI-EASNE (1972), por Sala (1975, 1983) y Bonorino (1988) referidas a la hidroestratigrafía en extensas regiones particularmente de Buenos Aires y Santa Fe y los acuíferos definidos y estudiados en Uruguay (MGAP-MTOP-BIRF, 1995; Carta Hidrogeológica de la R O. del Uruguay, 1986). El siguiente cuadro resume el criterio propuesto:

EASNE, (1972);Sala, (1975)	**Sala, (1983), Bonorino, (1988)**	**Silva Busso, 1999**
Epipuelches	Epiparaneana	Sección Suprabasáltica
Puelches		
Hipopuelches	Paraneana	
	Hipoparaneana	
		Sección Interbasáltica
		Sección Infrabasáltica

La región se caracteriza de otras en que el control estructural adquiere mayor importancia sobre el comportamiento hidráulico e hidroquímico de los acuíferos. Para Filí y Tujchneider (1977) este control de las estructuras de profundidad es verificable en el Arroyo Feliciano y muy posiblemente en los principales cursos fluviales de la provincia de Entre Ríos. Además se conoce la influencia de las variaciones estratigráficas sobre la geohidrología de los acuíferos en esta región (Filí, Pérez, Tujchneider, Paris y D Elia, 1997). Estas características regionales permiten proponer el cuadro hidroestratigráfico para la región, considerando toda la columna estratigráfica y características estructurales propuestas en el capítulo 4.

5.1.1 El Basamento Hidrogeológico de la Región

Por las mismas razones que se aluden sobre el control estratigráfico y estructural sobre los niveles mesozoicos es difícil definir las unidades que por sus características hidráulicas puedan considerarse como Basamento Hidrogeológico, entendiendo por el mismo y en forma práctica, los niveles acuífugos y acuícludos. Existen algunos antecedentes de posibles acuíferos por fracturación en la áreas de afloramiento del Basamento Cristalino (Carta Hidrogeológica del Uruguay, 1986). Los mismos son muy restringidos arealmente, de baja permeabilidad y aparentemente relacionados con cierto grado de alteración en las rocas metamórficas. De todas formas las posibilidades acuíferas son escasas, por lo que el Basamento Cristalino de la cuenca se considerará parte del Basamento Hidrogeológico. Debe considerarse que con la información disponible, no es posible evaluar adecuadamente sus posibilidades acuíferas por fisuración. Considerando esa afirmación, este Basamento Hidrogeológico es claramente definible en los pozos Daymán, Guaviyú, Colón-1 y Concepción el Uruguay-1. Sin embargo es importante aclarar que en la zona argentina del área de estudio en concepto de Basamento Hidrogeológico, puede considerarse también los niveles mesozoicos atribuibles a la Formación Piramboiá y/o unidades infrayacentes definido en las perforaciones que los atraviesan, a saber: Nogoyá ENR-1x y Gauleguaychú-1. Sobre la base de esto, los Sedimentos Neo-paleozoicos y Paleozoicos definidos en ellas representan en esta región de la cuenca los acuícludos y

acuífugos (Custodio y Llamas, 1983) que pueden considerarse e incluirse dentro del concepto de Basamento Hidrogeológico (ver cuadro hidroestratigráfico). De esta forma si se considerara como Basamento Hidrogeológico a las Sedimentitas del Paleozoico y/o el Basamento Cristalino, pareciera existir un contrasentido con las unidades acuíferas descriptas en la Región Geológica IV en Uruguay para las Formaciones de Paleozoicas (Formaciones Tres Islas , La Paloma y Carrezuelo). Sin embargo no es así si se considera que estas unidades "acuíferas" poseen caudales exiguos (1-3 m^3/h), se explotan en zonas de afloramiento, al este del área de recarga de los acuíferos definidos para el Mesozoico y no se explotan en profundidad por lo que tienen una recarga directa de las precipitaciones. No han sido atravesadas en las perforaciones Argentinas, y no constituyen niveles de aporte claramente definidos en el área del Sistema Acuífero Termal.

Montaño Xavier y Collazo Caraballo (1998) incluyen dentro del la denominación "Sistema Acuífero Guaraní" a "un paquete de rocas arenosas(¿?) pertenecientes al Grupo Batoví Dorado, o sea que no comprende las sedimentitas infrayacentes del Grupo Durazno (Formaciones Melo, Tres Islas, San Gregorio, La Paloma, Cordobés y Carrezuelo, casi todas ellas Paleozoicas). Sin embargo, en el mismo estudio, son incluidas dentro del "Sistema Acuífero Guaraní", (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1997), lo cual complejiza la interpretación debido que no se aclara los argumento de su inclusión al Sistema Acuífero.

La Formación Tres Islas es la única que contendría un "acuífero" con caudales exiguos caracterizado en afloramiento pero no se ha detallado los niveles y características del aporte de esta unidad en los pozos Daymán o Guaviyú. Es conveniente que se la considere eventualmente como un acuitardo (Custodio Llamas, 1983) con niveles aislados de aporte sin expresión regional. Estas unidades aún no tienen correlato en las perforaciones Argentinas realizadas a la fecha por lo que no tiene representación regional en profundidad. Sobre la base de lo expuesto se considerara Basamento Hidrogeológico en área de estudio a las Sedimentitas Paleozoicas (incluyendo los cuerpos diabásicos de la Formación Serra Geral) y/o el Basamento Cristalino de la Cuenca. Esta interpretación es válida hasta que estudios más detallados, permitan verificar si la fracturación de estas unidades permitan considerarlos como acuíferos fisurados

5.1.2. Los acuíferos de la Sección Infrabasáltica

En Argentina no existen antecedentes de estas unidades acuíferas del litoral entrerriano. El único caso, la perforación Guaviraví N°1, resulta ser un antecedente válido a luz de la integración regional de la información realizada en este estudio. En Uruguay existen antecedentes desde mediados de siglo de los pozos profundos y más recientemente de la áreas de afloramiento.

Las Unidades el Grupo Batoví Dorado en Uruguay, corresponden un paquete sedimentario que comprende unidades cuya edad comprende desde el Triásico superior hasta el Jurásico medio. En los apartados correspondientes del capítulo 4 se ha mencionado que aún no se han atravesado unidades previas a las definidas como Sedimentitas Paleozoicas en el Pozo Nogoyá ERN1x y en el apartado 5.1.1., se han argumentado las razones por las cuales es recomendable incluirlas dentro del Basamento Hidrogeológico del área de estudio

Es importante aclarar que, al igual que las sedimentitas Paleozoicas, algunas de las unidades consideradas acuíferas, son tales, en áreas de afloramiento y regionalmente en zonas muy restringidas. La Formación Yaguarí, cuya litología se compone de areniscas finas que intercalan en un paquete pelítico consolidado, posee niveles cuya granometría permite la extracción localizada de caudales inferiores a 1 m^3/h. Se ha definido la misma como un "acuífero" de bajos rendimientos (DINAMIGE, 1986). Se considerará este estudio por ser más representativa de su tipología, la denominación a partir del concepto de acuitardo o acuícludo según el caso (Custodio Llamas, 1983). La Formación Buena Vista de poca extensión regional ha sido interpretada, en base su litología, como "un potencial acuífero limitado por su posición topográfica en afloramiento" (DINAMIGE, 1986), pero no existe información hidrogeológica referida a sus características

hidráulicas. Sobre la base de su litología compuesta de niveles pelíticos alternados con areniscas muy finas y fracciones conglomerádicas clastososten, se considerara en este estudio como un acuitardo (Custodio Llamas, 1983). La Formación Buena Vista y la Formación Yaguarí son unas de las interpretaciones posibles propuestas para las areniscas del Ciclo Sedimentario II del pozo Nogoyá ENR-1x por Chebli et.al., (1989) junto con otro grupo de Formaciones posibles que incluyó también la Formación Piramboiá, como ya se expresó en el capítulo 4. A la luz de la información proveniente de las nuevas perforaciones, se interpreta a estas areniscas, como atribuibles a la Formación Piramboiá, por lo tanto los términos formacionales Yaguarí y Buena Vista no tiene aún correlato en la estratigrafía de profundidad del área de estudio.

El Grupo Batoví Dorado que comprende las Formaciones Rivera (Botucatú), Tacuarembó (Piramboiá) y Cuchilla Ombú posee en sus afloramientos una potencia máxima de 210 metros. Esta última, definida en afloramiento, no se describe en las perforaciones profundas del litoral uruguayo y no tiene correlato en las perforaciones Argentinas. El área de afloramiento de las Formaciones Botucatú/Piramboiá (Rivera/Tacuarembó), está limitada al oeste por la escarpa basáltica y al este por rocas gondwánicas neopaleozoicas. La litología, arenas finas a medias, permite la infiltración del agua de precipitaciones. Sin embargo, por las variaciones granométricas y de cementación los caudales varían entre los 6 m^3/h.hasta lugares de alta permeabilidad e infiltración donde puede llegarse a captar hasta 100 m^3/h.; el caudal medio de los pozos disminuye de norte a sur y de oeste a este debido, sin duda, a la disminución de la potencia de la formación en esas direcciones; en esta región no es posible la surgencia dado que la unidad acuífera posee recarga "in situ" y poca diferencia de cotas en la mayor parte del área.

Montaño y Pessi, (1988) determinan las característica hidráulicas de las Formaciones Botucatú y Piramboiá, (cerca de la Ciudad de Rivera, Uruguay) con valores de Transmisividad y Caudal específico medidos y calculados para el conjunto de acuíferos Rivera y Tacuarembó (Formaciones Botucatú y Piramboiá) que oscilan entre los 96-151 m^2/día y caudales específicos entre 2,79 – 4,02 m^3/h.m. El acuífero Tacuarembó, ensayado como único nivel de aporte, (Formación Piramboiá) posee transmisividades del orden de 27 a 96 m^2/día y caudales específicos entre 0,8 y 1,65 m^3/h.m; debe considerarse que en ningún caso se atravesó el espesor total de aporte y que en áreas de afloramiento estas unidades tiene un comportamiento hidráulico libre o semiconfinado. Se trata de transmisividades bajas a medias (Villanueva Iglesias, 1984) considerando ambos acuíferos, y transmisividades bajas en el caso particular del acuífero Tacuarembó (Formación Piramboiá). Hacia el oeste, fuera del área de afloramiento se hace referencia al "Acuífero Tacuarembó" denominación bajo la cual se reúnen las Formaciones Rivera y Tacuarembó o Botucatú y Piramboiá en Brasil. Cattaneo et.al., (1992) determinan para este acuífero en Uruguay considerando 500 metros de potencia, en profundidad, una Transmisividad de 800 m^2/día, un almacenamiento de 10^{-4} (acuífero confinado) y un permeabilidad de 1,8 m/día. Y para el área aflorante consideró una permeabilidad próxima a los 0,3 m/día y un almacenamiento de 10^{-1} (acuífero libre) Es conveniente aclarar que la información disponible a partir de la perforaciones Arapey-1, Daymán-1 y Guaviyú-1, eventualmente se sumarían algunas perforaciones que a lo largo del tiempo se han obturado o se han realizado fuera del área de "Acuífero Tacuarembó", como el caso de Alnirón-1.

El denominado "Sistema Acuífero Guaraní" (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1997) incluye bajo esta denominación los acuíferos del Grupo Batoví Dorado conjuntamente con los acuíferos o acuitardos Paleozoicos (Carbónico-Pérmicos). Dado que el Paleozoico está poco representado (y aún discutido) en el registro geológico de las perforaciones profundas del área de estudio región argentina, no es conveniente en consecuencia, incluir los acuíferos o acuitardos contenidos en dichas unidades.

De acuerdo a lo expuesto y la bibliografía existente, el "Sistema Acuífero Guaraní" contendría en la sección superior al "Acuífero Tacuarembó". Este además, es una denominación de un termino formacional específico correlacionable con la Formación Piramboiá (Brasil) utilizado

aquí para definir un conjunto de dos acuíferos Rivera y Tacuarembó (Botucatú y Piramboiá). La Sección inferior del "Sistema Acuífero Guaraní" incluiría a las Sedimentitas Paleozoicas. Debe mencionarse también que en área de afloramiento se ha empleado la denominación "Acuífero Batoví Dorado" o "Sistema Acuífero Jurásico-Triásico" incluyendo es esta denominación todo el conjunto comprendido por las Formaciones Cuchilla Ombú, Tacuarembó y Rivera, (Montaño y Carrion, 1990)

En Brasil se propone asignar con la denominación formal de "Acuífero Gigante del Mercosur" a parte del Sistema Hidroestratigráfico Mesozoico que incluye en ese país a los acuíferos contenidos en las Formaciones Botucatú y Piramboiá, (Reboucas, 1994; Araujo et.al., 1995). En Brasil la cuenca comprende 839.000km^2 y se encuentra confinado por los basaltos de la Formación Serra Geral en el techo y conforman su base los acuitardos de la Formación Rosario do Sul, probablemente correlacionable a las Formaciones Buena Vista y Yaguarí, (Fernández Garrasino, 1995), y las formaciones de edad Permo-Triásicas subyacentes (Araujo et.al., 1995).

Siempre en Brasil, se citan valores de porosidad de las areniscas de la Formación Botucatú del orden del 17%, una conductividad hidráulica de 0.2-4.6 m/día. Estos últimos valores se reducen sensiblemente en la Formación Piramboiá alcanzando un 16% de porosidad, con conductividades hidráulicas del orden de 0.01 – 4,6 m/día, este límite inferior de 0,01 m/día controlaría las características de hidráulicas de la unidad.

Si bien la calidad química de las aguas subterráneas del acuífero suele tener baja salinidad en casi toda su extensión. Los acuitardos inferiores suelen tener aguas de mayor concentración salina y en zonas profundas el acuitardo basal puede tener influencia sobre la calidad química del Acuífero Botucatú, como ocurre en Río Grande do Sul (Araujo, Franca y Potter, 1995). Se menciona en algunas zonas en particular concentraciones de Flúor entre 3,6 y 12 mg/dm^3 (Fraga, 1992). Se mencionan espesores del orden de entre 500 a 800 metros en la región brasileña.

Todos los Sistemas Acuíferos o Acuíferos propuestos anteriormente se han realizado en parte a los datos de la perforaciones existentes y en gran medida a la posibilidad de realizar estudios en áreas de afloramiento de la unidades formacionales continentes. En el subsuelo argentino y en particular en área de estudio, no existen afloramientos de las unidades continentes de los Sistemas Acuíferos mencionados que permitan aportar una interpretación más precisa. Esto solo deja como posibilidad la correlación, cuando es posible, de dichos "Sistemas Acuíferos" sobre la base de la información proveniente del subsuelo ya expuesta en el capítulo 4.

Partiendo de esta premisa, se propone para el área de estudio un concepto más concreto, es decir, considerar como acuíferos a las unidades formacionales representadas en el registro geológico del subsuelo. La Sección Infrabasáltica queda definida en el subsuelo del área de estudio por el conjunto de acuíferos contenidos en las formaciones infrayacentes a la Formación Serra Geral, apoyadas sobre el Basamento Hidrogológico. Considerado lo expuesto en 5.1.1, el Basamento Hidrogeológico queda representado por las Sedimentitas Paleozoicas y/o el Basamento Cristalino. Esta Sección tiene una traducción estratigráfica ya que las unidades continentes son las Formaciones Botucatú y Piramboiá; esta última, eventualmente puede incluir niveles cuyo litología permite la alternancia de acuíferos y acuitardos. En el marco hidroestratigráfico regional el Sistema Acuífero Guaraní no tiene correlato en profundidad para la zona de estudio. La ausencia en el registro de subsuelo de las Unidades Sedimentarias de edad Paleozoica, incluidas dentro del Sistema Acuífero Guaraní, restringe al mismo a las áreas de afloramiento en Uruguay donde ha sido definido (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998)

El "Acuífero Batoví Dorado" incluye la Formación Cuchilla Ombú (Ferrando y Andreis, 1986) esta última no se encuentra presente registro del subsuelo del área de estudio, además es posible, de acuerdo a Fernández Garrasino (1998), que la misma constituya variaciones laterales de la Formación Tacuarembó. Por esta razón, no se considera adecuada esta denominación.

Por otro lado se considera "Acuífero Tacuarembó" al paquete de areniscas acuíferas representadas en las captaciones del subsuelo uruguayo correspondiente a las Formaciones Rivera y

Tacuarembó (excluyendo Cuchilla Ombú), dada la dudosa estratigrafía de estas unidades y la ausencia del termino basal en el registro del subsuelo del área de estudio se propone considerar el conjunto dentro de Acuíferos de la Sección Infrabasáltica sin aludir directamente al termino Acuífero o Sistema Acuífero por considerarse un concepto más amplio. De ser posible la identificación de esta unidad en el subsuelo se incluirá como un acuífero más dentro de la Sección Infrabasáltica sin modificar el concepto con el cual se ha definido al misma.

A continuación y como resumen de lo expuesto se presenta la hidroestratigrafía propuesta por estos los diversos autores y la considerada en este estudio:

<table>
<tr><th colspan="2">Area de Estudio, ER, Argentina (subsuelo) Silva, 1999</th><th colspan="2">Brasil, Reboucas, 1994, Araujo et al, 1995 (superficie y subsuelo)</th><th colspan="2">Uruguay, ANCAP, 1991; Cattáneo, 1992 (subsuelo)</th><th colspan="2">Uruguay, Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998 (Subsuelo y superficie)</th></tr>
<tr><td>Acuífero Botucatú</td><td rowspan="2">Sección Acf Infrabasaltia</td><td>Acuífero Botucatú</td><td rowspan="3">Sistema Acuífero Mesozoico</td><td>F. Rivera</td><td rowspan="4">Acuífero Tacuarembó</td><td>Acuífero Rivera</td><td rowspan="8">Sistema Acuífero Guaraní</td></tr>
<tr><td>Acuitardo Piramboiá</td><td>Acuitardo Piramboiá</td><td>Formación Tacurembó</td><td>Acuífero Tacurembó</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Acuícludos y Acuitardos Neopaleozoicos (Ciclo Sedim. I Chebli,et.al, 1989) y/o Basamento Cristalino</td><td rowspan="2">Basamento Hidrogeológico</td><td rowspan="2">Acuícludos y Acuitardos Permo Triásicos Formacion Rosario do Sul</td><td>F. Cuchilla Ombú?</td><td>Acuífero Cuchilla Ombú?</td></tr>
<tr><td>Formación Buena Vista</td><td>Acuífero Buena Vista</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Conjunto de acuícludos y acuífugos contenidos en las Sedimentitas Paleozoicas y/o Basamento Cristalino</td><td rowspan="2">Basamento Hidrogeológico</td><td>Formación Yaguarí</td><td rowspan="2">Basamento Hidrogeológico?/ Acuíferos de las Sedimentitas Paleozoicas</td><td>Acuífero-Acuitardo Yaguarí</td></tr>
<tr><td>Acuicludo Melo</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td>Acuífero Tres Islas</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td>Acuífero-Acuitardo San Gregorio</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">Basamento Hidrogeológico?/ Acuíferos Pre-Devónicos?</td></tr>
</table>

Tabla.N° 27 Comparación entre la Hidroestratigrafía propuesta y la Hidrogeología previa definida por los diferentes autores en Brasil y Uruguay. En rojo, se señala el Sistema Termal

La hidroestratigrafía definida en Brasil posee correlato en las unidades acuíferas del subsuelo Entrerriano-Correntino. Dos de sus unidades acuíferas, Botucatú y Piramboiá son correlacionables estratigraficamente e hidroestratigraficamente con las unidades acuíferas del subsuelo del área de estudio, se sobrepone a los mismos la Formación Serra Geral (Sección Interbasáltica) e infrayacen los niveles Permo-Triásicos considerando el Basamento Hidrogeológico de la sección, (Reboucas, 1994; Araujo et.al., 1995).

Esta Sección del Sistema Hidroestratigráfico Mesozoico en Brasil es correlacionable con la hidroestratigrafía propuesta en el área de estudio para los Acuíferos de la Sección Infrabasáltica, se sugiere esta última por considerarse que la referencia a la era puede producir errores de interpretación en la geología en nuestro subsuelo (ver 5.1.2 y 5.1.3)

5.1.3. Los acuíferos de la Sección Interbasáltica

Los antecedentes hidrogeológicos relacionados con la Formación Serra Geral se limitan en Argentina a un conjunto de referencias muy localizadas o estudios relacionados con la captación de pequeños volúmenes de agua subterránea. La mayor parte de estas perforaciones fueron realizadas por al ex-Secretaria de Minería en al Provincia de Misiones y en menor proporción en Corrientes. Su explotación en el área de estudio es ocasional, fundamentalmente debido a que las agua de los acuíferos suprabasálticos poseen buenas características hidráulicas y calidad hidroquímicas que las hacen aprovechables para diversos usos. Estudios más detallados en la República del Uruguay (MGAP-MTOP-BIRF, 1995) han permitido determinar y definir en el área de Salto, un complejo sistema acuífero que en su sección inferior estaría representado por el acuífero fisurado Arapey, contenido en esta Sección Interbasáltica.

Regionalmente, la porosidad y permeabilidad de las rocas constituyen parámetros controlados fundamentalmente por la litología y/o los procesos de cementación – dilución de las rocas continentes (Custodio y Llamas, 1983). De acuerdo a las consideraciones litológicas, estratigráficas y estructurales del capítulo 4, la Formación Serra Geral está constituida por dos unidades acuíferas en función de la litología que las caracteriza. Debe recordarse que este concepto de clasificación es válido en secuencias cuyas litologías son diferentes al punto tal que en este caso se trata de diferentes tipos de roca. La primera de ellas comprende a la roca efusiva volcánica propiamente dicha, o Miembro Posadas de la Formación Serra Geral. La segunda unidad acuífera queda representada por el Miembro Solari que es el término clástico de la Formación Serra Geral.

Unidad Acuífera del Miembro Posadas o Acuífero Arapey

Esta unidad acuífera denominada Acuífero Arapey en Uruguay (MGAP-MTOP-BIRF, 1995) denominación que se empleará en lo sucesivo y puede ser extensible al área de estudio. Las vulcanitas de la Formación Serra Geral constituyen el mayor evento efusivo de la región. En toda su extensión el sistema de fracturación de la Formación Serra Geral puede permitir las condiciones para albergar fluidos. En área de afloramiento las unidades presenta las oquedades características y un intenso diaclasamiento donde se produce la alteración de la misma. La porosidad puede estar condicionada por la presencia o ausencia de relleno de las oquedades y diaclasas, pero la permeabilidad necesita de interconexión entre los poros, característica casi ausente (MGAP-MTOP-BIRF, 1995). Las microfracturas en este caso, permitirían un mejoramiento de la permeabilidad y por consiguiente de las propiedades hidráulicas del acuífero.

La fracturación o intensos diaclasamiento le permite a esta unidad un notorio incremento de la porosidad y permeabilidad en las áreas de afloramiento. En las captaciones realizadas en el área de estudio puede citarse como más relevante (y posiblemente la única de la región) una ubicada en Puerto Yeruá. De la perforaciones realizadas en la provincia de Misiones (INGM, 1965) que no se detallarán en este estudio se evidencia que los niveles productivos son discontinuos y de escasa expresión lateral. En el perfil vertical la secuencia puede presentar varios niveles de fracturación separados por roca efusiva masiva que los confina o semiconfina. Esta característica de niveles fracturados y saturados de agua puede tener un espesor importante. En algunas perforaciones del subsuelo Misionero como por ejemplo la perforación Posadas N°4 (ex INGM, 1965), alcanza los 470 m.b.b.p. con dos niveles productores a los 330 m.b.b.p. y 467 m.b.b.p.. La perforación Zaiman N°1 alcanza los 350 m.b.b.p. posee niveles productores a los 321 m.b.b.p. La perforación Apóstoles N°1 alcanza los 140 m.b.b.p.. con niveles productivos entre los 12-35 y 123-132 m.b.b.p. Siempre en Misiones, la perforación Vivero Loreto N°1 presenta también dos niveles productivos entre a los 16 m.b.b.p.. y 65 m.b.b.p. En este caso las aguas poseen un TDS (Sales totales disueltas).entre 140 –260 mg/dm^3, niveles estáticos entre 20 – 50 m.b.b.p.y caudales específicos que oscilan entre 0,5 – 2 m^3/h.m., (ex-INGM, 1965).

En las peforaciones de Corientes denominadas Guaviraví N°1 y Yofré N°1, se presentan niveles productivos intercalados en las vulcanitas, sin embargo, los valores de TDS alcanzan los 400-500 mg/dm^3, se agotan con el bombeo comportándose como acuitardos. Solo en la Ciudad de Corrientes (perforación N°2) se describen niveles de explotación en roca fisurada que se explotan en conjunto con el Miembro Solari, (INGM, 1965).

En el área de estudio solo se describen niveles productores en la zona de Concordia a profundidades someras no superiores de 80 m.b.b.p, con un TDS entre 450 – 700 mg/dm^3 y con caudales específicos entre 1,2 – 2,6 m^3/h.m; aunque en algunos se citan problemas de agotamiento frente al bombeo (INGM, 1965). En la zona de Puerto Yeruá se registran características similares explotándose estos niveles como "aguas minerales".

Como se atenderá en el apartado 5.2.2 las prospecciones geofísicas geoeléctricas definen un nivel resistivo de entre 80 – 200 ohm.m de casi 60 metros de espesor en el contacto entre la roca basáltica y de resistividades superiores, con los niveles post-basálticos. Esta característica fue descripta también en el estudio del Acuífero Salto y Acuífero Arapey en Uruguay (MGAP-MTOP-BIRF, 1995).

En la zona de Salto, en la República Oriental del Uruguay, el acuífero Arapey presenta porosidad secundaria por fracturación, diaclasamiento e incluso a nivel vacuolar se observa interconexión, (MGAP-MTOP-BIRF, 1995). Esto permitió definir direcciones de escurrimiento relacionadas a las estructuras de superficie con rumbos noroeste–sureste y norte-sur. Los pozos de la región poseen profundidades diferentes intervalos entre 10-20 m.b.b.p.., 20-30 m.b.b.p.., 30-40 m.b.b.p.. y 60 m.b.b.p. con una distribución muy regular de la frecuencia de las profundidades de explotación (alrededor de un 25% para cada caso). Se citan algunos que alcanzan los 120 m.b.b.p.

Los niveles estáticos suelen estar entre los 10 – 15 m.b.b.p.., con caudales que alcanzan los 25 m^3/h, se han medido caudales específicos entre 0,5- 1,5 m^3/h.m, (similares a los pozos en el sector Argentino). Los mejores valores se han medido en los pozos con lineamientos NO-SE, (rumbo de la profundización de la cuenca en el sector Argentino), además el caudal específico con el tiempo (dos años) se reduce hasta un 5% para caudales superiores a 10m3/h y un 35% para aquellos inferiores a 1m3/h. (MGAP-MTOP-BIRF, 1995). La hidroquímica de esta unidad acuífera en la región de Salto, sobre 10 muestras en la región, se clasifica como bicarbonatada cálcica, con valores de TDS entre 200-410 mg/dm^3 y conductividades entre 342-759 µS/cm, pH entre 7,0 –7,6 y temperaturas en boca de pozo de 19-23 °C (MGAP-MTOP-BIRF, 1995).

La hidroquímica de esta unidad acuífera en el área de estudio queda representada sobre la base de información disponible del único análisis químico, con garantía de ser representativo de estos niveles, obtenido en Puerto Yeruá en la provincia de Entre Ríos y se complementa con la información proveniente de las captaciones citadas en Salto, Uruguay a lo largo de este estudio. Se considerará, con fines comparativos, una muestra representativa que promedie la composición de las especies iónicas mayoritarias realizadas sobre este acuífero de las disponibles desde 1995 hasta 1998. La misma se resume en los siguientes parámetros:

	Cl^-	$SO4^=$	$HCO^{3=}$	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO^{3-}	TDS
Prom.	19.8	57.0	334.8	39.9	1.9	74.4	16.5	25.3	277.4
Máx.	28.3	84.7	434.4	41.7	2.0	69.3	27.1	34.9	480.6
Mín.	12.1	18.5	269.6	38.5	1.8	57.1	6.5	17.5	169.2

Acuífero Arapey (Salto, Uruguay) Valores promedio, máximos y mínimos en mg/dm^3

	Cl^-	$SO4^=$	$HCO^{3=}$	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO^{3-}	TDS
Unico	251.3	198.0	194.0	229.0	---	28.8	8.2	1.3	725

Acuífero Arapey (Puerto Yeruá, Argentina) Valores únicos en mg/dm^3

La imposibilidad de considerarlo un medio relativamente isótropo dificulta estimar parámetros representativos de los acuíferos clásticos como, conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento u otros. Es difícil extrapolar directamente estas características al sector Argentino y deben considerarse orientativos. Además en el Sector Argentino, la información relacionada con el área de estudio es muy escasa o ausente debido fundamentalmente a la profundidad

de acuífero Arapey y la existencia de unidades acuíferas Suprabasáltica explotables más someras. Sin embargo, existen algunos valores de caudales específicos a partir de las perforaciones citadas anteriormente (ex INGM,1965) en los niveles productores o cuyas características hidráulicas permiten considerarlos acuíferos, los caudales específicos se estimarían entre 1 a 2,5 m3/h.m, valor aceptable tratándose de rocas fisuradas y comparativamente similares a los descriptos en la zona de Salto. Esta similitud se evidencia también e los niveles estáticos y TDS de las aguas contenidas. Si bien , debe considerarse que la capacidad de estas rocas de almacenar agua y permitir una circulación y percolación depende de la interconexión de la fracturación y discontinuidad entre derrames lávicos, la recarga de este acuífero esta condicionada por estas características. En los casos donde el diaclasamiento es menos intenso y la extensión regional de los niveles acuíferos no es importante, sus valores de almacenamiento y transmisividad son bajos y arealmente discontinuos, esto provoca un rápido agotamiento del acuífero a caudales elevados. Las condiciones de recarga del acuífero fisurado en áreas de afloramiento están en relación con las precipitaciones, aunque los valores puntuales de conductividad hidráulica vertical y permeabilidad sean bajos y parecieran entrar en contradicción con los valores hidráulicos descriptos. Es razonable considerar que la extensión regional de esta unidad formacional, su intenso grado de diaclasamiento, la porosidad secundaria a consecuencia de la interconexión de la vacuidad de la roca volcánica, disolución y alteración, la intercalación de niveles clásticos de significativo espesor y buenas propiedades hidráulicas (Miembro Solari) pueden en conjunto permitir una infiltración eficaz suficiente para recargar estas unidades en una extensa región en afloramiento y en profundidad. Además, si se puede considerar el factor de goteo (conexión vertical) de los acuíferos de la Sección Suprabasáltica que pueden participar de la recarga.

Se propone entonces, que las condiciones de recarga y recursos del acuífero Arapey en el área de estudio dependerán de los siguientes factores sin desmedro de otros que pueden tener alguna influencia:

- La pluviometría local en áreas de afloramiento y alumbramiento, considerando además que la unidad en conjunto a la luz de los datos de perforaciones, posee una infiltración eficaz suficiente para permitir la recarga de estos niveles.
- La geometría de los niveles de producción en profundidad dependerá de la extensión de la fracturación, diaclasamiento, discontinuidad entre coladas lávicas y/o alteración de la roca volcánica características de cada zona.
- El grado de interconexión de las fracturas y extensión y profundidad de las intercalaciones clásticas psamíticas de la Formación Serra Geral
- La estratigrafía local que condiciona la litología de la cubierta sedimentaria post-basáltica modificando el grado y tipo de conexión vertical con los niveles acuíferos clásticos de al Sección Suprabasáltica
- Procesos póstumos de inyección más ácida relacionados con el procesos volcánico que generó las rocas efusivas que pueden rellenar microfracturas, diaclasas, discontinuidades entre coladas, etc., reduciendo la porosidad efectiva de la roca. Similar al caso de Colón –1 en el intervalo entre 765-886 m.b.b.p.
- Procesos cementación o disolución de diverso origen que pueden afectar la porosidad secundaria de la unidad acuífera o incluso de las unidades suprayacentes.

Sobre las características hidráulicas e hidroquímicas del acuífero Arapey se concluye de todo lo expuesto:

- Si bien esta unidad acuífera puede no poseer una continuidad espacial, el termino Acuífero Arapey o unidad Acuífera del Miembro Posadas designara a aquellos niveles, cuyas características litológicas citadas permitan propiedades hidráulicas comparables con un acuífero clástico y sustentables en el tiempo, considerándose sugerir sobre la base de lo expuesto caudales específicos

característicos entre 0,5- 2,5 m3/h.m., por encima de estos valores puede suponerse la participación del acuífero clástico.

- Por sus características litológicas difícilmente posee una piezometría bien integrada, esto se traduce en una dificultad importante en estudios de hidráulica más detallados. Los términos tradicionales que definen los diferentes tipos de acuíferos (Jacob, 1940; Theis, 1963; Hantush,1956) han sido definidos en acuíferos clásticos. En áreas de afloramiento y recarga directa de las precipitaciones es de suponer que posee característica asimilables a las de un acuífero libre o semilibre, en profundidad no se dispone de información suficiente para definirlo y es de suponer que, al menos, posee características de semiconfinamiento.
- Si bien no existen estudios hidroquímicos específicos de esta unidad es notorio destacar que la información recopilada conforma una región muy amplia excediendo el área de estudio. En todos los casos el TDS de estas unidades no parece superar los 500 mg/dm^3, en Salto (R.O.U) se las ha clasificado como aguas bicarbonatadas cálcicas y en Puerto Yeruá (ver 5.4) se clasifica como bicarbonatadas cloruro-sulfatadas sódicas estas diferencias se tratarán con más detalle en el apartado 5.4. Igualmente se considerará que información escasa para tomarse por representativa.

Considerando lo expuesto, regionalmente se puede dividir el área de estudio sobre la base de un criterio íntimamente relacionado con la intensidad de la fracturación y el entrecruzamiento del diaclasado, comprendiendo que estos factores aumentan o facilitan la circulación del agua.

Las zonas de menor intensidad de fracturación y diaclasado, la presencia de niveles clásticos interdigitados, las mineralizaciones secundarias, los diques de cuarzo y/o sílice que se han inyectado entre las fisuras debido a un hidrotermalismo sin-efusivo, constituyen factores que afectan la permeabilidad del acuífero.

La Formación Serra Geral en el área de afloramiento puede ser caracterizada en 3 zonas y una subzona frecuente, pero subordinada a estas tres. Estas se pueden definir considerando las características ya citadas y la información de las captaciones realizadas sobre la roca basáltica integrando al información en Argentina y Uruguay, asumiendo que en profundidad puede corresponderse características similares:

- La primera al norte de Uruguay en el centro y sur de Corrientes, sur de Río Grande do Sul está caracterizada por presentar un débil espesor de basalto; la potencia media es de aproximadamente 200 m. siendo menor en el departamento de Artigas y mayor en el departamento de Tacuarembó. En esta zona se presenta la posibilidad de alcanzar la arenisca Infrabasáltica a profundidades relativamente accesibles desde el punto de vista económico. Los resultados de los pozos perforados para agua son bastante variables; el rendimiento de los basaltos en esta zona se ve afectado por variaciones en el espesor de los mismos, existencia de pequeños escalonamientos, presencia de mineralizaciones o de diques de areniscas inyectados en la diaclasas. Como consecuencia de lo anterior se encuentra con bajos caudales.
- La zona situada en la porción norte y central de la franja litoral de la Provincia de Entre Ríos en Argentina, la región occidental y noroccidental de la República Oriental del Uruguay limitada al este por la dirección Bella Unión-Paso de los Toros, al oeste por depósitos post-basálticos y al sur por la desaparición en el registro de las areniscas infrabasálticas; al sudoeste queda limitada por el borde de los sedimentos cretácicos en Uruguay. Los factores que definen las características hidrogeológicas son de naturaleza estructural, relacionados al espesor del basalto en esta área, que es siempre superior a los 500 m. Los estratos basálticos acompañan en general los escalonamientos. Debido a que no ocurren fenómenos de obstrucción de las diaclasas, existe una circulación amplia con buenas características hidrogeológicas
- La zona hacia el sur caracterizada por la desaparición en profundidad de las areniscas infrayacentes; el basalto se apoya sobre estratos neopaleozoicos, paleozoicos y rocas cristalinas. Las rocas basálticas se adelgazan de norte a sur; en Salsipuedes presenta un espesor de 300m.,

en Rincón del Bonete 150 m. y en las proximidades del Cristalino 5 a 10 m. La hidrogeología de esta zona es muy variable condicionado por la variación de las potencias del basalto, el carácter terminal de las coladas y los fenómenos erosivos

- Existen zonas ubicadas dentro de las definidas que se caracteriza por la posibilidad de mejorar sus características hidráulicas debido a la intensa fracturación existente; se puede lograr la captación de agua a profundidades pequeñas (20 a 40 m.) con niveles de contribución que muestran una máxima frecuencia a profundidades menores de 20 m., los caudales varían entre 2 -4.m^3/h. y 12-15 m^3/h. para pozos emplazados directamente sobre las fracturas. En términos generales el caudal medio es de 6 –7 m^3/h.-

Unidad Acuífera del Miembro Solari o Acuífero Solari

El Miembro Solari corresponde, como ya se ha expuesto en el capítulo anterior, al termino clástico intercalado de la Formación Serra Geral. Por tratarse de niveles psamíticos sus características hidráulicas se asemejan a un acuífero clástico que los diferencia del Acuífero Arapey.

La información disponible relacionada con la hidrogeología de esta unidad suele ser escasa o confusa. La compleja relación estratigráfica de los niveles clásticos intercalándose entre las coladas volcánicas ha sido siempre difícil de definir y regionalmente no esta aún resuelto, en el capítulo 4 se ha adoptado un criterio que se considera apropiado para la conceptualización de un modelo hidrogeológico, pero esto no exime la necesidad de criterios posteriores que permiten definir mejor su estratigrafía. En este marco es conveniente considerar la unidad acuífera en el conjunto del Sistema Termal por sus características y su relación con el mismo como ha quedado claramente definido en la perforación Colon-1 y Concepción del Uruguay –1.

Consideraremos las perforaciones en la Provincia de Corrientes denominadas CorrientesN°1 (cuidad), Felipe Yofré N°1, Mercedes N°1, 2 y 3, Solari N°2 y en la Provincia de Misiones la perforación Apóstoles N°1., (INGM, 1958, 1965 y 1970), aunque todas ellas están fuera del área de estudio y del área del Sistema Acuífero Termal, son los únicos antecedentes disponibles. la información hidráulica, sin embargo, puede considerarse orientativa para la región de estudio ya que se trata de unidades cuya litología y relación estratigráfica es prácticamente la misma. La perforación Corrientes N°1 en el tramo 72.3 - 84 m.b.b.p. define claramente un intervalo clástico y una curva de aforo con valores de caudales específicos que oscilan entre 0,5-1 m^3/.m, este valor es relativamente bajo considerando que para niveles arenosos en acuíferos clásticos suprabasálticos en la región superan ampliamente los 10m3/h.m (ver 5.1.3). Es probable que estos niveles posean una porosidad secundaria menor a consecuencia del grado de cementación. La perforación Solari N°2 en el tramo 21 – 54 m.b.b.p.. posee valores de caudal específico del orden de 0,1 m^3/h.m, la perforación Felipe Yofré N°1 en el tramo 23,5 – 40 m.b.b.p. presenta valores de caudales específicos entre 0,5 – 0,6 m^3/h.m. Las perforaciones Mercedes 1, 2 y 3 son muy superficiales y no poseen datos de sus parámetros hidráulicos; la perforación Apóstoles N°1 es prácticamente un acuitardo. En todas ellas se describe una baja concentración salina inferior a 1000 mg/dm^3 y es de suponer que poseen recarga local por las precipitaciones. Es evidente que las características hidráulicas de este acuífero son regionalmente muy variables. Superficialmente, el Miembro Solari forma junto con el Miembro Posadas un conjunto clástico interdigitado en las vulcanitas, de geometría variable y poca continuidad lateral. El miembro clástico está en contacto con una roca poco permeable con una porosidad secundaria originada fundamentalmente a partir de un intenso diaclasamiento, planos de discontinuidad y fracturas regionales. Estas variaciones hacen suponer que hacia el techo de la Formación Serra Geral los niveles de areniscas intercalados difieren en extensión y características hidráulicas con los hallados en profundidad como se vera en el apartado 5.2.

En el área de estudio las perforaciones Colón-1 y Concepción del Uruguay-1 poseen niveles clásticos intercalados en las vulcanitas atribuibles al Miembro Solari, considerando que ambas están aisladas del aporte de la Sección Suprabasáltica y la ausencia en el registro litológico de las

perforaciones de los niveles infrabasálticos, la única posibilidad es considerar el aporte del Acuífero Solari. En Uruguay no existe particular referencia a los niveles clásticos intercalados como acuíferos. La Región Geológica V comprendería dos acuíferos de importancia el Acuífero Arapey y la Sección Infrabasáltica, sin embargo, se hace especial referencia a la perforación de Guaviyú mencionando que los niveles de aporte de la misma "podrían no estar completamente relacionadas con la sección infrabasáltica" considerando que la edad del agua datada por el método de C_{14} (Dellepere, 1992) es más moderna en esta última perforación que en las del norte. Guaviyú es la perforación en Uruguay más cercana a Colón –1 y Concepción del Uruguay –1. Montaño Xavier y Collazo Caraballo, (1997) incluyen la sección Interbasáltica e Infrabasáltica dentro del "Acuífero Guaraní" pero no diferencian estos niveles en particular asimilándolos a la Formación Serra Geral, debe considerarse que estos autores incluyen en el denominado Acuífero Guaraní niveles paleozoicos (Carbónico - Pérmicos).

5.1.4 Los acuíferos de la Sección Suprabasáltica

Los acuíferos de la sección Suprabasáltica en el área de estudio poseen como característica en común que son en su totalidad acuíferos clásticos, (ver cuadro hidroestratigráfico). Esta Sección puede considerarse correlacionable con las Secciones Epiparaniana (Epipuelches y Puelches), Paraniana (Hipopuelches) e Hipoparaniana (Sala, 1983) definida en la provincia de Buenos Aires y Santa Fe. En esta región el Epiparaneano estaría representado por el Acuífero Ituizangó que subyace a los depósitos de las Formaciones Hernandarias o Tezanos Pintos.

Estos poseen características hidráulicas que las asemejan a acuitardos o acuícludos. Su extensión regional supera el área de estudio hacia el oeste y norte y se ve limitada hacia el sur por los depósitos deltaicos, y al este en Uruguay donde no se encuentran en el registro o no existen estudios de correlación que las comparen con términos contemporáneos en edad.

La Sección Paraniana esta representada en al región occidental y central de la provincia de Entre Ríos por el acuífero de la Formación Paraná o Acuífero Paraná o Paraniano (Sala, 1983) al igual que en las provincias antes citadas. Hacia la región Oriental sobre el margen del Río Uruguay o unos 20 o 30Km al oeste del mismo según los datos de perforaciones, la Formación Paraná no se encuentra presente en el registro y para facilitar la interpretación se considerara que la Sección hidroestratigráfica definida a partir de la misma tampoco lo tiene. La Sección Hipoparaniana representada por al Formación Olivos en Buenos Aires y considerada como acuitardo (Sala, 1983) encuentra su correlato en el área de estudio representada por la Formación Fray Bentos que posee características hidráulicas de un acuitardo, presenta en afloramientos en el litoral del Río Uruguay a ambas márgenes, y se han encontrado niveles acuíferos. Debe incluirse en esta Sección la Formación Puerto Yeruá correlacionable con la Formación Mercedes en Uruguay (Tófalo, 1986) subyacente a la anterior. Posee características acuíferas en Uruguay, denominado Acuífero Mercedes, y en una estrecha faja cercana al río Uruguay en el sector argentino entre Colón y Concepción del Uruguay. Si bien ha sido descripta en el registro geológico de subsuelo en las captaciones profundas más hacia el oeste no existen datos acerca de sus características hidrogeológicas.

Unidad acuífera de la Formación Puerto Yeruá o Acuífero Mercedes

La Formación Puerto Yeruá, correlacionable con la Formación Mercedes en Uruguay (Tófalo, 1986) comprende un paquete sedimentario que por sus características litológicas en el Uruguay contiene y define un acuífero de extensión local y regional libre en áreas de afloramiento o confinado, (DINAMIGE, 1986). Las características de estos depósitos cerca de Mercedes, Uruguay comprenden una secuencia de areniscas conglomerádicas, que presentan gradación normal, estructuras entrecruzadas, geometrías lenticulares, estructuras tractivas, interpretadas como consecuentes de un proceso aluvial de tipo fluvial y baja sinuosidad debido a la escasez de niveles pelíticos (Tófalo y Pazos, 1998). Estos niveles tienen afloramientos muy restringidos en las costas Argentinas del Río

Uruguay y en particular en el área costera comprendida entre Colón y Concepción del Uruguay y en profundidad como ya se ha expresado en el capítulo 4.3. El área Cretácica en la República Oriental del Uruguay se desarrolla extensamente en el oeste y sudoeste del país cubriendo áreas basálticas y cristalinas. Se puede subdividir en dos zonas de acuerdo a la presencia o ausencia de la Formación Mercedes. Una zona corresponde al área en la cual la Formación Mercedes está presente y constituye el mejor acuífero del área cretácica. En términos generales la circulación del agua se realiza del noreste a sudoeste acompañando el buzamiento de los depósitos y los caudales que pueden obtenerse son variables pudiendo llegar a 20 m^3/h. y con posibilidad de artesianismo semisurgente. La otra zona corresponde al área en que no se verifica la presencia de la Formación Mercedes, se describen niveles sedimentarios denominados Formaciones Acensio y Guichón, el valor hidrogeológico es prácticamente nulo, ya que las características hidráulicas y la calidad del agua con alta concentración salina que limita su explotación.

En las áreas donde la Formación Mercedes se encuentra en el registro geológico constituye un acuífero de permeabilidad media a alta, con calidades químicas de TDS del orden de 500-600mg/dm^3 y caudales específicos del orden de 3-5 m^3/h.m. (DINAMIGE, 1986). En Argentina no existe información hidrogeológica o estudios relacionados con esta unidad, sin embargo sobre la base de las características descriptas por Tófalo, (1986), se realizó un inventario de pozos en el área entre las Rutas Nac 135-14 y la localidad de Colonia Elía. Se eligió esta zona por ser cercana al área del acuífero en Uruguay y porque con estos niveles se posee información para caracterizar hidroquímicamente toda la columna. Se definieron dos perforaciones tipo y una de estudio en la cual se atravesó la Formación Fray Bentos. La perforación de estudio (CR-3) se encuentra ubicada cerca del Aeródromo de Colón y las captaciones de muestreo cercanas a la Escuela Agrotécnica de Colón (CR-1) y en la localidad de Arroyo Urquiza.(CR-2). En la perforación CR-3 se realizo una toma de muestras de recortes de perforación metro a metro hasta una profundidad de 57 m.b.b.p.. o fondo de pozo tocando el techo de la Formación Puerto Yeruá , 78 metros estratigraficamente más alta que en el pozo Colón –1 (que dista 12 Km al norte) y 156 metros más alta que la perforación Concepción del Uruguay –1 (dista 45 km), pero en una cota de – 32 m.s.n.m. El mismo orden de profundidad y alineado hacia el oeste con las perforaciones existentes en el Puente Internacional, (Rimoldi, 1982) lo que evidencia su continuidad lateral. Las captaciones existentes se emplearon para la toma de muestras químicas (CR-1 y CR-2) e isotópicas (CR-1): esta información será tratada en los capítulos 5.4 y 5.5. Con la intención de caracterizar estos niveles en el litoral argentino se detallan aquí las características de boca de pozo:

Perforación	Conductividad. µS/cm	PH	Temp °C
CR-1	1305	7.3	21
CR-2	1425	7.5	20.8
CR-3	1360	7.4	21.2

Las mismas se clasifican según Piper, (1953) como Sulfato-bicarbonatada sódica-cálcica. Hacia el oeste la Formación Puerto Yeruá se profundiza y no existe información hidrogeológica, hacia el norte disminuye su espesor y no se encuentra en el registro la norte de la localidad de Puerto Yeruá. Su posible correlación hacia el oeste con la Formación Mariano Boedo esta aún en estudio y no aporta información hidrogeológica adicional.

La hidroquímica de esta unidad acuífera en el área de estudio queda representada sobre la base de información disponible de análisis químicos e interpretación hidroquímica definida aquí, con la información proveniente de las captaciones presentadas en este estudio. Se considerará, con fines comparativos, una muestra representativa que promedie la composición de las especies iónicas mayoritarias realizadas sobre este acuífero. La misma se resume en los siguientes parámetros:

	Cl^-	$SO4^=$	$HCO^{3=}$	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO^{3-}	TDS
Prom.	110	235	275	160	6	24	104	5	884
Máx.	125	246	298	171	8	32	110	15	902
Mín.	98	224	259	152	6.7	21	99	0	873

Acuífero Mercedes (Area de estudio) Valores promedio, máximos y mínimos en mg/dm^3

Acuícludos y/o Acuitardos de la Formación Fray Bentos

Comprende un potente paquete sedimentario de composición limo-arcillas que puede intercalar pequeños niveles arenosos de poca potencia y extensión regional. Constituye uno de los niveles confinantes más importantes de la región por su extensión regional pero puede considerarse un nivel acuitardo o acuícludo.

En Uruguay se describen perforaciones que atravesarían y explotarían niveles relacionados con esta unidad con perforaciones poco profundos. Se describen permeabilidades bajas y salinidad variable entre 1-5 g/dm^3 (DIANMIGE, 1986). En la zona de estudio y en Argentina en general en las localidades donde se ha ensayado esta unidad presenta características hidrogeológicas de acuitardo. La información hidrogeológica, debido a las causas mencionadas es prácticamente nula

Unidad acuífera de la Formación Paraná o Acuífero Paraná

La Formación Paraná es una de las unidades más extensas de la cuenca Chacoparanense en la República Argentina, sin embargo, la ausencia de información sobre la hidrogeología de estas unidades se debe en gran parte a que son escasas las localidades donde se explota el recurso debido a los elevador índices de salinidad que presentan sus aguas. Esta elevada salinidad se ha explicado como consecuentes de su origen marino y en algunos casos se la ha considerado "fósil". Existen pocos estudios relacionados con la hidrogeología de esta unidades y casi todos muy recientes, el estudio realizado para el PROSAP, (1996) resume algunas características químicas del acuífero contenido por esta Formación; en muchos casos sobre la base de perforaciones cuyo objeto no era el estudio de esta unidad acuífera. En el noroeste de la Provincia de Buenos Aires se la encuentra a profundidades de más de 150 metros y posee salinidades del orden de 4000 a 7000 mg/dm3, predominando los acuícludos y con algunas intercalaciones acuíferas de muy buen rendimiento. Existen algunas perforaciones (realizadas para la industria) donde se ha extraído caudales de hasta 180 m^3 /h y valores de concentración salino cercanos a 1800 mg/dm^3, muchas de ellas realizadas en al cuenca del Río Matanza- Riachuelo en el Conurbano Bonaerense (PROSAP, 1996). Su espesor aumenta hacia el sur de la región pudiendo sobrepasar los 500 m. de potencia en la Cuenca del Río Salado. Los problemas fundamentales para la explotación de esta sección son la gran profundidad de los acuíferos y la elevada salinidad de sus aguas > a 2.500 mg./l. En la provincia de Santa Fe la sección superior esta compuesta por arcillas verdes, acuícludas, de espesores mayores a los 200 metros y de extensión regional y la sección inferior es una alternancia de arenas grises de tamaño mediano a grueso, gravas finas, arenas arcillosas gris verdosas con intercalaciones de mantos delgados de arcillas verdes discontinuas.(PROSAP, 1996) Hidráulicamente se comportan como acuíferos, acuitardos y acuícludos. Es importante mencionar que en perforaciones recientes en la provincia de Santa Fe se ha descripto la ausencia en el registro de las arcillas superiores aquí citadas (Novel Muñoz, conv. pers.). De lo expuesto se puede suponer que algunos sectores, debido a la discontinuidad de los mantos arcillosos superiores, la relación con la sección Epiparaneana es poco definida. En este caso conformaría un acuífero multicapa. Hacia las Sierras Pampeanas las áreas de recarga y descarga de los acuíferos suprayacentes se asocian a la topografía, siendo posible también una alimentación del Sur de las Sierras de Córdoba.(CAAAS, 1973) Los acuíferos de la sección inferior hacia el oeste son de permeabilidad baja a media y poseen aguas de elevada salinidad, de tipo sulfato-cloruradas-sódicas. (PROSAP, 1996).

Estudios más recientes realizados en la Ciudad de Paraná (Entre Ríos) determinaron que los niveles clásticos psamíticos de las Formaciones Ituizangó y Paraná se integran localmente como un solo sistema acuífero. Posee contactos verticales y laterales con entre sí, variaciones químicas significativas y cierto grado de desconexión con el ciclo hidrológico local que complican su caracterización (Filí et.al, 1997) Se citan para el conjunto caudales específicos del orden de

$6m^3/h.m$, conductividades hidráulicas entre 15 – 30 m/día, niveles estáticos del orden de 20 m.b.b.p. y se han clasificado fundamentalmente como bicarbonatadas sódicas y algunas como sulfatadas sódicas (Filí, Pérez, Tujchneider, Paris y D'Elia, 1997).

Hacia el este o sea hacia la zona de estudio, la Formación Paraná se profundiza progresivamente y solo es atravesada por la perforación Villa Elisa –1,en las perforaciones restantes la misma se halla ausente del registro estratigráfico en profundidad. En particular en dirección de la perforación Colón –1 donde el abrupto cambio ya discutido en el capítulo 4 hace suponer un control estructural o fallamiento en profundidad (ver perfil). Este cambio también tiene coincidencia con el cambio de composición química de los acuíferos infrayacentes en el área de Villa Elisa, cerca del límite entre las zonas hidroquímicas del Sistema Acuífero Termal (ver 5.4).

Otros datos que pueden aportar una idea regional de las características del Acuífero de la Formación Paraná corresponden a perforaciones de estudio realizadas en el Conurbano Bonaerense, (Novel Muñoz, inédito). Este estudio es importante mencionarlo porque solo comprende el acuífero de la Formación Paraná físicamente aislado en la perforación del aporte de los niveles supra e infrayacentes. El acuífero es confinado y estabiliza sus niveles dinámicos con gran dificultad y existe una relación inversa entre el coeficiente de almacenamiento y la extensión de los conos de depresión generados. .En esta región del Conurbano Bonaerense el acuífero tiene en techo y base, potentes paquetes de arcillas que le otorgan un grado confinamiento. Su espesor no es constante y en general tiende a acuñarse hacia el este, por lo que en las áreas ribereñas los caudales de explotación no suelen ser elevados.

Sin embargo en áreas de intensa explotación, en condiciones en que el Epipuelches está desaguado y transferidas sus aguas al Puelches, es decir con una sobreexplotación de la Sección Epiparaneana, éste último suele tener un comportamiento de acuífero libre y el Hipopuelches se encuentra fuertemente descomprimido , pudiendo llegar a adquirir, en las circunstancias apuntadas, características de semiconfinado. (Novel Muñoz, inédito).

En la localidad de Quilmes se comprobaron las características de confinamiento del Acuífero Paraná, ya que durante ensayos de bombeo de larga duración efectuados, el acuífero no alcanzó régimen permanente.Esta es una característica más que interesante ya que se verifica la incomunicación hidráulica natural entre los acuíferos Epiparaneanos y el Acuífero Paraná .El Acuífero Paraná se caracteriza por una permeabilidad regular y tiene como limitante más destacable su escaso espesor , respecto de la Sección Epiparaneana, lo que determina una Transmisividad equivalente al 40 % de ésta. La composición química de la Sección Epiparaneana posee conductividades bajas y altos contenidos de Arsénico y Flúor y son aguas clasificadas como es bicarbonatada sódica , en condiciones de no disturbación. En contraste, el Acuífero Paraná tiene un alto residuo conductimétrico y bajos índices de arsénico. Posee además, una composición química clorurada-sulfatada sódica. Existen antecedentes de constancia de parámetros químicos, aún para niveles de explotación importantes (150 m3/h o más) .

En el área de Quilmes, se determinaron los siguientes parámetros a diferentes caudales:
T1 = 328,91 m2/día
T2 = 367,30 m2/día
T3 = 399,20 m2/día
Clasificación: Cloruro-Sulfatada Sódica
Espesor medio : 15 m
Permeabilidad media : 21 m/día , variable entre 17 y 19 m/día .

En la zona de Quilmes , para una transmisividad de 211 m^2/día y un coeficiente de almacenamiento de 1,17 x 10^{-4}, el radio de influencia del bombeo fue de 5340 m al cabo de los 7 días y el descenso a esa distancia fue de 0,006 m .

La Transmisividad según Jacob (1940), varía entre 190 y 211 m^2/día y según Theis (1963) entre 133 y 199 m^2/día. Los valores del coeficiente de almacenamiento varían , según Jacob (1940), entre $6{,}6.10^{-4}$ y $8{,}9.10^{-5}$ y según Theis (1963) varía entre 9,8 x 10^{-4} y 1,38 x 10^{-4}, similares a los

anteriores. En ambos casos los valores mayores son próximos al ápice del cono y los menores a los sectores más alejados. En la misma zona en otro pozo de estudio se obtuvo que, para un caudal máximo de 150 m3/h , el descenso fue de 33-35 m con una capacidad específica media de 5,1 y 5,6 m3/h.m. En Bella Vista por referencia del constructor de una perforación, el Acuífero Paraná en la zona tiene características de surgencia natural (0, 50 m.b.b.p).

El Acuífero Paraná en la localidad de Hurlingham posee un residuo conductimétrico de 4070 ppm. Otra captación al Acuífero Paraná cercana posee menor contenido salino, detectándose en la localidad de Bella Vista una perforación de reciente construcción. Se observa que el Residuo Conductimétrico de la muestra analizada es de 2.310 ppm ambas presentan una clasificación de Clorurado-sulfatada sódica para este acuífero.

La importancia de estas conclusiones sobre el Acuífero Paraná en Buenos Aires consiste en la semejanza hidroestratigráfica que posee esta sección con la región oeste del área de estudio en particular el área de las captaciones Nogoyá ENR1X y Villa Elisa –1. Además la reducción de su potencia y acuñamiento hacia el este, hasta la ausencia del registro de profundidad permite comprender el control hidroestratigráfico de la Sección Suprabasáltica sobre la calidad química de los acuíferos más profundos como se detallara en el capitulo 5.4

Unidad acuífera de las Formaciones Ituizangó y/o Salto Chico o Acuífero Ituizangó

En subsuelo de la provincia de Entre Ríos, el espesor total de la Formación/es, aún no bien determinado, alcanzaría hasta 120 metros, disminuyendo de Este a Oeste y Sudoeste. Si bien la mayoría de las perforaciones de la provincia solo penetran parcialmente en la Formación Ituzaingó, (penetración promedio 10 a 14 metros) de acuerdo a perfiles existentes su espesor constatado es de 118,50 metros en la localidad de Rosario del Tala, 94 metros en Hasenkamps y 80 metros en General Urquiza (Bertolini, 1989).

Sobre la base de la granulometría de las arenas (entre 0,5mm a 2,0mm) se puede calcular una porosidad eficaz de 25 a 30%, y una permeabilidad teórica de entre 40 y 80m/día. No se han registrado antecedentes de ensayos de bombeo con valores de Transmisividad y coeficiente de almacenamiento en esta formación en el área de estudio previos a los presentados a continuación (PROSAP, 1996)

Se cuenta con antecedentes de caudales específicos que oscilan entre $8m^3/h/m$ y $40m^3/h/m$, y caudales de extracción de 60 a $800m^3/h$ y hasta $1200m^3/h$, teniendo el carácter de acuífero semiconfinado en sus 20 metros superiores (aproximadamente) de explotación. (Bertolini, 1989; PROSAP, 1996).

Las aguas subterráneas de la Formación Ituzaingó, corresponden, en general, a los tipos bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas. Las aguas sulfatadas, especialmente ubicadas en el Centro-Norte de la provincia, percolan verticalmente hacia la Formación Ituzaingó y se debe al drenaje vertical desde la Formación Hernandarias.

Arealmente disminuye hacia el Sur. Hay un sector restringido al sector del río Uruguay con aguas cloruradas sódicas. De acuerdo a los antecedentes, los valores de residuo seco, a nivel regional, oscilan entre 250mg/l y 3000mg/l, siendo el valor más representativo: 650mg/l. Las aguas en general son propensas a producir incrustaciones de carbonato de calcio. (Bertolini, 1989; PROSAP, 1996)

La presencia en algunos casos (a veces elevada) de hierro, induce un peligro potencial constante de efectos corrosivos e incrustantes, asociado a procesos bacterianos complejos. (CFI, 1993). Estudios específicos hidroquímicos en perforaciones en los Departamentos de Paraná y Diamante, con promedio 40 metros de profundidad, ubican a las muestras con índices de RAS (Salinity Laboratory Staff, 1958) entre un 39,45% dentro del campo C3-S2, el 25,5% en el C3-S1, el 13,4% en el C3-S3 y el 12,7% en el C2-S1.

En el área de estudio se realizaron varios bombeos a caudales constantes y variables con el objeto de determinar los parámetros hidráulicos del Acuífero Ituizangó. Aunque esto no es objeto de estudio en este trabajo, los resultados corresponden al acuífero en área de estudio y dada la falta de información regional contribuyen a un mejor entendimiento del sistema hidrogeológico suprabasáltico y la hidrogeología de la región en su conjunto. Las captaciones sometidas a estudios hidráulicos cercanas a las localidades de Gualeguaychú, Aldea San Antonio, San Salvador y Charrúas definen un perfil Norte-Sur de por lo menos 200 Km que dista entre uno 40 – 60 Km del Río Uruguay.

Se incluyen también, como apoyo al estudio presentado, los ensayos de bombeo de las la captaciones de estudio en Nogoyá y Rincón de Nogoyá, dirección de profundización de la cuenca. Se consideró esta geometría de distribución considerando que esta zona posee la estratigrafía más característica y uniforme de la región, hacia el Río Uruguay y hacia el noroeste y norte de la provincia puede haber variaciones de facies, ausencia de términos formacionales o afloramiento de los mismos alterando la representatividad de los resultados. La ubicación de las captaciones de estudio se detallan a continuación:

Perforación	Ubicación	Cota (m.s.n.m.)
Gualeguaychú	Km 16, Ruta Prov.42	37
San Antonio	A° Geancito	58
San Salvador	A° Grande	53
Charrúas	A° Yuquerí Grande	52
Rincón de Nogoyá	40Km al N de Gualeguay	75
Nogoyá	Ciudad	54

La estratigrafía atravesada y profundidad (en metros desde boca de pozo y sobre el nivel del mar)de los pases ajustado por perfilaje resistivo y gamma natural en cada perforación se resume en el siguiente cuadro:

Formación	Gualeguaychú m.b.b.p. m.s.n.m.	San Antonio	San Salvador	Charrúas	Rincón de Nogoyá	Nogoyá
Hernandarias o	0/22	0/17	0/10	0/14	0/33	0/15
Tezanos Pintos	37/15 .	58/41	53/43	52/38	75/42	54/39
Ituizangó o Salto	22/62	17/76	10/84	14/86	33-96	15-48
Chico	15/-25	41/-18	53/-31	38/-34	42/-21	39/6
Paraná	---	----	84.?	86.?	96.?	48-60
			-31.?	-34.?	-21.?	6/--6
Fray Bentos	62.?	76.?	---	---	---	60-106?
	-25.?.	-18.?				-6/-52

Los datos de hidráulica calculados en el acuífero Ituizangó corresponden a dos ensayos de bombeo a régimen variable (caudal constante) realizados en San Antonio y San Salvador con piezómetro de observación, las captaciones de Gualeguaychú, Charrúas y rincón del Nogoyá son ensayos a régimen permanente (caudal variable) y los datos corresponden al ultimo escalón del ensayo escalonado. El pozo de Nogoyá es el pozo OSN N°1 y no posee valores que permitan calcular sus parámetros hidráulicos. Las perforaciones se presentan en el siguiente cuadro:

Perforación	Espesor (m)	Caudal m^3/h Ensayado	Caudal Especifico. $m^3/h.m$	Trans. m^2/día	Almacenamiento.
Gauleguaychu	40	350	15.5	S/D	S/D
San Antonio	59	105.6	26-35	72	0.04/0.05
San Salvador	74	220-400	18-22	2100	0.02
Charrúas	72	350-410	27-72	S/D	S/D
Rincon de Nogoyá	63	125	11.8	S/D	S/D

El ensayo de bombeo realizado en la captación de San Salvador se extendió 84 horas siendo el más extenso realizado que permitió calcular un factor de goteo: 167 y una permeabilidad de sustrato semiconfinante: 0.37 m/día. Es evidente que las característica hidráulicas de acuífero permiten verificar una elevada permeabilidad a juzgar por sus altos valores de transmisividad y caudal específico, el valor de almacenamiento permite interpretarlo como un acuífero libre. Por lo tanto en el área de estudio las características del acuífero Ituizangó estarían representadas por estos resultados. Los valores de la captación en charrúas se aproximan mucho a los calculados en San Salvador puede interpretarse hacia el noreste un mejoramiento de las propiedades hidráulicas del acuífero.

La hidroquímica de esta unidad acuífera en el área de estudio queda representada sobre la base de información disponible de análisis químicos e interpretación hidroquímica de Bertolini, (1989) en la provincia de Entre Ríos y se complementa con la información proveniente de las captaciones presentadas en este estudio. Por su gran extensión y variabilidad de la composición, es difícil considerar. una muestra representativa que promedie la composición de las especies iónicas mayoritarias realizadas sobre este acuífero de las disponibles desde 1989 hasta 1998. Las aguas del acuífero varían en la región entre Bicarbonatadas sódicas, siendo las más extensas y aisladamente bicarbonatadas cálcicas en la región sur, las cloruradas sódicas restringidas en la zona de Colón al este y las sulfatadas sódicas restringidas en la zona norte entre Feliciano y Federal.

Debe considerarse que la hidroquímica de esta unidad no solo esta determinada por la recarga local de las precipitaciones en relación con su litología sino que además debe considerarse que las variaciones locales y/o regionales se vinculan con la geomorfología, tipo de suelos y espesor de las unidades que se sobre imponen a la misma. Por lo tanto es dificultoso considerar un valor promedio de su composición química. Estos son solamente indicativos a nivel regional en el área de estudio.

Acuícludos y/o Acuitardos Formación Hernandarias

El espesor en subsuelo varía en general con la cota topográfica, acuñándose por erosión y sedimentación con facies marinas en el borde occidente de la provincia e igualmente disminuye hacia el oriente hasta los afloramientos de la Formación Ituizangó y/o Salto Chico, (PROSAP, 1996). Los espesores máximos y mínimos de esta unidad en el área de estudio se resumen en el siguiente cuadro:

Espesor (m)	Localidad	Cota topográfica (m.s.n.m.)
2.0	Las Moscas	41
37.7	Urdinarrain	60
3.0	Juan Jorge	36
55.0	Est. El Pingo	90
40.0	Conscripto Bernardi	67

Posee carbonatos en forma concrecional, (tosquillas redondeadas de 10mm de diámetro), diseminados en casi todo el perfil, observándose un aumento de la concentración en la zona costera del Río Paraná. Hacia la base de esta formación, particularmente en la parte Centro-Norte y Centro-Oeste de la provincia, se destaca la presencia de yeso en forma de cristales insertos en arcillas verde grisáceas de hasta 3m de espesor. Ambas sales le confieren además al agua una elevada alcalinidad, dureza y sulfatos, lo que contribuye a incrementar el residuo seco (R.S.) a valores que superan 2500mg/l, (por ejemplo muestras de agua de las perforaciones de S.J. Feliciano, Conscripto Bernardi y Alcaráz).

En lo referente al sulfato de calcio, puede decirse por la elevada concentración en el agua (400 y 800mg/l), se encuentra diseminado en una extensa área interfluvial que comprende la Cuchilla de Montiel. Este carácter hidroquímico influye en la concentración aniónica de la Formación Ituzaingó subyacente.

Los antecedentes indican que la explotación de esta unidad que ha sido posible en algunas zonas ha sido sustituido en el tiempo, por perforaciones más profundas debido a los bajos rendimientos y las fluctuaciones del nivel estático como a la vez el deterioro de las condiciones químicas y bacteriológicas.

En el áreas de estudio considerándola como acuífero libre, no presenta interés hidrogeológico dada su limitada permeabilidad que se refleja en los caudales extraíbles que con dificultad alcanzan los $2m^3/h$ hasta agotarse.

5.2 Características Hidrogeológicas del Sistema Acuífero Termal

5.2.1 Características, extensión y geometría de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal

El área de distribución de las Formaciones del Sistema Acuífero Termal se encuentran mayoritariamente en la cuenca hídrica del río Paraná. En la historia precolombina esta zona era habitada por un conjunto de pueblos cuya etnia lingüística común se ha denominado como Guaraní y el área de influencia que dichos pueblos tuvieron suele denominarse "Nación Guaraní". Por esta razón se ha propuesto definir con el toponimio de "Acuífero Guaraní" (Anton, comn. pers.), que comprende al conjunto de Formaciones de edad Paleozoico, Triásico y Jurásico de la Cuenca Chacoparanense aflorantes en Uruguay (da Rosa Filho, et.al., 1996; Filí et.al., 1998). Como ya se ha expuesto en la sección 5.1.1 y 5.1.2 el "Sistema Acuífero Guaraní" ha sido definido en afloramiento y comprende niveles de edad Paleozoica (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998) y no esta completamente representado en el registros del subsuelo del área de estudio. El termino "Acuífero Gigante del Merco Sur" (Reboucas, 1994; Araujo et.al., 1995) fue también propuesto para referirse a los acuíferos del mesozoico de la región.

Sin embargo ambas referencias, si bien puede considerarse como un termino "informal", se evitaran en este estudio usar como denominación hidrogeológica. Considerando que los depósitos de edad triásica y jurásica en las extensas zonas occidentales de la Cuenca Chacoparanense en Argentina y Paraguay no son aún bien conocidos geológica e hidrogeologicamente y debido a la escasez de perforaciones y afloramientos, estos términos resultan ambiguos. Además, si se toman en cuenta las conclusiones referidas en el apartado 4.5 y 4.6, la correlación hidrogeológica de las unidades acuíferas en la zona de estudio con las definidas en Brasil es todavía un concepto que puede ser válido en términos hidroestratigráficos. Debe considerarse que "a priori" los acuíferos del Sistema Acuífero Termal en el área de estudio, y probablemente en toda la región Chacoparanense, muestran una hidráulica e hidroquímica compleja con áreas de recarga en climas diferentes a los de Brasil.

Es recomendable, de acuerdo con la International Hidrogeology Association, (1995), el uso de las nomenclaturas estratigráficas existentes previamente para las unidades acuíferas por estas contenidas. Por lo tanto se desaconseja el término "Acuífero Guaraní" dado que no se refiere a unidad alguna en la nomenclatura estratigráfica regional relacionada con la zona de estudio ni con unidades de edad contemporánea en la Cuenca Chacoparanense.

Por lo tanto se concluye que el término "Acuífero Guaraní" es carente de una correcta acepción hidrogeológica recomendándose un uso informal del mismo. Se propone entonces y de acuerdo a lo expuesto en la estratigrafía definida para la región (Cap 4) relacionar los acuíferos de la Sección Infrabasáltica con la denominación de las Formaciones capaces de contenerlos. A tal efecto se sugiere y se referirá en lo sucesivo con la nomenclatura Acuífero Botucatú (niveles productores de la Sección Infrabasáltica relacionados con la Formación homónima) y Acuífero Solari (niveles clásticos denominados Miembro Solari de la Formación Serra Geral, definidos en la Sección Interbasáltica) y Acuífero o Acuitardo Piramboiá. En los sucesivo, de comprobarse o definirse en el subsuelo del área de estudio la existencia de unidades formacionales que aún no han sido reconocidas en registro geológico profundo se propone incluirlas dentro de la Sección Infrabasáltica, tal como se ha definido en la sección 5.1.2., sean estas capaces o no de poseer un comportamiento acuífero.

Bajo la referencia de "Sistema Acuífero Termal " se comprenderá al conjunto de los acuíferos que lo definen en el área de estudio (ver cuadro hidroestratigráfico), considerando el criterio de media termométrica y temperatura del acuífero de Schöeller (1962), ampliamente usada en la literatura, según la expresión:

T(acuífero)>T (media) + 4°C	Hipertermal o termales
T(media)<T(acuífero)<T (media) + 4°C	Ortotermal o normales
T(acuífero)<T (media)	Hipotermal o frías

La extensión de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal no necesariamente debe coincidir con la extensión regional de las unidades formacionales que los contienen. El concepto de acuífero involucra, además de la litología y sus estructuras, los parámetros físicos que los caracterizan. Entre otras, las alturas potenciométricas del área de recarga, zona de descarga, hidroquímica de sus aguas, fases de equilibrio agua-mineralogía, dirección de la red de flujo subterráneo, isotopía de sus aguas, etc. Estas permiten limitar su extensión y definir una unidad acuífera característica.. En el caso del Sistema Acuífero Termal se suma además la condición expresada por Schöeller, (1962), pero significa que el termino Sistema Acuífero Termal no queda cerrado o limitado solamente por un determinado conjunto de Formaciones, sino por aquellas que además contienen acuíferos capaces de cumplir con la condición T(acuífero)>T (media) + 4°C (Hipertermal o termales). En el área de estudio queda representado por los Acuíferos Solari y Botucatú (eventualmente algún nivel acuífero intercalado en Piramboiá), sin excluir niveles acuíferos que, en futuras investigaciones, podrían considerarse incluidos en el Sistema Acuífero Termal. En consecuencia, se desprende de este concepto, que el "Sistema Acuífero Guaraní" por ser definido en afloramiento no cumple la condición termométrica de Schöeller (1962), por lo tanto para evitar confusión al respecto, si bien se entiende que posee acuíferos en común (Botucatú-Rivera y Tacuarembó –Piramboiá), que caracterizan el área de recarga, en profundidad no comprenden el mismo "Sistema". Por ello se propone evitar la denominación de Sistema Acuífero Guaraní a los niveles acuíferos contenidos en las Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral en profundidad, a la espera de futuros estudios más detallados.

La estratigrafía presentada en el capítulo 4 limita la extensión regional de la unidades formacionales y su variaciones laterales hacia el oeste de la Cuenca Chacoparanense y presenta un modelo estructural que condiciona la extensión y geometría de los acuíferos. Los depocentros mencionados y la profundización de las unidades en área de estudio en rumbo NE-SO tiene control sobre la dirección de flujo subterráneo. Sin embargo, las Formaciones Serra Geral, Botucatú y Piramboiá, unidades continentes de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal, afloran en el este del río Uruguay. Regionalmente estas áreas de afloramiento en Uruguay y el Estado de Río Grande do Sul (Brasil) hasta el paralelo entre las ciudades de Guaviraví - Itacurubí cubren una superficie aproximada de alrededor de 85.000 Km^2 y en Argentina la Formación Serra Geral aflora en las provincias de Corrientes y Misiones con un área aproximada de 7000 Km^2 . Se debe considerar que en el área de estudio presenta un depocentro que se profundiza NE-SO separado de los depocentros definidos en Brasil por el Arco de Río Grande (Araujo et.al., 1995) que eleva la altimetría del Basamento y las Formaciones suprayacentes. Se puede proponer al área de estudio comprendida y limitada estructural y estratigraficamente del resto de la cuenca en Brasil. Esto permite adoptar un criterio de estudio considerándola como una subcuenca hidrogeológica independiente. Los factores citados para comprender al Sistema Acuífero Termal contenido en una subcuenca hidrogeológica particular, e independiente de otros acuíferos termales en la región se resumen en las siguientes:

- El mapa geológico de la región (ver mapa 7.1.2) presenta en la zona de estudio los afloramientos de la Formación Serra Geral sobre la banda oriental del río Uruguay, sobre el Estado de Río Grande do Sul y el norte de la República del Uruguay y en Argentina en la provincia de Misiones (al norte) región central de la provincia de Corrientes al (Noreste). Otros afloramientos en el área de estudio son restringidos y relacionados al Río Uruguay, como en Salto Grande en Entre Ríos

(Bertolini, 1995). Toda la región de afloramiento puede describirse como una faja de clara orientación NNE-SSO. En el Sur de Corrientes y la Provincia de Entre Ríos la Formación Serra Geral solo ha sido hallada en profundidad con una altimetría descendiente en dirección NE-SO y E-O controlada por las estructuras de profundidad hasta aproximadamente los 34° de latitud acuñando contra el Basamento cristalino de la cuenca o "Alto del Río de la Plata" (Fernández Garrasino, 1999). Hacia el norte, el Arco de Río Grande (Araujo et.al., 1995) aproximadamente hasta la latitud de localidad de Itacurubí en Río Grande do Sul, Brasil o el pozo Guaviraví-1 en la localidad homónima en la Provincia de Corrientes, Argentina el espesor de la Formación Serra Geral se profundiza considerablemente limitando la cuenca hidrogeológica. Hacia el noroeste el alto de Pay Ubre en Corrientes (Chebli et.al., 1989) permite el afloramiento de estas unidades. Al este del Río Paraná, la Formación Serra Geral se profundiza altimetricamente hasta que ya no es reconocida en la estratigrafía de profundidad en los pozos al oeste de la región central de la Provincia de Santa Fe. Hacia el Sudeste, su extensión es mayor y es reconocida en la perforación de Firamt-1 en Santa Fe, Ordoñez y Camilo Aldao en Córdoba aflorando en las cercanías de Río Cuarto al sur de Sierras Pampeanas. Estos dos últimos corresponden a la extensión de la Formación Serra Geral y no del Sistema Acuífero Termal que queda restringido al área de estudio ya definida, de igual forma que los acuíferos al norte del Arco de Río Grande hacia Brasil y Paraguay.

- La Formación Botucatú y Piramboiá o Formación Rivera y Tacuarembó en Uruguay que constituyen la unidades geológicas que contienen los mejores niveles productores del Sistema Acuífero Termal afloran exclusivamente en territorio Uruguayo y Brasileño (y términos correlacionables en Paraguay). Se disponen formando un cordón paralelo a los afloramientos de la Formación Serra Geral hacia el este de la misma, con orientación N-S. En el área de estudio han sido definidas en profundidad a partir de las perforaciones realizadas y ya interpretadas en el capítulo 4. De acuerdo a lo expuesto estas Formaciones también en profundidad se extienden en sentido N-S, de hecho son las captaciones de la margen occidental del Río Uruguay entre Villa Elisa-1 y Guaviraví-1 las que presentan una litología correlacionable con las captaciones y afloramientos al oriente del Río Uruguay. Las variaciones laterales de estas Formaciones constituyen el límite de estos niveles productores por ellos contenidos. Hacia el sur de la provincia de Entre Ríos, el aumento altimétrico del Basamento verificado en las perforaciones de Concepción del Uruguay-1, Gualeguaychú-1, Gualeguay-4 y la reducción de espesores de la Formación Serra Geral constituyen un borde de cuenca para edades Mesozoicas que controla la potencia de las Formaciones Botucatú y Piramboiá reduciendo su espesor y acuñando en la dirección Norte-Sur. Eventualmente la estructura de bloques supuesta para la región permitió que facies de litología más fina (Formación Piramboiá) se preserven en el registro geológico, como en Gualeguaychú-1 y Nogoyá-1. En Colón-1 la situación es más compleja debido a cercanía de la chimenea volcánica definida en 1 de Mayo (Vila, 1962; Introcaso y Gerster, 1985, Guspi, 1991) provocando un apilamiento de coladas representada en un aumento del espesor de la Formación Serra Geral en su zona de influencia que disminuye gradualmente hacia el ENE. Razón que podría explicar la ausencia de la Formación Botucatú/Piramboiá en el registro geológico de Colón -1 donde los niveles productores corresponden al Acuífero Solari que es interbasáltico. Hacia el Sudoeste de Entre Ríos el pozo Nogoyá ERN-1x constituyc el más representativo de las variaciones laterales de los niveles clásticos mesozoicos en el área de estudio representado en esc caso por la Formación Piramboiá, (limo arcillosa-arenosa) y ausencia en el registro de la Formación Botucatú (fundamentalmente arenas con limo-arcilla intercalado). Según Fernández Garrasino, (1996), que asigna la denominación de Formación Misiones a los niveles clásticos correlacionables con las Formaciones Botucatú/Piramboiá o Formaciones Rivera/Tacuarembó a estos niveles (capítulo 4) las perforaciones al oeste del área de estudio varían litológicamente de estos en que dichos niveles predomina la fracción clástica limo-arcilla por sobre la fracción arena fina a media característica de los niveles eólicos de la Formación Botucatú. Esta variación litológica de sus facies puede ser tema de discusión estratigráfica hacia el oeste del área de estudio

pero es indudable que modifica deteriorando las condiciones hidráulicas de las Formaciones consideradas. Restando así la capacidad de comportarse como acuíferos por la dificultad que presentan a la extracción del agua contenida. De acuerdo al informe de perforación original de la (YPF, 1962), el pozo Nogoya-1 con un tapón en 725m.b.b.p.. extrajo 3,3 m^3/día con 7,9 g/dm^3 de concentración salina total.

- El Basamento Cristalino no aflora en el área de estudio, más al sur aflora en Isla Martín García, Juncal y San Gabriel, pero en el área al norte de las Islas del Ibicuy se ha tocado a diferentes profundidades en las captaciones Gauleguay-4, Colón-1, Concepción del Uruguay-1, Gualeguaychú-1 en el sector entrerriano y en Guaviyú y Arapey en el sector Uruguayo. La altimetría de los contactos aumenta en profundidad en dirección NO-SE coincidiendo con la dirección en la cual se profundiza el Mesozoico. Chebli et.al., (1989) proponen el control de la sedimentación por el Basamento al menos para los niveles de edad anterior al Cretácico inferior (Ciclos II y III), señalando el alto del Río de la Plata aflorante en la Isla Martín García al sur del área de estudio (Fernández Garrasino, 1999). y el Alto de Pay Ubre. El control estratigráfico se traduce en un control hidrogeológico del acuífero al sur, sudoeste y al noroeste del área de estudio probablemente interrumpiendo la dirección de flujo.
- La geometría de las unidades productivas, es decir de los niveles de areniscas medias -finas de buena selección que caracterizan a las Formaciones Botucatú y el M. Solari, deben considerarse de una jerarquía subordinada a la estratigrafía y las estructuras que controlan las Secciones Hidrogeológicas Infrabasáltica e Interbasáltica. La información de las perforaciones no es lo suficientemente detallada para determinar geometrías de las unidades productoras de los acuíferos. Los datos de afloramiento tomados e interpretados por Jalfín, (1991), expuestos en el capítulo 4, distinguen para las eolianitas en general tres superficies limitantes. Los límites 1° orden corresponden a superficies que generalmente subyacen a estratos con estratificación horizontal y tabular pertenecientes a la facies PB, los de 2° orden corresponden a los límites entre los sets de un mismo coset, y los de 3° orden corresponden a superficies de reactivación dentro de un set. La variabilidad en el espesor de los sets en los contactos de 2° y 3° orden indicaría grandes variaciones de tamaño en las dunas que conforman el depósito. Los estratos cruzados son de geometría linguoide y son entonces en consecuencia limitados dentro de los de 1° orden. Por lo tanto es de suponer que esta geometría tenga influencia sobre los niveles de aporte particulares del acuífero contenido en la Formación Botucatú. En el miembro Solari de la Formación Serra Geral se describen características similares (Jalfín, 1991) que conjuntamente con el grado de cementación de estas unidades condicionaran el aporte de los niveles productores.

Por último se presenta a continuación, un diagrama de bloques sobre los perfiles característicos de las unidades consideradas que resumen gráficamente los factores de control estratigráfico y estructural sobre los acuíferos en estudio. Se realizó sobre la base de los datos oportunamente presentados construidos e interpretados sobre los perfiles de Paso Ulliestre-1 / Gualeguay-4 (Bloque A sur), Almiron-1/Nogoyá ERN-1x (Bloque B Centro) y Artigas-1/Est. Estacas-1 (Bloque C Norte), como base de un modelo 3D de los acuíferos contenidos en las Secciones Infrabasáltica e Interbasáltica

5.2.2 Estudios geoeléctricos en la región

Debido a la difusión e importancia que los métodos geofísicos geoeléctricos tienen en la prospección de acuíferos, cuya interpretación depende íntimamente de la geología del área de trabajo, es conveniente analizar sus resultados en el contexto del estudio de los acuíferos. Por esta razón se trata en este capítulo cuando ya se ha discutido la propuesta estratigráfica y estructural que controlan los acuíferos de interés y es posible interpretar y evaluar su importancia como herramienta de prospección en el área de estudio.

Los primeros sondeos eléctricos verticales fueron realizados y eventualmente interpretados por la Ex Agua y Energía (1986) en toda la banda del río Uruguay en la Provincia de Entre Ríos. Posteriormente diferentes autores entre ellos Ponti y Pastore, (1992) en la ciudad de Federación y Concepción del Uruguay; Bertolini y Tomas, (1992) sobre la base de los antecedentes de la Ex Agua y Energía (1986), Díaz, Sanguinetti y Dallacosta, (1993) en Colón, en Viale y Gualeguaychú (Pastore con. verb), Ainchil, et al (1998) en Guaviraví y Villa Elisa; Ponti, et.al.(1997) en el Norte de Entre Ríos y Sur de Corrientes y algunos a cargo de empresas privadas para la Secretaría de Minería de Entre Ríos en el área de La Paz han realizado o reinterpretado sondeos (SEV). En general estos estudios fueron realizados con intención de prospectar las posibilidades de explotar los acuíferos termales de la región. Aquí citaremos las conclusiones de los estudios detallados con objeto de mejorar la interpretación de la columna hidroestratigráfica y como elementos de correlación de los niveles acuíferos y en particular el Sistema Acuífero Termal.

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) fueron realizados según el método Schlumberger adaptado por Orellana (1982) con una longitud AB que alcanzaba entre 5 y 7 Km procurando alcanzar profundidades cercanas a los 1000-1200 metros. El método Schlumberger permite diferenciar horizontes resistivos a partir de las resistividades relativas de los datos de campo, obteniendo así las resistividades absolutas de cada nivel. Es una interpretación frecuente que el número de capas se asigne en función de un "modelo teórico" es decir, un arreglo de capas en profundidad en número y espesor supuestos sobre la base de antecedentes con el fin de correlacionar los horizontes resistivos con las unidades geológicas y acuíferas buscando caracterizar los mismos. En esta metodología es importante considerar sondeos paramétricos, es decir, aquellos sondeos cercanos a perforaciones con estratigrafía conocida con el objeto de calibrar los modelos de interpretación relacionando los horizontes resistivos a las unidades formacionales y el agua de formación en conjunto.

Entre los estudios de alcance más regional relacionado con el área de estudio puede considerarse el realizado por la Ex Agua y Energía (1986) del que se resumirán sus interpretaciones y conclusiones más relevantes . Sobre la base del mismo se dividieron oportunamente diferentes áreas de exploración llamadas el Area Colón, Palmar, Concordia, Federación, Nogoyá - Villaguay (Zona adicional). En la zona de Colón se realizaron 8 SEV y solo un SEV permitió interpretar una rama final descendiente que puede corresponder a un nivel conductor, este SEV tiene una ubicación geográfica cercana al A° Artala sobre la ruta prov. 26 cerca de San José unos 2000 metros al Norte de la actual captación Colón-1, todos los demás SEV no presentaron una caída de resistividades a esa profundidad. La zona del Palmar se realizaron 9 SEV, citándose rasgos geofísicos similares al área de Colón todos los SEV presentan tramos H (ascendentes) interpretados como los correspondientes a las rocas basálticas y solo un SEV presenta un tramo final K (descendiente) con un AB/2 de 2500 metros que hace suponer la presencia de las areniscas en profundidad, los primeros ciclos de las curvas presentan morfología diferente relacionada con variaciones suprabasálticas. En el área de Concordia se realizaron 4 SEV y 3 en Puerto Yeruá, las curvas de los SEV cercanos a Salto Grande son en su mayoría de tipo HKHK y su tramo final descendiente ha sido interpretado como el correspondiente a las areniscas infrabasálticas. En Puerto Yeruá también se observa el descenso de la curvas de los SEV en las separaciones AB/2 de 2500 metros aunque se diferencias en los primeros ciclos logarítmicos de AB/2 en 100 metros por sus diferentes valores. En el área de Federación sobre 8 SEV realizados todos muestran la secuencia de curvas HKHK con tramo final descendiente en la apertura AB/2=1500 metros interpretada como la respuesta de las arenas infrabasálticas poco mineralizadas. En Nogoyá y Villaguay también se observa una asociación de tipo HKH pero no puedo superarse la marca de AB/2=1000 metros debido a la intensa mineralización de las capas atravesadas, inferida a través de la detección de una capa muy conductora debajo de los valores resistivos atribuibles a las rocas basálticas. En estudio de la Ex-Agua y Energía (1986), caracteriza las diferentes horizontes a través respuestas de las curvas de resistividad aparente definiendo:

- *Formaciones Suprabasálticas*: Constituida por varias capas o cortes geoeléctricos atribuidas a secuencias de arenas, arcillas u ambas, algunas con alto contenido salino (1 -5 ohm.m) manifestadas en los SEV de Villaguay y Nogoyá. Se asignan resistividades características a litologías relacionadas. Para arcillas entre 12-18 ohm.m, limos entre 13-20 ohm.m, arenas limosas o arcillosas entre 21 -40 ohm.m y areniscas 50 ohm.m.
- *Coladas Basálticas:* Presenta contraste con la anterior debido a su elevada resistividad superior a 80 ohm.m y alcanzando casi los 200 ohm.m. En los SEV de Puerto Yeruá y Salto Grande se observan resistividades bajas entre 20-60 ohm.m consecuente de su intensa fracturación que permite contener agua en las fisuras.
- *Areniscas infrabasálticas:* Representado por la rama descendiente (tipo K) en los SEV ya expuestos se le atribuyeron resistividades del orden de 3-25 ohm.m.

En resumen se concluye que las coladas basálticas presentan una profundización de su techo en dirección Norte-Sur y Este-Oeste con cambios bruscos de profundidad. Los niveles resistivos infrabasálticos (atribuibles a las areniscas infrabasálticas) evidencian una leve profundización Norte-Sur no pudiendo definir su comportamiento Este-Oeste.

Bertolini y Tomas, (1992), resumen esta información en perfiles geofísicos y asignan una profundidad de 900 metros desde superficie al limite basalto-arenisca infrabasáltica fundados en los contrastes resistivos en las mediciones de la Ex agua y Energía, (1986). Estos horizontes resistivos, según interpretan estos autores, son característicos de las localidades de Puerto Yeruá, San José, Colón, Concordia y Federación sobre la costa occidental del Río Uruguay en la Provincia de Entre Ríos.

El estudio realizado por la Ex- Agua y Energía (1986), posee conclusiones de alcance regional que corroboran interpretaciones estructurales realizadas previamente en la zona con métodos sísmicos. Las direcciones de profundización y los cambios de profundidad del techo de la Formación Serra Geral fueron interpretados previamente a partir de las perforaciones en Uruguay y los estudio de sísmica de refracción realizados por la EX- YPF. En cuanto a la profundidad y espesor de la Formación Botucatú no aporta mayor información que la que podría inferirse por debajo de la respuesta resistiva de los basaltos. La falta de pozos en la zona de prospección necesarios para realizar estudios geológicos en detalle, perfilaje, hidroquímica y sondeos paramétricos en conjunto con la dispersión areal de los SEV en el terreno, limitó las interpretaciones de los SEV realizados. Bertolini y Tomás (1992), realizan una revisión de la información que adolece de las mismas limitaciones que la anterior, concluyendo que la profundidad del pase formacional entre Serra Geral y las arenas infrabasálticas, a la que ellos llaman Formación Tacuarembó, se encuentra cerca de los 900 metros para el área de estudio. Las perforaciones realizadas posteriormente en el área de estudio, que permiten conceptualizar más claramente la estratigrafía y el control estructural, permiten determinar que la Formación Botucatú, (a la que se refieren como Formación Tacuarembó), subyace a la Formación Serra Geral, y como se ha expuesto en los capítulos 4 y 5 posee alturas estructurales de su techo muy variables en el área de estudio.

Ponti (1992), realiza unos 11 sondeos en la ciudad de Federación y define una serie de recomendaciones locales sobre la base de un sondeo paramétrico en Arapey-1, entre ellas las más importantes para este trabajo son:

- El nivel de interés prospectivo del recurso agua termal presenta buenas resistividades entre los 850-900 m. (desde superficie) hasta los 2000 metros con muy escasa variaciones.
- En función de la información geofísica y geológica de superficie en Uruguay se recomendó no superar los 1400m debido a la existencia de arcillas de la sección basal de la secuencia conocida como Formación Tacuarembó en Uruguay.

Este último, si bien es un estudio local, fue interpretado sobre la base de un SEV paramétrico a menos de 50 Km ubicado en Arapey, el área de estudio es de pocos kilómetros cuadrados y con una densidad de sondeos suficientemente representativa.

La prospección geoeléctrica de detalle realizada en la localidad de Federación posee una resolución y un contraste de resistividades que permite definir con un buen grado de precisión el limite basalto- arenisca y con mayor dificultad las variaciones geológicas que se evidencian hacia la base de la secuencia de areniscas. Esta interpretación se fundamentó en una adecuada densidad de sondeo y en la interpretación basada en un sondeo paramétrico realizado sobre Arapey-1 que a pesar de encontrarse a 45 kilómetros, resultó adecuado a raíz de los resultados obtenidos en Federación-1.

Díaz et.al., (1993) realizaron un estudio de prospección geoeléctrica en el área del Ejido de Colón. Se realizaron dos (2) SEV uno sobre la ruta 135 y otro en el camino vecinal a La Capilla esta información se complemento con el SEV 7 realizado en Colón por la Ex Agua y Energía, (1986). Dichos autores proponen las siguientes conclusiones:

- Se determino una capa de baja resistividad a una profundidad de 600 metros, por debajo de la respuesta resistiva de los basaltos.
- Se determinó que el espesor de los basaltos queda bien definido y su techo oscilaría entre 125-165 metros de profundidad.
- Se determinó que los resultados de los SEV realizados, correspondientes a niveles poco resistivos corresponden al "acuífero termal" explotado en Daymán o bien con los acuíferos explotados en Paso Ulliestre y Almirón.
- Sobre la profundidad del basamento cristalino se modelizó sobre la base de los datos de campo con una apertura teórica de AB=10000 metros, considerando tres opciones de profundidad para el basamento en 1200, 1500 y 1800 metros optando por la primera.

La prospección realizada muestra un adecuado ajuste de los pases litológicos más contratantes con los horizontes resistivos, la resolución de los límites basalto - depósitos clásticos puede considerarse adecuada a la luz de los datos e interpretaciones de la captación Colón-1. El techo de la Formación Serra Geral a 228 m.b.b.p.. se corresponde adecuadamente considerando que el techo de Serra Geral suele contener un acuífero fracturado saturado en agua de pocos metros de espesor (Acuífero Arapey) con resistividades similares los sedimentos suprabasálticos. El mismo estudio cita valores de baja resistividad a profundidades del orden de los 600 m que aproxima la profundidad del nivel clástico productor de agua termal más potente del Miembro Solari (65 metros), En este caso, a pesar de que los sondeos esta a 4 y 5km de la captación, localmente puede correlacionarse al principal nivel de explotación en Colón. En cuanto a las profundidades supuestas de basamento es lógico suponer que el contacto entre la Formación Serra Geral y el Basamento Cristalino sea difícil de determinar y puedan enmascararse las respuestas. Las características litológicas de la columna entre 900 - 1200 o 1500 metros de profundidad, donde se encuentra ya el Basamento Cristalino, puede no tener un contraste de resistividad que permita diferenciarlo de la Secuencia Volcánica.

Ponti y Pastore, (1995) realizaron en la ciudad de Concepción del Uruguay 6 SEV considerándose el más favorable el ubicado cerca del kilómetro 67 de la Ruta 14 a 150 metros de la captación Concepción del Uruguay-1. Se realizó previamente la mismo y se interpretó sobre la base del pozo de Federación-1 que en ese momento era el único en la banda occidental del Río Uruguay. Sobre el mismo se interpretó y concluyó en los siguientes puntos:

- La cubierta basáltica posee una resistividad comparable a los basaltos atravesados en la captación Federación -1.

- El nivel de interés prospectivo del recurso agua termal presenta buenas resistividades entre los 900 -1000m. (desde superficie).
- El tramo final de la curva muestra un aumento notable de la conductividad posiblemente a causa de la cercanía del basamento cristalino.

La información geológica de la captación Concepción del Uruguay-1 no se corresponde adecuadamente a la interpretación geoeléctrica en la zona debido a varias razones limitantes, que en esta interpretación, no se consideraron adecuadamente. A saber:

- La ausencia de un sondeo paramétrico en un pozo cercano de estratigrafía conocida.
- La falta de un estudio geológico estratigráfico y estructural sobre la base de la información, gravimétrica, aeromagnética, sísmica previa, que considere las perforaciones ya existentes.
- La extrapolación de las conclusiones en la prospección de Federación a un área donde la geología de profundidad muestra características diferentes y un importante control estratigráfico y estructural sobre la ocurrencia de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal.

Ainchil, Giusso, Kruse y San Cristobal, (1998), interpreta dos SEV uno en la ciudad de Villa Elisa ubicado 10 al oeste de dicha localidad sobre la ruta 130 y otro de tipo paramétrico cerca del punto de la perforación Guaviraví-1 en Corrientes a 400 Km del anterior. Concluyen en que existen variaciones laterales y de espesores importantes. Proponen una interpretación para las resistividades en la zona de Guaviraví y en la zona de Villa Elisa, esta última propuesta previamente por Ainchil y Guisso, (1997) La misma se presenta según:

Villa Elisa (VE-1)	Resistividad (ohm.m)	Guaviraví	Resistividad (ohm.m)
Cubierta Superficial	4	Cubierta Superficial	20
Arenas y Gravas	90	Arenas	10 a 20
Limos	35	Arenas con Arcilla	5
Limo y Arcilla	6	Basaltos	200
Basaltos	70	Niveles permeables	15
Niveles permeables	4	Sustrato	500
Sustrato?	1500		

Los autores no presentan las profundidades y/o espesores de los horizontes resistivos, por ende, no proponen una correlación hidroestratigráfica. Los términos "Niveles Permeables" o "Sustrato" son ambiguos y no tienen acepción geológica e hidrogeológica, es propone aquí que se los considere referidos a la Sección Infrabasáltica y Basamento hidrogeológico respectivamente.

En la región norocciedental de Entre Ríos entre la Paz y Estación Estacas se realizaron 18 SEV, (Proyecto La Paz, 1996). Dieciséis de ellos en la Ciudad de La Paz, un SEV paramétrico en la captación Concordia-1, otro en la Estación Estacas y otro en Nogoyá ERN-1X. La conclusiones interpretadas y correlación de los SEV en este estudio les permitió determinar el siguiente cuadro:

Resistividad ohm.m	Espesor en metros	Litología
6-108	30-200	Arenas Saturadas con agua dulce
0.5-2.2	200-400	Sedimentos saturados con agua de alta salinidad
25-150	300-500	Basaltos (Fm Arapey)
10-20		Areniscas (Fm Tacuarembó)

Además se mencionan en el estudio las siguientes conclusiones:

- Dentro del contexto general de la cuenca y su correlación se infiere para el área de La Paz la existencia de las Formaciones Tacuarembó y/o Buena Vista a una profundidad aproximada de

900/950 metros y se mencionan elementos geológicos favorable para la presencia del acuífero termal en la zona:

- La correlación geológica entre las perforaciones San Cristobal y Concordia aunque muy distante es válida para La Paz coincidiendo con el perfil geoeléctrico en esa dirección.
- El valor de resistividad en el área de La Paz del horizonte resistivo más profundo es de 15 ohm.m, inferior al de 30 ohm.m medidos pro estos autores en Nogoyá.
- La configuración del subsuelo de la cuenca controlado por estructuras (fallas) ONO - ENE.
- Ausencia de elementos estructurales positivos transversales al rumbo mencionado
- El eje de la cuenca en la dirección La Paz - Concordia (E-O)

La prospección tiene importancia considerando la dispersión de la información en la región y por su localización en límite del área de estudio. La zona noroccidental de Entre Ríos no posee perforaciones profundas cercanas. La perforación de la Estación Estacas (386m.b.b.p.) dista a 40 Kilómetros de la ciudad de La Paz, Nogoyá ERN-1X a 269 Km, Concordia 164 Km y San Cristobal 158km.

La ausencia de una perforación que sirva como base para una interpretación paramétrica en un área con control estructural y con variaciones litológicas importantes complican la correlación de los horizontes resistivos. Por estas razón, las conclusiones obtenidas no condicen adecuadamente con la configuración del subsuelo de la cuenca. Las resistividades asignadas a los horizontes en el pozo de Nogoyá ERN-1X de 30 ohm.m no coinciden con las profundidades de los pases definidos en Nogoyá ERN-1X para el límite infrabasáltico con la Formación Piramboiá (sedimentitas infrabasálticas). Tampoco con las bajas resistividades medidas en el SEV cercano al mismo pozo que previamente dificultaron la interpretación de los niveles infrabasálticos a la Ex Agua y Energía, (1986). Siendo este último criterio (Ex Agua y Energía, 1986) más cercano de corresponderse con las mediciones de salinidad de las aguas subterráneas efectuadas en Nogoyá ERN-1X, del orden de 7,9 g/dm^3 correspondiente a los niveles infrabasálticos (YPF, 1962).

Debido que el estudio Proyecto La Paz, (1996) emplea como base de interpretación la perforación Nogoyá ERN-1X, se considera poco fiable la determinación de 15-20 ohm.m para las areniscas infrabasálticas. Además, las conclusiones referidas a la profundidad de los pases formacionales pueden inferirse directamente de la perforaciones existentes y la configuración estructural propuesta en el Proyecto La Paz, (1996) no coincide con los lineamientos propuestos (ver figuras, 3-7) por los diferentes autores que han estudiado la zona (Padula y Mingramm, 1968; Tujchneider y Fili, 1987; Zalán, et.al., 1987; Chebli et.al., 1989; Fernández Garrasino, 1989, 1991, 1994).

En síntesis de lo expuesto es probable la presencia de niveles clásticos infrabasálticos correlacionables en profundidad con la Formación Botucatú a profundidades cercanas a los 1000 metros. Sin embargo es conveniente considerar, sobre la base de los expuesto en el capitulo 4, a dichos depósitos como correspondientes a la Formación Misiones en el concepto definido por Fernández Garrasino, (1996) considerando además que la Formación San Cristobal (Padula y Mingramm, 1968) posee características que la asemejan a los niveles occidentales de la Cuenca Chacoparanense. Todo lo expuesto en el marco estructural más complejo definido anteriormente en los apartados 4.6, 4.7 y 5.1.

Ponti et.al., (1997) realizaron una prospección al norte del Río Guayquiraró, a 20 Km al norte de San Jaime (Ea. Yaguarete y Arroyo Garay), Dpto. de Curuzú Cuatiá, Prov. de Corrientes. Se realizaron 6 SEV con una apertura de AB=5000 metros. En todos los SEV el último tramo de los terceros ciclos logarítmicos de las a curvas son ascendentes de tipo H. Estos autores concluyeron que:

- Sobre la base de los elevados valores de resistividad obtenidos que oscilaron entre 90 / 117 ohm.m no se habría logrado llegar a la base de las rocas basálticas correlacionables a la Formación Serra Geral. La profundidad máxima de penetración fue cercana a los 1200 metros.

- Sobre la base de las elevadas resistividades obtenidas a partir de los datos de campo no puede determinarse la presencia de niveles clásticos intercalados saturados de agua (M. Solari) de un espesor productivo adecuado. Esto último puede deberse a su ausencia, poca potencia o la influencia de los basaltos en las determinaciones de campo.
- Los valores de resistividad determinados por debajo de la potente unidad resistiva suprayacente varían entre 38 - 45 ohm.m. Estos últimos por si mismos no son criterio suficiente para considerarlos como correspondientes a las areniscas infrabasálticas, dado que no existe en la región un pozo cercano de esa profundidad que permita realizar un estudio paramétrico. De corresponderse con dichos sedimentos y considerando que poseen una resistividad superior a la interpretada y correlacionada en los pozos sobre el Río Uruguay cabría suponer una variación lateral de litología más fina, probablemente limos arcillosos o limos arenosos comparables a los descriptos para la Formación Piramboiá.

Al igual que el caso anterior correspondería al límite norte del área de estudio y la ausencia de perforaciones cercanas no permiten una mejor inferencia que la propuesta. El techo de la Formación Serra Geral se encuentra en esa zona a 30 m.b.b.p., (sobre la base de perforaciones poco profundas) y la región constituye el límite norte y noroeste del área de estudio coincidiendo con el aumento altimétrico del basamento relacionado al alto de Pay Urbe en Corrientes (Chebli et.al., 1989).

Analizando en detalle la información geoeléctrica sobre la base de las perforaciones existentes en la Prov. de Entre Ríos puede mejorarse la interpretación con el objetivo de caracterizar la correspondencia entre los horizontes resistivos y los acuíferos del Sistema Acuífero Termal.

Es evidente que los distintos métodos geofísicos han tenido mayor o menor resolución en la interpretación de la estratigrafía y características estructurales de la región. En función de ello han sido de mayor o menor utilidad en la prospección del recurso petrolero primeramente y agua termal en los últimos tiempos. Los estudios geoeléctricos en el contexto regional no aportan información de subsuelo en la misma medida que se sirven de ella para su interpretación. Si bien existen rasgos estructurales regionales que han tenido su expresión en los estudios geoeléctricos, como las variaciones de la profundidad del techo de la Formación Serra Geral y la determinación de las direcciones de profundización de la cuenca (Ex Agua y Energía, 1986), las prospecciones sísmicas, gravimétrica y aeromagnética en conjunto con los datos de las perforaciones realizados han aportado la información para proponer un modelo de control estratigráfico y estructural sobre los acuífero del Sistema Termal.

Las prospecciones geoeléctricas o SEV ampliamente usados para la prospección del recurso termal parecen resultar resolutivos cuando se dispone de información geológica de profundidad en puntos cercanos a los sondeos y con pocas variaciones litológicas regionales como el caso de Federacion-1, Concordia-1 y Colón-1. Pero en las áreas donde no existen captaciones profundas cercanas su capacidad de resolución e interpretación se dificulta por la falta de información o por la compleja geología de la cuenca en el área de estudio. Esta situación genera las imprecisiones en Villa Elisa-1, Concepción del Uruguay-1 y en la interpretación en el área noroccidental de Entre Ríos (La Paz).

Es importante considerar que la región posee un control estructural en profundidad muy complejo con una secuencia tecto-sedimentaria compleja y difícil de resolver con los métodos clásicos de prospección de aguas subterráneas.

5.2.3.- Propuesta de un Modelo de Correlación entre Geoeléctrica y Estratigrafía

Sobre la base de este criterio la correlación de los horizonte resistivos de los sondeos eléctricos verticales con la estratigrafía en la provincia de Entre Ríos, es posible localmente y con el apoyo de las perforaciones cercanas a los mismos que permitan interpretar sondeos paramétricos aptos para cada zona en particular evitando extrapolarlos a grandes distancias.

Reinterpretando la información existente se proponen a continuación tres áreas con correlaciones posibles entre horizontes resistivos y estratigrafía características para cada una de ellas separadamente. Las mismas se denominarán Federación/Concordia, Colón/Concepción del Uruguay y Villa Elisa/ Nogoyá. Estas a su vez pueden considerarse como representativas de las áreas norte y centro y sur-suroeste del área de estudio. Las mismas permiten caracterizar las Secciones Hidroestratigráficas propuestas y en algunos casos cuando el contraste lo permite, como los acuíferos de la Formación Paraná, se identifican unidades acuíferas incluidas en las mismas.

Area Federación/Concordia: Esta zona se caracteriza por curvas Resistividad Vs. AB/2 del tipo HKHKH que tienen en común la presencia de un horizonte resistivo ascendiente en profundidad que corresponde a la respuesta de los basaltos de la Formación Serra Geral. Esto puede presentarse en el primer ciclo logarítmico, aunque a veces, suele diferir debido a la presencia de la cubierta sedimentaria suprabasáltica. La alternancia de curvas tipo HK pueden deberse a la intercalación del Mbo Solari (clástico) en las vulcanitas, con aguas de buena calidad. El último tramo K en el tercer ciclo logarítmico corresponde a la respuesta resistiva de las arenas infrabasálticas saturadas, que para la zona, se trata de la Formación Botucatú. Al final de la secuencia el aumento de resistividades de las curvas (tipo H) puede considerarse el basamento resistivo de la zona. Se presentan a continuación la correlación entre horizonte resistivo, litología e hidroestratigrafía sobre la base de las captaciones de Federación-1, Concordia-1 y Gauviraví-1.

Resistividad (ohm.m)	Profundidad (m.b.b.p..)	Litología	Unidades Formacionales	Hidroestratigrafía
6,5 - 135 [1]	0 - 50	Areniscas medias - Gravas medias, Limos y arcillas	F. Hernadarias F. Salto Chico	Sección Suprabasaltica
90 - 320	0 - 850 / 50 - 850/ 0 - 950	Basaltos c/ intercalación de areniscas	F. Serra Geral M. Posadas M. Solari	Sección Interbasaltica
15 - 20	850 - 2000/ >1000	Areniscas finas-medias. Limos arenosos ?	F. Botucatú F. Piramboiá ?	Sección infrabasáltica
150 - 500	>2000	Sedimentitas Pelozoicas ?	?	Basamento Hidrogeológico

[1] No es uniforme en la zona, hacia el sur la Sección Suprabasaltica puede incluir las Formaciones Puerto Yeruá y Fray Bentos con litología y resistividades dentro del rango previsto.

El perfil resistivo característico para la zona está representado en las figuras 12, 13 y 20. La primera representa las curvas resistivas tipo que pueden considerarse paramétricas con referencia a la perforaciones Federación-1 y Concordia-1 (figura 20). Se entiende por curva paramétrica aquella que ha sido corregida con los datos de la perforación inmediata o más cercana, en este caso Federación -1. La segunda presenta un corte resistivo propuesto para la región (Ponti, 1993) válido para esta zona.

Sobre la base de las captaciones en la República del Uruguay y el modelo estratigráfico-estructural propuesto para la región, el área puede extenderse hacia el este involucrando los pozos de Arapey-1 y Dayman-1. También es posible considerar adecuada esta correlación hacia el oeste hasta aproximadamente la longitud de 58°30' (línea Chajarí - Villa Elisa) en Entre Ríos, al Sureste y Sur de Corrientes hasta Guaviraví-1 y al Sur hasta Concordia-1 o Guaviyú-1 considerando al Cretácico Superior -Terciario de la región (Formación Mercedes o Puerto Yeruá y Formación Fray Bentos).

Area Colón/Concepción del Uruguay: Esta zona se caracteriza por curvas Resistividad Vs. AB/2 del tipo KHKH. En el primer ciclo las curvas presentan un horizonte resistivo descendente en profundidad que corresponde a la respuesta del paquete sedimentario post-basáltico. Presentes en el registro de las captaciones a causa de la profundización del techo de la Formación Serra Geral. El segundo ciclo

logarítmico muestra un ascenso del horizonte resistivo (curva tipo H) que alcanza un máximo en el tercer ciclo esta respuesta corresponde a los basaltos de la Formación Serra Geral. La alternancia HK es menos manifiesta que en la zona anterior, pero el último tramo K en el tercer ciclo logarítmico corresponde a la respuesta resistiva de las arenas Interbasálticas saturadas en aguas, que para la zona, se correlaciona con la Mbo Solari. Al final de la secuencia el aumento de resistividades de las curvas (tipo H) puede considerarse el basamento resistivo de la zona, pero que estratigraficamente corresponde al Basamento Cristalino en Colón y Concepción del Uruguay. Se presentan a continuación la correlación entre horizonte resistivo de los SEV de Colón y litología e hidroestratigrafía sobre la base de las captaciones de Colón-1 y Concepción del Uruguay-1.

Resistividad (ohm.m)	Profundidad (m.b.b.p..)	Litología	Unidades Formacionales	Hidroestratigrafía
11 - 75 [1]	0 - 200 / 0 - 280	Areniscas finas Gravas finas, Limos y arcillas	F. Salto Chico F. Fray Bentos F. Puerto Yeruá	Sección Suprabasaltica
10 - 130	200 - 700 / 280 - 700	Roca Basaltica	F. Serra Geral M. Posadas	Sección Interbasaltica
15-18	700 - 800	Areniscas finas-medias	F. Serra Geral M. Solari	Sección infrabasáltica
100 - 150	>800	Roca Basaltica o Tonalitas	F. Serra Geral o Basamento Cristalino	Basamento Hidrogeológico

[1] No es uniforme en la zona, la presencia en el registro de las Formaciones Hernandarias o Salto Chico dependen de la cota topográfica.

Las figuras 15 y 16 presentan respectivamente una curva paramétrica tipo sobre la base de los datos de la perforación Colón-1 y un corte resistivo característico para la zona:

Sobre la base de las captaciones mencionadas y el modelo estratigráfico-estructural propuesto para la región, el área puede extenderse hacia el este hasta aproximadamente los 58° de longitud. También es posible considerar adecuada esta correlación hacia el oeste hasta aproximadamente la longitud de 58°30´ (línea Villa Elisa - 1 de Mayo) en Entre Ríos, Sureste y Sur de Entre Ríos hasta el Arroyo Gualeguaychú.

Area Villa Elisa/Nogoyá: Esta zona se caracteriza por curvas Resistividad Vs. AB/2 muy variables en dirección NE-SO que coincide con la profundización de la cuenca. Los sondeos paramétricos realizados en Villa Elisa es del tipo KHKHK, en Villaguay y Nogoyá HKH. En la localidad de Villa Elisa el SEV de apoyo a la captación posee en el primer ciclo logarítmico un horizonte resistivo descendente en profundidad que corresponde a la respuesta del paquete sedimentario post-basaltico presentes en el registro de las captaciones a causa de la profundización del techo de la Formación Serra Geral. El segundo ciclo logarítmico muestra un ascenso del horizonte resistivo (curva tipo H) que alcanza un máximo en el tercer ciclo esta respuesta corresponde a los basaltos de la Formación Serra Geral. La alternancia KH se manifiesta invertida a comparación de Federación-Concordia, pero el último tramo K en el tercer ciclo logarítmico posee mayor pendiente que los anteriores y corresponde a la respuesta resistiva de las arenas infrabasálticas saturadas pero de una capa más conductora. En la zona se correlacionará con la Formación Botucatú con aguas cuya conductividad alcanza los 15000 µS/cm (Villa Elisa -1). La elevada mineralización de las capas impidió en Nogoyá y Villaguay que los SEV superaran la apertura de AB/2=1000 (Ex Agua y Energía, 1986) de esto se deduce que al menos por debajo de los 500 metros aproximadamente la mineralización de las aguas subterráneas es elevada hasta el punto de enmascarar la respuesta de los basaltos de la Formación Serra Geral que suele ser muy resistiva. Esa capa conductora puede atribuirse a la Formación Paraná presente en el registro geológico de subsuelo.

Considerando el gradual aumento de salinidad total en sentido NE-SO que varia desde 400mg/dm^3 en Concordia-1, 700 mg/dm^3 en Colón-1, 6000 mg/dm^3 en Villa Elisa y 7900 mg/dm^3 en Nogoyá (YPF, 1962) es posible considerar para la Formación Botucatú o la Formación Misiones un elevado contenido de sales en la dirección de profundización.

Se presentan a continuación la correlación entre horizonte resistivo de los SEV de Villa Elisa y litología e hidroestratigrafía sobre la base de las captaciones de Villa Elisa-1 y Nogoyá-1.

Resistividad (ohm.m)	Profundidad (m.b.b.p..)	Litología	Unidades Formacionales	Hidroestratigrafía
5 - 95	0 - 300	Areniscas finas – medias. Gravas finas, Limos y arcillas	F. Hernadarias F. Salto Chico F.Paraná F. Fray Bentos F. Puerto Yeruá	Sección Suprabasaltica
80 - 130	300 - 900	Roca Basaltica	F. Serra Geral M. Posadas M. Solari ?	Sección Interbasaltica
3 - 5	900 – 1500	Areniscas finas-medias	F. Botucatú F. Piramboiá	Sección infrabasáltica
1500	<1500?	Sedimentitas Pleozoicas?	?	Basamento Hidrogeológico ?

Las Sección Suprabasaltica no posee una resistividad uniforme en la zona, la presencia en el registro de las Formación Paraná de origen marino y de aguas fuertemente mineralizadas de baja resistividad dificultan la prospección. En Nogoyá y Villaguay no logra superarse la marca de AB/2=1000 con resistividades de 1 - 3 ohm.m. Esta situación es característica de esta región, los depósitos clásticos de la Sección Suprabasaltica en las áreas Federación/Concordia y Colón/Concepción del Uruguay son de origen continental.

Las figuras 17 y 18 presentan respectivamente una curva paramétrica tipo sobre la base de los datos de la perforación Villa Elisa-1 y un corte resistivo característico para la zona de Estación Estacas. La figura 19 presenta la curva paramétrica para el área de Nogoyá

Sobre la base de las captaciones mencionadas y el modelo estratigráfico-estructural propuesto para la región, el área puede extenderse desde los 58°30´en el Este hasta al menos el Río Paraná hacia el Oeste. También es posible considerar adecuada esta correlación hacia el norte hasta al menos el A° Feliciano en Entre Ríos. Los SEV realizados en Viale y La Paz aunque no posee perforaciones cercanas podrían incluirse en este área por al razones ya aludidas previamente en 5.2.2.

Una última área podría definirse en el borde sur de la Cuenca hidrogeológica definida en este estudio considerando las variaciones litológicas en las perforaciones de Gualeguaychú-1, Gualeguay-4, Paso Ullietre -1 (Urg.) y probablemente con Nogoyá ERN-1X considerando la Formación Piramboiá. Pero, o no se ha publicado aún los resultados de los sondeos eléctricos verticales o bien no se han realizado sondeos paramétricos que permitan su correlación.

5.2.4.Posibles áreas de recarga y relación con la climatología

Los niveles geológicos continentes del Sistema Acuífero Termal no tienen afloramientos en el área de estudio del Sector Argentino (los afloramientos de posible correlación en la Provincia de Córdoba y Santiago del Estero no forman parte del Sistema Acuífero en este trabajo), se encuentran en el subsuelo a profundidades que superan, al menos, los 700m.b.b.p.. Las unidades geológicas afloran hacia el este en la República Oriental del Uruguay como puede verse en el mapa geológico (ver 7.1.1 y 7.1.2). El área de afloramiento de los niveles atribuibles a la Formación Serra Geral, Botucatú y Piramboiá (Arapey y Tacuarembó en el mapa original) en conjunto constituyen una superficie de afloramiento 52350 Km^2, calculadas a partir del Mapa Geológico (OEA, 1973), Carta Geológica de la

República .Oriental del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) y Mapa Hidrogeológico (DINAMG, 1986) del Uruguay. La Formación Serra Geral posee un área de afloramiento de aproximadamente 48.500 Km^2 y la Formación Botucatú y Piramboiá aflora en una área de 3.850Km^2. En superficie tienen el aspecto de una secuencia homoclinal de poca inclinación, ente 3 – 12 ° según diversos autores, (Gentile y Rimoldi, 1979; Bossi, 1966; HIDROSUD, 1988) o controlada por un sistema de fallas distensivas que profundizan estos niveles hacia el oeste (ver 4.5 y 4.6).

El mapa geológico (7.1.1 y 7.1.2) permite observar la distribución de los afloramientos en Uruguay y las consideraciones ya expresadas en 4.5 y 4.6 (ver cortes y Diagrama 3D) permiten definir la cuenca en profundidad, considerando estos dos factores la Formación Serra Geral aflora aproximadamente desde el Río Uruguay y se extiende hacia el este hasta aproximadamente el paralelo 56° hacia el sur hasta el Río Negro, al Norte se extiende sobre Brasil (Río Grande do Sul). La Formación Botucatú/Piramboiá en la región se dispone como una franja norte sur de 10 a 100 km de ancho ente los paralelos 56° y 55° aproximadamente. Las cotas topográficas (ver 7.1.1 y 7.1.2) aumentan gradualmente hacia el este de tal forma que los afloramientos de la Formación Serra Geral suelen encontrarse entre los 50–100 m.s.n.m, mientras que los afloramientos de la Formación Botucatú suelen hallarse por encima de los 100m.s.n.m pudiendo llegar a los 200 m.s.n.m.(Rivera).Hacia el Río Negro y hacia el Río grande do Sul (Brasil) las cotas descienden progresivamente y no llegan a superar los 100 m.s.n.m.

Esto ha conducido a la interpretación de que las área de afloramiento de las Formaciones geológicas continentes del Sistema Acuífero Termal, en particular la Formación Botucatú, son las áreas de recarga de los niveles acuíferos, (Pompeu Dos Santos, 1983; Roma, 1983; TAHAL; 1986, HIDROSUD, 1988; Montaño y Carrion, 1990; Cattaneo, 1992; Fili et. al., 1998), en estos trabajos no se hace referencia clara a la posible participación de la Formación Serra Geral en la recarga del Sistema Acuífero Termal.

La Formación Serra Geral se sobrepone a la secuencia de areniscas de la Formación Botucatú y hacia el oeste, la primera actúa como nivel confinante de la segunda. De hecho el acuífero en profundidad tiene características hidráulicas de un acuífero confinado en Uruguay (Cattaneo, 1992) y también en Argentina (ver 5.3.3) y de acuífero libre en afloramiento (Montaño y Carrion, 1990). Aún así, existen dos factores que deben considerarse al definir con más detalle las áreas de recarga que pueden incluir aparte de la región de afloramiento de la Formación Serra Geral, estos factores son:

- Los niveles clásticos intercalados en las vulcanitas poseen características de niveles acuíferos (Acuífero Solari) con índices y parámetros hidráulicos similares al Acuífero Botucatú infrayacente (ver 5.3.3.). esto hace suponer una recarga continua de estas unidades o al menos similar a los acuíferos infrayacentes.
- La intensa fracturación de la Formación Serra Geral con al menos tres juegos de fracturas o diaclasas de distinto rumbo claramente definidos (ver 4.5 y 4.6), las estructuras distensivas previas, las discontinuidades entre coladas (por sobreimposición o disyunción columnar) y las discontinuidades entre las vulcanitas y los niveles clásticos, pueden, al menos en afloramiento y a profundidades someras, formar una red de flujo subterráneo o acuífero fracturado (Acuífero Arapey) Probablemente en el área de recarga, con cierto grado de conexión hidráulica con los niveles acuíferos subyacentes.

Esto último permite suponer que al menos parte del área de afloramiento de la Formación Serra Geral puede participar de la recarga del Sistema Acuífero Termal. El grado de información existente no permite una adecuada evaluación de lo expuesto y debe considerarse como una inferencia.

Otros aspecto a considerar es la infiltración eficaz o efectiva, es decir, la cantidad de agua que llega a alimentar el acuífero que suele expresar la misma en unidades de volumen por año (km^3/año). Otro índice empleado frecuentemente es el factor de infiltración, un valor absoluto que representa el porcentaje de las precipitaciones de la región. Roma (1983) propone para todo el territorio Uruguayo

valores de infiltración eficaz que oscilan entre el 1 al 3 % considerando la diferencia entre precipitaciones medidas anuales (1914-60), el agua de escorrentía y la extraída en las perforaciones. En el área de afloramiento de las formaciones geológicas continentes del Sistema Acuífero Termal se han determinado valores porcentuales de infiltración eficaz entre el 1 –2% (Pompeu dos Santos, 1983) considerado a partir de los caudales de descarga, las precipitaciones medias (1914-60) y el área de afloramiento de las Formaciones Serra Geral y Botucatú juntas. El informe de HIDROSUD, (1988) emplea valores entre el 1 – 5%, definidos previamente por el informe del TAHAL, (1986) sobre la base de la tipificación bibliográfica considerando la litología de ambas unidades.

Para calcular la infiltración (volumen de recarga en Km^3) debe conocerse las precipitaciones medias anuales y el área de afloramientos considerada. Dado que las áreas de recarga se encuentran en la República Oriental del Uruguay se ha partido de los valores de precipitaciones medias mensuales del periodo 1960-1990 (Vose, et.al., 1999) correspondiente a las estaciones meteorológicas ubicadas en las localidades de Artigas, Rivera, Tacuarembó, Young, Paysandú, Paso de los Toros, Mercedes, Bella Unión, San Jorge, Santa Isabel y Salto en el Uruguay.

Estas estaciones se encuentran en el área de afloramiento de las Formaciones Serra Geral y Botucatú o muy cerca de los mismos. No todas las estaciones poseen series de precipitaciones completas del periodo 1960-90, en las estaciones de Rivera, San Jorge y Santa Isabel no se utilizaran por falta de datos y porque su baja correlación con las cercanas impide estimarlos adecuadamente, por lo tanto quedan excluidas. La siguiente tabla muestra los valores de precipitación medios mensuales del periodo 1960-90 con el que se realizaron los hidrogramas de los gráficos 27, 28, 29, 30, 31 y 32.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Salto	122	104	140	129	90	97	75	64	105	126	115	146
San Jorge[1]	93	61	116	122	80	81	96	105	86	86	84	87
Paysandú	116	109	152	110	76	89	55	79	92	110	90	103
Rivera[1]	131	115	151	135	109	141	116	113	161	199	101	130
Mercedes	89	102	122	93	105	65	71	67	64	86	81	104
Santa Isabel[1]	138	71	112	88	100	86	39	30	116	100	90	56
Tacuarembó	110	104	136	110	93	95	67	98	109	95	82	88
Bella Unión	136	137	158	135	81	69	79	72	78	143	125	131
Artigas	143	128	143	115	101	86	103	90	110	139	125	129
Paso de los Toros	114	116	132	92	108	120	133	103	84	120	98	98
Young	118	117	156	95	83	82	88	87	88	118	105	99

[1] *Series no utilizadas en el calculo de la infiltración*

Precipitaciones medias mensuales del periodo 1960-1990 en mm

Debido a los extenso de la información, se presentará la precipitación promedio de las series y la precipitación característica en las siguientes tablas :

Estación	P/p media en 1914-60 (mm/año)	P/p media en 1960-90 (mm/año)	P/p característica 1914-90 (mm/año)
Salto	1175	1313	1244
San Jorge[1]	---	1097	1097
Paysandú	1181	1185	1183
Rivera[1]	1274	1672	1438
Mercedes	---	1049	1049
Santa Isabel[1]	---	1026	1026
Tacuarembó	1188	1187	1187
Bella Unión	---	1342	1342
Artigas	1241	1421	1331
P. de los Toros	---	1266	1266
Young	---	1235	1235

Tabla.28. Estaciones en el área de afloramiento e inmediaciones de las Formaciones Serra Geral y Botucatú en la República Oriental del Uruguay.(fuente Vose et.al., 1999 y Pompeu Dos Santos, 1983)

El año hidrológico comienza en el mes de octubre (aproximadamente) y el periodo de lluvias más importante se extiende hasta el mes de Marzo. Las precipitaciones medias anuales de la series de tiempo 1960-90 ha permitido calcular la precipitación características (Goldschmidt, 1958) de cada localidad en el área de estudio en las estaciones Salto, Paysandú, Artigas, Tacuarembó y Rivera se ha podido mejorar promediando las precipitaciones medias de la serie de tiempo 1914-60 (Pompeu Dos Santos, 1983)

Según Goldschmidt, (1959) existe relación entre la infiltración y la precipitación media anual a partir del cual se puede calcular el factor de infiltración, según la expresión

(1) $I = \alpha\ (Ppa - Ppc)$

Donde:
I: Infiltración en mm/año
α:: coeficiente adimensional de la región entre 0,78-0,87
Ppa: Precipitación media anual en mm
Ppc: Precipitación característica de la región (Promedio de todas las series en mm)

Además el factor de infiltración empleando al serie de tiempo 1960-90 que pose datos mediados anuales quedará definido por:

(2) I% = Ppa/Ia 100

Donde:
I%: factor de infiltración
Ppa: Precipitación media anual (mm)
Ia: infiltración media anual (mm)

La determinación del coeficiente α no supone variaciones importantes en el resultado y consideraremos el valor de 0,8 como válido. La precipitación característica es el promedio de las precipitaciones de toda la serie de tiempo, suele proponerse para una cuenca, aquí se empleará un valor para cada serie de precipitaciones correspondiente a cada estación obteniendo así varios valores de infiltración y factor de infiltración característicos. Es importante mencionar que Goldschmildt (1959) ha aplicado este método con buenos resultados en regiones semiáridas; sugiriendo que es probable que con valores muy elevados de evapotranspiración en áreas tropicales conduzca a errores. los valores calculados de infiltración media para la serie 1960-1990 y el factor de infiltración se resumen en la siguiente tabla:

Estación	Infiltración media en 1960-90 (mm/año)	Factor de Infiltración (%Pp)
Salto	11.5	0.92
Paysandú	11.5	0.97
Mercedes	24.2	2.3
Tacuarembó	64.5	5.43
Bella Unión	5.2	0.40
Artigas	48.5	3.64
P. de los Toros	7.52	0.60
Young	9.3	0.88

Tabla.N° 29. Infiltración media en mm y factor de infiltración (%Pp) en las estaciones en el área de afloramiento e inmediaciones de las Formaciones Serra Geral y Botucatú en la República Oriental del Uruguay.

Estos valores de infiltración se encuentran entre el 0,5% – 5 % de las precipitaciones medias anuales, del área de afloramiento de las Formaciones Serra Geral y Botucatú coincidiendo dentro del orden de magnitud de los previstos para la región (Roma, 1983; Pompeu Dos Santos, 1983; TAHAL,

1986; HIDROSUD, 1988). Una primera apreciación permite observar que los valores más elevados determinados en las estaciones Artigas y Tacuarembó, se encuentran en el área de afloramiento de la Formación Botucatú. Las restantes estaciones se encuentran en el área de afloramiento de la Formación Serra Geral o muy próximas. En el capítulo 6 se evaluarán las reservas del Sistema Acuífero Termal empleando estos parámetros, para estimar las reservas totales y volumen de recarga anual.

5.2.5. Inventario de las Captaciones de Agua Termal de la región

La sistematización e interpretación de la información recopilada en las perforaciones, ha ido aumentando progresivamente con el alumbramiento de las nuevas perforaciones realizadas en el subsuelo argentino a lo largo de gran parte de la última década, permitiendo un muestreo sistemático de la región. La preparación de este inventario de captaciones reune parte de la información recopilada, de las captaciones en Uruguay y Brasil relacionadas con el Sistema Acuífero Termal permitiendo un conocimiento más abarcativo de las características regionales del acuífero. Se han realizado campañas de medición en boca de pozo que pueden considerase de una frecuencia semestral, semanal y diaria, incluyendo la toma de muestra para análisis químicos

La metodología de toma de muestra, para lectura en boca de pozo esta condicionada , entre otros factores; por las características de la captación o punto de sondeo. En este sentido se ha considerado la metodología propuesta por Fresina y Guarino, (1997); Cardona, (1992); Nicolli y Gamba (1979), empleada en la toma de análisis químicos y parámetros de boca de pozo (ver 5.4). En los casos en los que fue posible se empleó celda de aislación, en otros la lectura se realizó tomando la muestra directamente de la boca de salida de la tubería de impulsión en la obra de superficie. De todas formas la conductividad, pH y temperatura tienen una representatividad mayor que la realizada en laboratorio, es válida para este estudio. Los valores de presión, han tenido la precisión del instrumental manométrico, o sea de 0,1 Kg/cm2 (equivalente a aproximadamente 1 m de depresión en columna de agua) considerándose satisfactoria. La información obtenida en boca de pozo, relacionada con la hidrogeología de las unidades, se resume en los siguientes aspectos:

Muestreo Diario: Se realizó, la lectura de valores de presión en boca de pozo con este en descarga, es decir, surgiendo. Se tomaron periodos luego de 2 o 3 meses de surgencia, en estas condiciones en las Captaciones Federación –1 y Colón-1. El primero de ellos, representaría las condiciones hidráulicas del Sistema Acuífero Termal a consecuencia del aporte del Acuífero Botucatú y el segundo a las condiciones del Acuífero Solari. Los periodos comprenden 29 días del mes de Mayo de 1996 en la perforación Federación-1 y 33 días, entre los meses de Febrero y Marzo de 1997 en la perforación Colón –1. Se utilizó un manómetro convencional, ubicado en el codo superior de la tubería de impulsión, con una precisión de 0,1 Kg/cm2. El caudal de descarga durante el ensayó fue medido en dos oportunidades para la perforación Federación –1 con valores máximos de 297 y 292 m3/h respectivamente y dos veces en la perforación Colón –1 con un valor de 160 m3/h. Los mismos se consideraran constantes a los fines del posterior análisis. A continuación, se presentan los resultados:

Días	Federación (May-1996) Presión Surgente en Kg/cm2	Colón(Feb/Mar-1997) Presión Surgente en Kg/cm2
1	2.5	1.1
2	2.6	1
3	2.7	0.9
4	2.8	0.8
5	2.7	1.1
6	2.8	1
7	2.5	1
8	2.6	1.1
9	2.7	0.9
10	2.3	0.8

11	2.5	0.9
12	2.7	0.9
13	2.8	0.9
14	2.6	0.9
15	2.9	0.8
16	2.5	0.9
17	2.7	0.8
18	2.5	0.9
19	2.6	1.1
20	2.4	1
21	2.7	0.9
22	2.9	0.8
23	2.5	0.9
24	2.6	0.8
25	2.8	1.1
26	2.7	0.9
27	2.5	0.8
28	2.6	1
29	2.4	0.9
30	---	0.8
31	---	0.8
32	---	0.9
33	---	0.9

Tabla.N°30. Datos de presiones medidas en boca de pozo a caudal surgente constante, frecuencia diaria

Muestreo Semanal: Se realizó la lectura de valores de presión en boca de pozo con este en descarga. Para la lectura se eligió la perforación Colón –1 debido a que era la única (por razones de obra) que podía mantenerse a caudal surgente constante, durante un periodo de tiempo de 10 meses a posterioridad de la obra. A lo largo del seguimiento la perforación mostró muy pocas variaciones de caudal, que oscilaron entre 145-160 m3/h aforada, en cinco oportunidades en los meses de Diciembre (1996), Febrero (1997), Abril (1997), Junio(1997) y Julio (1997). El seguimiento comenzó en el mes de Diciembre de 1996 y finalizó en Septiembre de 1997.

El método de aforo empleado en la medición de caudal, fue el de rebalse de un vertedero de 200 dm^3 . Si bien estos métodos suelen tener un error de medición, en este caso se acotó el mismo repitiendo al operación de aforo en sucesivas oportunidades. La información obtenida se presenta a continuación:

Semanas	Colón-1 Presión Surgente Kg/cm2	Semanas	Colón-1 Presión Surgente Kg/cm2
Dec-96	1.1	May-97	0.9
Dec-96	1.1	May-97	0.9
Dec-96	1.1	May-97	0.9
Dec-96	1	May-97	0.9
Jan-97	1.1	Jun-97	0.9
Jan-97	1	Jun-97	0.8
Jan-97	0.9	Jun-97	0.9
Jan-97	0.9	Jun-97	0.9
Feb-97	1.1	Jul-97	1
Feb-97	0.9	Jul-97	0.9
Feb-97	0.9	Jul-97	0.9
Feb-97	0.9	Jul-97	0.9
Mar-97	1	Aug-97	0.9
Mar-97	0.9	Aug-97	0.9
Mar-97	0.9	Aug-97	0.9
Mar-97	1	Aug-97	0.9

Apr-97	1.1	Sep-97	0.9
Apr-97	0.9	Sep-97	0.9
Apr-97	0.9	Sep-97	0.9
Apr-97	0.9	Sep-97	0.9

Tabla.N°31. Datos de presiones medidas en boca de pozo a caudal surgente constante, frecuencia semanal

Muestreo Semestral: El muestreo semestral se realizó en todas las captaciones del Sector Argentino y comprendió mediciones de presión libre (surgente) y confinada (pozo cerrado), conductividad, pH, sales totales disueltas, temperatura y caudales de surgencia. El muestreo hidroquímicos posee la misma frecuencia de control y seguimiento, pero sus resultados serán presentados y tratados con más detalles en el apartado 5.4. La presión ha sido medida en el manómetro de la tubería de conducción, el caudal medido por los métodos de aforo en vertedero y aforo en tubería, (Iglesias y Villanueva, 1984). La conductividad, pH, Temperatura y TDS con el empleo de instrumental digital diseñado por la Wissenchaftlich Technische Werkstatten (WTW) Modelo 320 de acuerdo a los manuales correspondientes Debe considerarse en el siguiente muestreo:

- Las captaciones no se han realizado simultáneamente sino a lo largo de este estudio, por lo tanto la serie comienza cuando las mismas fueron terminadas con el alumbramiento del recurso.
- No todas son surgentes, como el caso de Concepción del Uruguay –1, cuyos niveles han sido medios entre 32 –34 m.b.b.p. Razón por la cual no hay datos de presiones en boca de pozo.
- Las captaciones han sido muestreadas o ensayadas luego de largos periodos de surgencia de las mismas, cuya continuidad ha variado entre un mínimo de 3 meses y un máximo de 6 meses en las Argentinas y superando al año en las captaciones uruguayas, que inclusive han tenido una surgencia ininterrumpida al menos en los últimos 5 años.
- Sobre la base del diseño de las captaciones es discutible si los niveles de aporte de las Captaciones Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú –1 pueden considerarse incluidas dentro del concepto de Sistema Acuífero Termal, dado que en Concepción de l Uruguay apenas alcanza esa condición. Con garantía de que la temperatura de boca de pozo tenga relación con los niveles de aporte y en Gualeguaychú; la temperatura de boca de pozo no alcanza esa condición aunque el perfil termométrico de pozo indicaría una temperatura adecuada a la profundidad del horizonte productor (ver 5.2.7)

Muestreo Anual: Las captaciones del litoral Uruguayo han sido también seguidas y controladas, aunque en la bibliografía se describen diversos datos comprendidos en diferentes estudios, relacionados con el acuífero (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998; Montaño y Carrion, 1990; Cattaneo, 1992; HIDROSUD, 1988; Bossi y Navarro, 1982; TAHAL, 1986; DINAMIGE, 1986; entre otros). Todos han comprendido periodos diferentes, autores diferentes e incluso métodos de determinación diferentes. El muestreo anual realizado aquí tiene poca frecuencia. Solo se considera importante para verificar la conexión hidrogeológica, del conjunto de acuíferos del Sistema Acuífero Termal en la región.

Las mediciones, han sido tomadas de igual forma y equipo que las descriptas en el muestreo semestral de las captaciones Argentinas solo que, con menor frecuencia y no fue posible determinar la presión de carga (no se permitió maniobrar con las captaciones). Los resultados se expresan a continuación del muestreo semestral en boca de pozo. Los datos del pozo Almirón se han incluido sobre la base de los antecedentes bibliográficos, pero al mismo se los considera poco relacionado (hidrogeologicamente) del Sistema Acuífero Termal en estudio.

A continuación la siguiente tabla presenta la información medida en boca de pozo de los parámetros de conductividad, pH, TDS (sales totales disueltas), Temperatura, presión de descarga, presión confinada y caudal surgente en las captaciones de la región.

Perforación	Fecha	Conductividad µS/cm	pH	TDS mg/dm^3	Temperatura °C	Presión descarga Kg/cm^2	Presión confinada Kg/cm^2	Caudal Surgente m^3/h
Federación	Jun-95	680	7.68	435.2	43.2	2.8	5.2	297
Federación	Dec-95	675	7.77	432	43.1	2.7	5.2	299
Federación	Jun-96	730	7.73	467.2	43	2.8	5.3	300
Federación	Dec-96	750	7.79	480	42.9	2.6	5.2	300
Federación	Jun-97	810	7.81	518.4	43.1	2.7	5.3	300
Federación	Dec-97	830	7.78	531.2	43.1	2.8	5.2	300
Federación	Jun-98	810	7.89	518.4	43.2	2.7	5.3	300
Federación	Dec-98	905	7.88	579.2	42.9	2.6	5.2	300
Federación	Jun-99	983	7.88	629.12	42.7	2.7	5.2	310
Concordia	Jun-96	540	7.9	345.6	47.1	4.7	6.5	250
Concordia	Dec-96	530	8.2	339.2	46.8	4.5	6.4	250
Concordia	Jun-97	560	8.1	358.4	46.3	4.7	6.5	270
Concordia	Dec-97	520	8.3	332.8	45.9	4.7	6.4	270
Concordia	Jun-98	510	8.5	326.4	45.4	4.5	6.4	270
Concordia	Dec-98	508	8.5	325.12	45.1	4.6	6.5	300
Concordia	Jun-99	499	8.8	319.36	44.8	4.7	6.4	300
Colon	Dec-96	1180	8.7	755.2	33.4	1.1	2.1	135
Colon	Jun-97	1276	8.68	816.64	33.4	1	2	165
Colon	Dec-97	1180	8.72	755.2	34.1	0.9	2	165
Colon	Jun-98	1307	8.7	836.48	34.1	0.9	1.8	145
Colon	Dec-98	1265	8.7	809.6	33.8	0.9	1.9	145
Colon	Jun-99	1153	8.7	737.92	33.7	0.6	1.4	110
Villa Elisa	Dec-96	20066	7.9	12842.24	38.2	0.6	1.3	25
Villa Elisa	Jun-97	20520	7.93	13132.8	38.2	0.5	1.2	35
Villa Elisa	Dec-97	20650	7.85	13216	38	0.6	1.3	55
Villa Elisa	Jun-98	21010	7.95	13446.4	38.2	0.5	1.2	60
Villa Elisa	Dec-98	21500	8.02	13760	38.1	0.5	1.2	60
Villa Elisa	Jun-99	21350	7.9	13664	38.4	0.5	1.1	60
Concepción	Jun-98	9600	8.05	6144	29.2	45.5m.b.b.p..*	15.7 m.b.b.p..*	110*
Concepción	Dec-98	11650	8.12	7456	29.1	--	17.8 m.b.b.p..*	–
Concepción	Jun-99	12350	8.2	7904	28.5	--	22.6 m.b.b.p..*	–
Gualeguaychú	Jun-99	17190	8.11	11001.6	24.3	0.1	0.25	8

** Niveles estáticos y dinámicos con un bombeo de 110 m3/h*

Tabla.32. Datos de boca de pozo en las Captaciones Argentinas, frecuencia semestral

Perforación	Fecha	Conductividad µS/cm	pH	TDS mg/dm^3	Temperatura °C	Presión surgente Kg/cm^2	Caudal Surgente m^3/h
Arapey	1996	680	7.8		41	2.1	270
Arapey	1997	530	7.7		41.5	2.1	270
Arapey	1998	510	7.9		42.1	2.1	270
Arapey	1999	449	7.8		44.1	2.0	270
Daymán	1996	720	7.89		46	1.4	220
Daymán	1997	675	7.80		46	1.4	220
Daymán	1998	650	7.85		46.1	1.5	220
Daymán	1999	675	7.94		45.1	1.5	220
Guaviyú	1996	900	8.5		38.6	0.15	120
Guaviyú	1997	1030	8.62		38.7	0.2	120
Guaviyú	1998	970	8.51		38.6	0.15	120
Guaviyú	1999	1035	8.63		37.2	0.15	130
Nicanor*	1998	710	7.75		45	2.5	70
Nicanor*	1999	750	7.80		44.5	2.5	70
Almirón**		8900			24		7

No atraviesa la unidad productora en su totalidad, ** *Datos Bibliográficos*

Tabla.N°33. Datos de Boca de pozo de las captaciones del Litoral Uruguayo, frecuencia anual

5.2.6 Características de las captaciones y representatividad de los muestreos y ensayos

Las característica del punto de muestreo, tipo de perforación, diseño de filtros y empaque, cementación y otros factores, como el uso pretendido para el recurso, son condicionantes de la representatividad de la información obtenida en las captaciones (Cardona, 1992; Custodio Llamas, 1983). Esta información, es en lo sucesivo empleada para definir características hidroquímicas o parámetros hidráulicos que se consideran propias de los "Acuíferos".

Las perforaciones estudiadas aquí permiten una primera aproximación al comportamiento de uno de los Sistemas Acuíferos de mayor extensión, complejidad y profundidad de América del Sur. Por lo tanto, se presentará en este apartado, las características principales de las captaciones y sus obras adoptando un grado de representatividad relativo. Una consideración común a todas estas, es que el Sistema Acuífero Termal incluye en este estudio al menos dos niveles acuíferos identificables en las captaciones que podrían, a la luz de posteriores estudios; no tratarse de los únicos. Las captaciones del sector Argentino, fueron mayoritariamente realizadas (excepto Nogoyá ERN1x y Guaviraví-1) con una sola condición de demanda consistente en captar el "agua termal", es decir, con temperatura y en condiciones de surgencia con caudales importantes. En Uruguay algunas de ellas fueron realizadas como pozos de estudio de la actividad petrolera en la región (excepto en Salto y Almirón).

Para garantizar cierto grado de representatividad de la información hidráulica e hidroquímica obtenida, a partir de las captaciones de muestreo, estudio o producción se consideraran los siguientes condiciones:

- Cumplir con las condiciones de aislamiento y estanqueidad de toda la Sección Suprabasaltica, atravesada por la perforación (encamisado y cementado) que eviten el aporte de los acuíferos de dicha sección
- Atravesar completamente los niveles interbasálticos e infrabasálticos, hasta llegar al basamento hidrogeológico o unidades claramente acuífugas.
- Aislar aquellos niveles que no constituyan acuíferos, con empleo de cañería y filtros
- Cumplir con la condición de termalismo de Schöeller (1962) superando 4°C la media termométrica anual máxima del lugar

Las captaciones de la región que han sido muestreadas poseen las siguientes características:

Federacion-1: La Sección Suprabasaltica está poco representada o ausente en el registro geológico, posee libre la sección Interbasaltica con instalación de filtros de un diámetro de 152mm suspendidos en la Sección Infrabasáltica sin empaque de grava, si bien no llega, en rigor, al Basamento Hidrogeológico atraviesa los acuitardos del Formación Piramboiá. Se concluye que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación, son representativas del Sistema Acuífero Termal en su conjunto.

Concordia -1: La Sección Suprabasaltica está poco representada o ausente en el registro geológico, posee entubada en un diámetro de 305mm la sección Interbasaltica de comprobada estanqueidad. No posee filtros en la Sección Infrabasáltica. La misma se explota libremente, si bien no llega, en rigor, al Basamento Hidrogeológico atraviesa los acuitardos del Formación Piramboiá. Se concluye, que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación son representativas del Acuífero Botucatú, principal unidad incluida en el Sistema Acuífero Termal en su conjunto.

Colón-1 : La Sección Suprabasáltica se encuentra aislada, por encamisado de un diámetro de 305mm y probada estanqueidad. La Sección Interbasaltica se encuentra libre, sin filtro llega al Basamento Hidrogeológico al os 886 m.b.b.p.. y hacia la base de la Formación Serra Geral. No hay evidencia de niveles arenosos y las posibles fracturas se encuentran mineralizadas, sin posibilidad de aporte

comprobándose como un acuífugo. Se concluye que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación son representativas del Acuífero Solari, unidad incluida en el Sistema Acuífero Termal en su conjunto.

Villa Elisa-1: La Sección Suprabasáltica (además de los primeros 100 metros de la interbasáltica), se encuentra aislada por encamisadc con un diámetro de 229mm y probada estanqueidad. La Sección Interbasaltica e Infrabasaltica, se encuentran libres y sin filtro. Si bien no llega, en rigor, al Basamento Hidrogeológico y atraviesa el Acuífero Botucatú (aunque no completamente), se concluye que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación, son representativas del Sistema Acuífero Termal en su conjunto.

Concepción del Uruguay-1 La Sección Suprabasáltica se encuentra aislada por encamisado de un diámetro de 152mm, no se ha informado ensayo de estanqueidad. La Sección Interbasaltica se encuentra libre, sin filtro. Esta perforación llega al Basamento Hidrogeológico, constituido por el Basamento Cristalino de la región. Se concluye que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación son representativas del Acuífero Solari. Existe la posibilidad de niveles de aporte del Acuífero Arapey (sección superficial fracturada), deben considerarse como medianamente representativas con posibilidades de mezcla con los acuíferos del Sistema Acuífero Termal. Su escasa temperatura compromete la condición de termalismo de Schöeller (1962).

Gualeguaychú-1: Su diseño es complejo, la Sección Suprabasaltica está entubada con un diámetro de 254mm hasta los 100 m.b.b.p.. y 152m.b.b.p hasta los 620 m.b.b.p., pero no aislada, el empaque de grava puede poner en contacto los niveles acuíferos suprabasálticos. En particular el Acuífero Ituizangó de menor temperatura y buenas propiedades petrofísicas e hidráulicas que le permiten una elevada transmisividad y conductividad hidráulica vertical. La sección Interbasaltica se encuentra igualmente entubada con ranuras de 1,5mm (a manera de filtro) con un diámetro de 152mm hasta los 959 m.b.b.p. y engravada en contacto con todas los niveles de aporte o no. En la interbasáltica posee filtros en los niveles clásticos de 5 a 15 metros de espesor intercalados (Miembro Solari). Posee filtros (caño ranurado) en toda la Sección Infrabasáltica en niveles fundamentalmente limosos con intercalaciones arenosas y corresponde a los acuitardos de la Formación Piramboiá. Llega al Basamento Hidrogeológico constituido por el Basamento Cristalino. Se concluye que las muestras provenientes de las aguas de alumbramiento en la perforación tienen posibilidades de mezclarse y son representativas del Sistema Acuífero Termal, con las reservas sugeridas.

Nogoyá ENR-1X: Por tratarse de un pozo de estudio de la actividad petrolera nos remitiremos al informe de técnico de pozo (YPF, 1962) realizado por la Empresa. Se describe un ensayo con tapón a los 745 m.b.b.p., con un caudal por bombeo exiguo de 80 m^3/día (3,3 m^3/h) y 7,9 g/dm3 de Sales Totales. Por la profundidad del tapón y las características del ensayo, se deduce que no hay condiciones hidráulicas de surgencia en los niveles ínter e infrabasálticos, con propiedades hidráulicas desfavorables y elevada salinidad. Representa las variaciones geológicas laterales del área de estudio y pocas posibilidades de relacionase con la hidrogeológica del Sistema Termal sobre el este de la Provincia.

Guaviraví-1: Por tratarse de un pozo de la Ex-INGM nos remitiremos al informe de pozo (INGM, 1958, 1965, 1970). Se ha encamisado la Sección Suprabasaltica e Interbasaltica y se describe un ensayo de la Sección Infrabasaltica, del que se informa un nivel estático de 15 m.b.b.p. por lo que no hay condiciones hidráulicas de surgencia. No se detallan propiedades hidráulicas precisas y se hace referencia a un bombeo de 1,6 m^3/h y determinaron 304 mg/dm^3 de Residuo Seco o sea de baja salinidad. Se midió una temperatura de 20°C. Correlacionable geológicamente a los niveles acuíferos

del Sistema Acuífero Termal no tiene posibilidades de contener agua termal por su baja temperatura consecuente de su escasa profundidad.

Perforaciones del Litoral Uruguayo: Por tratarse de un pozo de estudio de la actividad petrolera suelen haber tenido diferentes operaciones de entubado y desentubado. De todas formas en Arapey, Salto y Daymán la Sección Suprabasaltica, no está presente en le registro y se encuentra encamisada en Guaviyú. Actualmente la ubicación de las camisas son las siguientes:
Arapey : Camisa de un diámetro de 285mm hasta los 112 m.b.b.p..
Daymán: No se detalla encaminado, perforación en 13 3/8
Guaviyú: No se detalla encamisado, perforación en 13 3/8
Almirón: No se detalla encamisado, perforación en 13 3/8

Todas las captaciones llegan al Paleozoico o al Basamento Cristalino, o sea, que atraviesan todas las unidades acuíferas hasta el Basamento Hidrogeológico. La única excepción es la perforación Nicanor, que solo penetra 5 metros en el techo de la Formación Botucatú y tiene la sección Interbasaltica encamisada y cementada, esto la convierte en un importante punto de muestreo hidroquímicos, con elevada representatividad del Acuífero Botucatú.

Si bien, es discutible el aporte de cada Unidad Acuífera, dado que la Sección ha tenido diferentes interpretaciones geológicas (ver apartados 4.4, 4.5 y 5.1) puede considerarse medianamente representativos del Sistema Termal tal como lo hemos definido en este estudio

5.2.7.- Salinidad Total, Conductividad y pH

La conductividad y la salinidad total (TDS) de las aguas, son parámetros estrechamente relacionados; ya que el agua es conductora, en proporción de su concentración salina. El seguimiento de la calidad química del agua, de las captaciones se realizó midiendo en boca de pozo ambos parámetros independientemente, con el solo objeto de corroborar las mediciones de conductividad efectuadas. A los fines comparativos, se efectuó un seguimiento de las captaciones Uruguayas en conjunto con las Argentinas. Si bien las primeras tienen más de 40 años, el seguimiento se realizó para obtener datos en periodos de tiempo coincidentes. Los gráficos de evolución de la conductividad y TDS a lo largo del periodo 1994-99 (Gráficos 1 y 2) medidos en el agua de las captaciones Argentinas, pueden dividirse dos tipos claramente definidos y diferenciables por su concentración salina. Las captaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1, poseen valores de conductividad inferiores a 1500 µS/cm (950mg/dm3) y las captaciones Villa Elisa-1, Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú-1 superan los 10000 µS/cm (7000mg/dm3). Esta variación determina arealmente cambios muy rápidos en la composición química de sus aguas, como puede verse en los mapas de isoconductividad, isosalinidad e hidrogeológico para el Sistema Acuífero Termal (ver 7.2.4, 7.2.5, 7.2.14). El sistema en su conjunto presenta las siguientes variaciones de conductividad y salinidad total atendiendo a los resultados del seguimiento:

Parámetro	Conductividad µS/cm	Sales Totales mg/dm^3
Promedio	6065.219	3881.74
SD	8279.639	5298.969
Máximo	21500	319.36
Mínimo	499	13760

De los gráficos 1 y 2 se desprende que las variaciones de salinidad de las aguas en las captaciones inferiores a 1500 µS/cm, oscila entre valores mínimos y máximos acotados que difícilmente superan los 100 µS/cm. Sin embargo, las captaciones de elevada salinidad tienden a aumentar progresivamente. Solo la perforación Villa Elisa-1 ha tendido a mantener su salinidad en los muestreos más recientes luego de 4 años de descarga. Es probable que la captaciones de Gauleguaychú-1 se estabilice transcurrido el tiempo suficiente. El caso de Concepción del Uruguaya – 1 que obtiene el agua por bombeo requeriría de un estudio más detallado para verificar la estabilización

de la salinidad de las aguas. A continuación se presentan las conductividad, salinidades promedio y su desviación estándar en cada perforación Argentina a partir de los cuales se confeccionaron los mapas isoparamétricos correspondientes y el mapa hidrogeológico de la unidad.

Perforación	Conductividad Promedio µS/cm	SD	TDS promedio mg/dm^3	SD
Federación-1	797	101.83	510.08	65.17
Concordia-1	523.85	21.13	335.26	13.52
Colón-1	1226.83	63.46	785.17	40.61
Villa Elisa-1	20849	540.67	13343.57	346.03
Concep.Uruguay-1	11200	1429	7168.1	914.66
Gauleguaychú-1	17190	0	11001	0

Las tres primeras captaciones mencionadas posee valores de salinidad, de similar orden de magnitud a las medidas en las aguas de las perforaciones Uruguayas de Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor. Estas últimas presentan una menor oscilación de sus guarismos, debido a que a lo largo del tiempo se han estabilizado. Los gráficos 3 y 4 realizan una comparación entre la salinidad de las captaciones Argentinas y Uruguayas que, como se verá en el apartado 5.4 con el análisis hidroquímicos e isotópico, constituye otro elemento para correlacionar hidrogeológicamente estas unidades en profundidad. Los valores promedio calculados para las captaciones mencionadas se resumen según:

Parámetro	Conductividad µS/cm	Sales Totales mg/dm^3
Promedio	827.31	529.48
SD	285.88	182.96
Máximo	499	319.36
Mínimo	1307	836.48

Captaciones Argentinas Federación-1, Concordia-1 y Colón-1

Parámetro	Conductividad µS/cm	Sales Totales mg/dm^3
Promedio	734.57	470.12
SD	186.55	119.39
Mínimo	449	287.36
Máximo	1035	662.4

Captaciones Uruguayas Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor

El Sistema Acuífero Termal en su conjunto, incluyendo las captaciones en Uruguay, presenta los siguientes valores promedio:

Parámetro	Conductividad µS/cm	Sales Totales mg/dm^3
Promedio	4442.84	2843.42
SD	7306.50	4676.13
Mínimo	449	287.36
Máximo	21500	13760

Valores promedios de todas las captaciones

Las variaciones de salinidad del Sistema Acuífero Termal arealmente en conjunto, tienen diferencias importantes comprobables a través de las captaciones. Sin embargo, la región de explotación con aguas de conductividad inferiores a los 2000 µS/cm es también extensa. Los mapas de isoconductividad e isosalinidad permiten representar y definir arealmente estas variaciones como se explicara en el capítulo 6. Es importante mencionar la correspondencia de las captaciones Guaviraví-1 donde se describen salinidades de 300mg/dm^3 (INGM, 1958, 1965, 1970) y Nogoya-ERN-1x con 7900 g/dm^3 (YPF,1962). Compatibles por su ubicación geográfica y estratigrafía con los ordenes de magnitud de conductividad y salinidad presentados. Guaviraví –1, cercana al área de recarga y a las captaciones de Federación-1 y Arapey-1 puede contener aguas con los tenores salinos descriptos en el informe de pozo. La perforación Gualeguaychú-1 posee un elevado contenido salino siguiendo la tendencia de aumento de salinidad hacia el Sureste de la región. La

perforación Nogoyá ERN-1x, (al igual que la sección Infrabasáltica de Gauleguaychú-1), atraviesa los acuitardos de la Formación Piramboiá de propiedades hidráulicas inferiores y salinidades elevadas. La perforación conocida como Almirón (Uruguay) con salinidades del orden de 8900 m/dm^3 , no atraviesa acuíferos de la Sección Infrabasaltica relacionados con el Sistema Acuífero Termal y las aguas provenientes de la sección Interbasaltica (Acuífero Solari?) no alcanzan la condición de termalismo.

Las perforaciones controladas en este seguimiento presentan luego de 5 años de control en boca de pozo los siguientes valores promedio que pueden considerarse indicativos y han sido empleados en la confección cartográfica:

Perforación	Conductividad Promedio (µS/cm)	SD
Federación-1	797	101.8
Concordia-1	523.85	21.13
Colón-1	1226.83	63.46
Villa Elisa-1	20849.33	540.67
Concepción del Uruguay-1	11200	1429.16
Gauleguaychú-1	17190	0
Arapey	542.25	98.08
Daymán	680	29.15
Guaviyú	983.75	63.16
Nicanor	730	28.20

Valores promedio por perforación en el periodo 1994-1999

Perforación	TDS Promedio (mg/dm^3)	SD
Federación-1	510.08	65.17
Concordia-1	335.26	13.52
Colón-1	785.17	40.68
Villa Elisa-1	13343.57	546.03
Concepción del Uruguay-1	7168	914.66
Gauleguaychú-1	11001	0
Arapey	347.04	62.77
Daymán	435.19	18.65
Guaviyú	629.60	40.42
Nicanor	467.19	18.10

Valores promedio por perforación en el periodo 1994-1999

El pH de las aguas tiene importancia sobre el equilibrio de carbonatos en solución de las aguas, contenidas por el Sistema Acuífero Termal las captaciones Argentinas y Uruguayas en conjunto; muestran valores de pH con poca oscilación y sostenibles en el tiempo

Parámetro	Valores de pH en las Captaciones Argentinas	Valores de pH en las Captaciones Uruguayas	Valores de pH promedio del Sistema Acuífero Termal
Promedio	8.14	8.03	8.11
SD	0.36	0.35	0.35
Mínimo	7.68	7.7	7.68
Máximo	8.8	8.63	8.8

En las captaciones de elevada salinidad las condiciones hidrogeológicas de recarga son diferentes y es posible que los valores de pH determinados en boca de pozo pueden obedecer a variaciones causadas por las características de su recarga. Aún considerando esto último, la relación iónica de concentración cumple con ($CO^{=}_3$) << (HCO^{-}_3) a pH entre 4,5 - 8,3 (Custodio Llamas, 1983). El equilibrio de carbonatos y bicarbonatos se tratará en detalle en el apartado 5.4.4. Aclararemos aquí que, a la temperatura de surgencia del agua subterránea, se desprende de los datos de pozo que, el pH

de las aguas suele mantenerse por debajo de 8,3 situación que si bien es característica del Sistema Acuífero Termal, no se cumple en los pozos de Colón-1 y Guaviyú pudiendo cambiar en profundidad el equilibrio de las especies carbonáticas. Debe considerarse que dentro del Sistema Acuífero Termal los niveles de aporte en Colón-1 corresponden al Acuífero Solari el cual puede tener una importe caudal de aporte en Guaviyú, dado que la Formación Botucatú tiene poco espesor en este último. La siguiente tablas sintetiza los valores de pH determinados durante el seguimiento de las captaciones:

Perforación	pH (Promedio)	SD
Federación-1	7.8	0.07
Concordia-1	8.3	0.02
Colón-1	8.69	0.012
Villa Elisa-1	7.92	0.05
Concepción del Uruguay-1	8.12	0.07
Gauleguaychú-1	8.11	0
Arapey	7.8	0.08
Daymán	7.87	0.06
Guaviyú	8.56	0.07
Nicanor	7.8	0.04

De lo expuesto en este apartado pueden extraerse las siguientes características del Sistema Acuífero Termal:

- Las variaciones y oscilaciones de la salinidad en boca de pozo en las captaciones Argentinas, no son de una magnitud importante y pueden considerarse estabilizadas con la descarga surgente a través del tiempo (puede constituir una excepción Concepción del Uruguay –1). Lo que permite considerar a las aguas de las captaciones como, representativas de las contenidas en los acuíferos del Sistema Termal en profundidad. Este criterio permite validar la toma de muestras en boca de pozo.
- Existen dos regiones bien diferenciadas por su contenido salino una al norte - este y otra al sur - oeste. Los valores de salinidad medidos en las perforaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1 son comparativamente similares a los medidos en las captaciones Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor del Uruguay. Se encuentran hacia el norte y el este del área de estudio y poseen diferencias de menos de 50mg/dm3 entre sí, a pesar de distanciarse más casi 200Km entre Arapey y Colón-1. Existen importantes variaciones de salinidad hacia el sur, sudoeste y oeste evidenciables en las captaciones de Villa Elisa –1, Concepción del Uruguay-1 y Gualeguaychú-1. Estas variaciones de salinidad superan un orden de magnitud a las anteriores, ubicadas en el norte y este. Estas perforaciones que no distan a más de 50 Kilómetros de las anteriores.
- Los valores de pH de las perforaciones en boca de pozo, determinan la naturaleza ligeramente alcalina de las aguas contenidas en los acuíferos del Sistema Acuífero Termal, alcalinidad que en Colón y Guaviyú puede modificar el equilibrio de las especies carbonáticas en profundidad. Esa variación puede considerarse, a priori, como una característica propia del Acuífero Solari ya que en ambos pozos es sino el único, el nivel de aporte más importante.
- Existe cierto grado de correspondencia entre las salinidades determinadas en las perforaciones Guaviraví-1 (INGM, 1958, 1965, 1970) y Nogoyá ERN-1x (YPF, 1962) que permiten relacionarlas con las captaciones controladas.
- Las salinidad total de las unidades en profundidad tiene cierto grado de correspondencia con las respuesta resistiva en profundidad de estos niveles, evidenciada en las prospecciones geoeléctricas de la región en la forma en que ha sido expuesto en el apartado 5.2.2

5.2.8.- Temperatura de las aguas y relación con el Gradiente Geotérmico

Como puede leerse en el inventario de captaciones controladas (apartado5.2.5) la temperatura del agua subterránea surgente en las perforaciones ha sido medida periódicamente, permitiendo calcular la temperatura media durante el periodo. Esto a permitido calcular la temperatura media para cada perforación, que se presenta en el siguiente cuadro:

Perforación	Temperatura media en °C Periodo 1994-99	SD
Federación-1	43.02	0.16
Concordia-1	45.91	0.86
Colón-1	33.75	0.31
Villa Elisa-1	38.18	0.13
Concepción del Uruguay-1	28.9	0.37
Gauleguaychú-1	24.0	0
Arapey	42.17	1.35
Daymán	45.79	0.46
Guaviyú	38.27	0.71
Nicanor	44.75	0.35

Es evidente que, considerando las profundidades de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal, la temperatura del agua en boca de pozo, tiene relación con la temperatura del agua contenida en el acuífero y esta en consecuencia se relaciona con el gradiente geotérmico de la región. En una primera aproximación se ha propuesto un gradiente geotérmico promedio para la corteza continental del orden de 0,030 °C/m (Ellisy Mahon, 1977) pero se acepta un valor comprendido entre 0,05 y 0,025 °C/m o 20 a 40 meros de profundidad por cada °C como frecuentes (Custodio Llamas , 1983). El efecto del calor solar o temperatura ambiente tiene influencia en los primeros metros, cuanto más cerca de la superficie se encuentran los acuíferos. Según Schöeller, (1962) esta influencia es poco notable por debajo de los 6 metros de profundidad y prácticamente nula a más de 20 metros de profundidad. A partir de mediciones realizadas en el Acuífero Ituizangó en la región, se ha verificado que la temperatura del agua del acuífero no parece tener relación directa con las oscilaciones diarias de la temperatura ambiente aunque si con las estacionales. De todas formas la profundidad del Sistema Acuífero Termal reduce a despreciable su posible influencia.

La temperatura a una profundidad determinada esta dada por el gradiente geotérmico de una región y la misma se calcula como la relación de :

(3) $T_x = T_o . \nabla g . (x)$

Donde:

T_x: Temperatura a una profundidad dada

T_o: temperatura media en superficie

∇g.: Gradiente Geotérmico

(x): Profundidad

En esta sencilla expresión existen dos variables importantes y en muchos casos complejas de medir o determinar. Una de ellas es la temperatura media superficial debido que la misma varia con las estaciones del año. No hay acuerdo en la bibliografía sobre la más conveniente. En este caso consideraremos la temperatura media anual del mes más cálido de la región del promedio registrada sobre la base de las series de precipitaciones de la región. De otra manera el límite sería muy bajo y el acuífero libre considerarse "termal" en algunas épocas del año, lo cual no es conveniente de suponer en este ambiente. Esta temperatura media promedio (Enero) corresponde a 22,6°C (ver capítulo 2). El gráfico 5 y 6 permite observar la relación entre los diversos límites térmicos propuestos para las captaciones de Argentina y Uruguay, de esto se desprende que las aguas deben superar los 26,6 °C en las región para considerarlas Termales según Schöeller (1962) o sea que superen 4°C el valor medio citado. El otro factor, es la temperatura en profundidad o mejor expresado, conocer la temperatura a una profundidad inequívocamente determinada. Los perfilajes de las perforaciones de Federación-1,

Concordia –1, Colón-1 y Gualeguaychú-1 permitieron medir directamente la temperatura de fondo de perforación. Gualeguaychú –1 además posee un registro continuo de temperaturas. De las captaciones se presentan los siguientes datos:

Perforación	Profundidad m.b.b.p..	Temperatura en °C
Federación-1	1260	49
Concordia-1	1170	47
Colón-1	1300	51.6
Gauleguaychú-1	988	43

El gráfico N° 5 presenta la gráfica de la función $T_x = T_o . \nabla g .(x)$ para las captaciones mencionadas considerando las medidas de temperatura realizadas en los pozos durante el perfilaje de las unidades. La tabla a continuación presenta los valores de gradiente calculados de acuerdo a la expresión propuesta en (3), corresponde a la pendiente de las curvas presentadas.

Perforación	Gradiente Geotérmico (∇g) en °C/m	Mts. por °C
Federación-1	0.0209	47.9
Concordia-1	0.0208	48.0
Colón-1	0.0223	44.8
Gauleguaychú-1	0.0208	48.0

Las curvas y pendientes de los gradientes analizados en Gauleguaychú-1 Concordia-1 y Federación-1 son lo suficientemente similares como para considerarse iguales. Hacia la zona de Colón-1 el Gradiente Geotérmico aumenta sensiblemente. Esto podría relacionarse con el calor remanente en la región de estudio. Una interpretación posible es relacionar este calor remanente con las anomalías magnéticas determinadas por Vila (1962) y modeladas por Guispi, (1993) en la región cercana a 1 de Mayo, interpretadas como la respuesta de un cono (nec) volcánico en profundidad (ver capítulo 4.6). De esta forma se suma otro criterio en apoyo de dicha interpretación.

La temperatura del agua en boca de pozo suele considerarse representativa, de la temperatura del agua contenida en el acuífero o al menos los intervalos más potentes del mismo. El gráfico N°6 muestra la temperatura correspondiente a las profundidades de techo y base del acuífero más productor en cada pozo, (Acuífero Botucatú en Federación –1, Concordia-1 y Villa Elisa-1 y Acuífero Solari en Colón –1, Concepción del Uruguay –1 y Gauleguaychú-1), calculada a partir de los gradientes geotérmicos propuestos. Se ha asumido en Villa Elisa-1 el gradiente geotérmico determinado en Federación y Concordia y en Concepción del Uruguay el determinado en Colón. Los puntos volcados en el gráfico corresponden a la temperatura promedio del agua en boca de pozo en cada perforación mencionada.

Se desprende de lo expuesto que la temperatura del agua en boca de pozo no necesariamente debe correlacionarse con la temperatura de los principales niveles de aporte en profundidad.

Solo en Federación y Concordia la temperatura del agua en boca de pozo posee pocas variaciones con la prevista a la profundidad de los niveles de aporte (ver gráfico 6). En Villa Elisa, Colón, Gualeguaychú y Concepción del Uruguay la temperatura es muy inferior al intervalo previsto. Si suponemos que la perforación alcanza un régimen térmico estable o con poca variación durante su conducción, (comprobado por la poca variación de las temperaturas registradas), las temperaturas medidas en boca de pozo se encuentran dentro del intervalo previsto solamente si se considera la presunción que el mayor caudal de aporte proviene de los niveles acuíferos comprendidos en el intervalo considerado.

Este es el caso de Federación y Concordia donde la temperatura de boca de pozo se considerará representativa de la temperatura en profundidad del Acuífero Botucatú (no de todo el sistema acuífero). Las captaciones Villa Elisa , Colón, Gualeguaychú y Concepción del Uruguay registran valores de temperatura en boca de pozo que difieren entre 5 – 6 °C menos de la prevista en función del gradiente calculado en las perforaciones. Por lo tanto se considera que las mismas no son representativas de sus principales niveles de aportes, en particular Colón –1, que de acuerdo a lo ya expuesto en 4.3. Las intercalaciones del Miembro Solari a profundidades más someras pueden estar

aportando aguas de menor temperatura y posiblemente, de menor contenido salino, (las primeras determinaciones en boca de pozo realizadas los primeros días de alumbramiento en Colón –1 y Villa Elisa –1 del orden de 330 µS/cm y 15.000 µS/cm respectivamente con temperaturas de 36°C y 39.5°C que luego se estabilizaron en las presentadas aquí. Estos datos son la base de esta última afirmación). Debe considerarse que en estas captaciones el Acuífero Botucatú, o esta ausente del registro, o tiene poco espesor y que las captaciones no tienen aislada la Seccion Interbasaltica.

La temperatura de boca de pozo no siempre es representativa del gradiente geotérmico ni un acuífero determinado, no obstante, puede considerarse representativa del Sistema Acuífero Termal en conjunto tal como ha sido definido hasta aquí con el aporte del acuífero Botucatú y Solari. El mapa de Isolíneas de temperatura (7.2.3) debe interpretarse dentro de este concepto de representatividad.

La importancia de estas consideraciones tiene aplicación directa, dado que es posible calcular al velocidad horizontal real del flujo, planteando al ecuación de continuidad en medios porosos con flujo de calor y agua en movimiento (Custodio y Llamas, 1983). La aplicación de esta ecuación de continuidad que se presenta a continuación, es de compleja resolución analítica. Sin embargo puede aplicarse con cierto grado de aproximación considerándose las siguientes circunstancias físicas del acuífero y la perforación (según Custodio y Llamas, 1983):

- Las condiciones litológicas, estratigráficas e hidrogeológicas deben ser similares. Es decir, que debe tratarse de la misma unidad acuífera con pocas variaciones laterales y verticales.
- Para cálculos aproximados o indicativos (como este caso) debe considerarse o admitirse un espesor constante de acuífero.
- Debe considerarse régimen permanente, es decir, con flujo de agua constante, que estabiliza los niveles dinámicos en el tiempo.
- La temperatura debe ser constante en la misma sección del acuífero.
- El acuífero debe ser horizontal en el tramo considerado

Considerando solamente el Acuífero Botucatú comprendido en el Sistema Acuífero Termal, la situación que más se aproxima a estas premisas ocurre en el intervalo infrabasaltico de las perforaciones Federación –1 y Concordia-1. Las mismas presentan una litología similar y además condiciones estratigráficas comparativamente iguales (ver 4.3 y 4.4), las profundidades del techo - base y espesores de la unidad Acuífera Botucatú son similares o con pocos metros de diferencia. Puede considerarse en dicho intervalo como un acuífero horizontal, con flujo constante debido a que las captaciones estabilizan las presiones de surgencia rápidamente y las han sostenido así durante los últimos 5 años (ver 5.3). La temperatura puede considerare constante en el intervalo entre ambos, ya que prácticamente poseen el mismo gradiente geotérmico calculado a partir de mediciones con sonda termométrica en el pozo. La ecuación general integrada, propuesta por Custodio y Llamas, (1983) se presenta según:

$$(4)\ \theta_x = \theta_s + (q.h/K) - \{(q.h/K) - \theta_o + \theta_s\}^{(-xK/v.b.c.\delta.h)}$$

Donde:

q: Calor interno del sistema (aporte de calor cte. de la tierra) cal/cm²/seg
K: Conductividad térmica (del conjunto agua+roca) cal/cm/seg/°C
c: conductividad térmica del fluido (agua) en cal /gr./°C
v: Velocidad real del agua en cm/seg
b: Espesor del acuífero en cm
h: Profundidad del acuífero en cm
x: Distancia entre los puntos referidos en cm
δ: Densidad del fluido (agua) g/cm³
θ_x: Temperatura del agua del acuífero a una distancia determinada en °C
θ_s: Temperatura media de la superficie del terreno en °C

θ_o: Temperatura del agua del acuífero en el origen de coordenadas en °C

Se considerará como origen la perforación de Concordia-1 (x=0) debido que posee los valores de presión de surgencia mayores que Federación-1 (x=61Km), considerando agua como fluido el módulo de las variables c y δ es igual a 1 (uno), se considerará una distancia (x) entre ambas de 61 km, un espesor medio (b) en el intervalo de 250 mts., una profundidad del acuífero (h) de 1000 mts, una temperatura media de superficie (θ_s) de 22,6°C, y una temperatura del acuífero a 1000 metros que cumple con la condición de $\theta_o = \theta_x$ de 43 °C. Los valores de **q**, **k** y **v** son incógnitas del sistema de análisis propuesto. Para calcular **v** (velocidad real horizontal) es escenario asumir un valor de **q** y **k.** El valor de **q** propuesto por diversos autores (Custodio y Llamas, 1983; White, 1970 y Schöeller, 1962) suele variar entre 1,2 – 1,5 $x10^{-6}$ cal/cm^2/seg en áreas continentales. El valor de K depende de la naturaleza de la unidad considerada y puede calcularse a partir de la expresión **(4)**. En la medida en que **x** tiende a infinito el término $\{(q.h/K) - \theta_o + \theta_s\}^{(-xK/v.b.c.\delta.h)}$ tiende a cero. Considerando la distancia entre las captaciones el tercer término de la expresión **(4)** tiende a ser un numero cercano a 0. Por lo tanto que da reducida a la siguiente expresión:

(5) $\theta_x = \theta_s + (q.h/K)$

y K queda definida por:

(6) $K = q.h/(\theta_x - \theta_s)$

Donde:

q: Calor interno del sistema (aporte de calor cte. de la tierra) cal/cm^2/seg:
K: Conductividad térmica (del conjunto agua+roca) cal/cm/seg/°C
θ_x: Temperatura del agua del acuífero a una distancia determinada en °C
θ_s: Temperatura media de la superficie del terreno en °C

para θ_s = 22,6°C, θ_x = 43°C y h = 100000 cm tenemos:

(7) $K = q.(4901.96)$

Considerando los valores de **q** propuestos tenemos:

q considerado en cal/cm^2/seg	**K** calculado en cal/cm/seg/°C
$1.2x10^{-6}$	**5.88x10-3**
$1.5x10^{-6}$	**7.35x10-3**

Estos valores de K corresponden a la conductividad térmica del Acuífero Botucatú en el tramo comprendido y puede considerarse una parámetro característico de la unidad acuífera. Estos valores poseen un orden de magnitud similar a los citados para los acuíferos clástico (Custodio y Llamas, 1983). La velocidad de flujo horizontal puede calcularse considerando que la zona posee el mismo gradiente geotérmico e igual temperatura a igual profundidad en ambas perforaciones. En este caso tanto Federación –1 como concordia –1 posee un gradiente muy similar y para los 1000mts de profundidad prácticamente cumplen con la condición $\theta_o = \theta_x$, aplicando logaritmos v queda definida a partir de la expresión (2)

(8) $v = (-xK/b.c.\delta.h).\ \{\log((q.h/K) - \theta_o + \theta_s) / \log(\theta_s - \theta_x + (q.h/K))\}$

cuando $\theta_o = \theta_x$ el segundo término entre corchetes toma el valor de la unidad y queda:

(9) $v = (-xK/b.c.\delta.h)$

con x, b, c, δ,h constantes tenemos que el módulo de v corresponde:

(10) $\mathbf{v = 2{,}44x10^{-3}.(K)}$

Como se han calculado dos valores de **K** atendiendo a las oscilaciones de **q** tendremos también dos valores de v según la siguiente tabla:

K calculado en cal/cm/seg/°C	v calculado en cm/seg	V expresado en m/año
5.88x10-3	1.43x10-5	4,5
7.35x10-3	1.79x10-5	5.6

Como síntesis de lo expuesto se considerará que a partir de las circunstancias físicas definidas anteriormente es posible determinar para el Acuífero Botucatú en el intervalo entre Federación y Concordia lo siguiente:

- La conductividad térmica (**K**) de la unidad acuífera Botucatú, considerando que la distancia entre ambos es suficientemente grande para anular el termino exponencial, queda definidas por la expresión genérica (6) $\mathbf{K = q.h/(\theta_x - \theta_s)}$.
- La velocidad real del flujo horizontal (**v**) de la unidad acuífera Botucatú, considerando que $\theta_o = 0_x$, queda definidas por la expresión genérica (9) $\mathbf{v = (-xK/b.c.\delta.h)}$.

Por último es importante aclarar que dicho valor solo compete al Acuífero Botucatú en el tramo considerado. Pero que, a falta de una adecuada determinación del gradiente geotérmico que impide su verificación, es posiblemente comparable en las captaciones Villa Elisa-1, Arapey, Daymán y Guaviyú (esta última con reservas por su proximidad a Colón-1) por sus similitudes geológicas. La perforación Colón –1 y Gualeguaychú –1 que poseen valores de temperatura medido en la perforación al igual que Concordia y Federación, poseen una geología diferente y circunstancias físicas diferentes (ver 4.3, 4.4 y 4.5) que impiden una adecuada comparación. Entre dichas causas la más importante es que las intercalaciones arenosas que constituyen el Acuífero Solari, son de poca potencia y suelen distribuirse entre las vulcanitas que pueden alcanzar los 1000 metros de espesor, esto hace difícil la determinación de temperaturas para el conjunto excepto que se consideren las unidades clásticas separadamente. Como es previsible la conductividad térmica (K) depende del material considerado y es altamente probable, por su tipo litológico, que la Formación Serra Geral posea valores de K diferentes que la Formación Botucatú y que hasta tal vez varíen en diferentes captaciones al igual que otras propiedades físicas. Por esta razón los valores de k y v calculados se considerara solo representativos del Acuífero Botucatú y no del Sistema Acuífero Termal en su conjunto. Las perforación en Concepción del Uruguay-1 también se encuentra bajo la última situación descripta.

La temperaturas medias en boca de pozo y las calculadas a partir del gradiente geotérmico considerando la profundidad del techo y base de los acuíferos que componen el Sistema Acuífero Termal presentadas, se encuentran entre 40-60°C. Esto permite clasificar al Sistema Acuífero Termal como de muy baja entalpía y líquido-dominante. La poca posibilidad de transferencia del calor restringe su uso, para el aprovechamiento del calor en su uso directo sobre la agricultura (Ungematch, 1980).

Debe considerarse que si bien la velocidad horizontal puede variar regionalmente, las mediciones isotópicas sobre la base de ^{18}O, D y ^{14}C realizadas en las captaciones Uruguayas sobre muestras de las perforación Arapey (Dellepere, 1992) aproximan edades del orden de 22000 años (ver 5.5), para un recorrido lineal de 110 km aproximadamente desde el área de recarga o sea cercanas a 5 m/año muy similares a las calculadas en el intervalo de captaciones propuesto con condiciones geológicas e hidrogeológicas similares en las tres perforaciones. Las consideraciones e implicancias sobre el estudio hidráulico del Sistema Termal a consecuencia de los parámetros calculados aquí se tratarán en el apartado 5.3

5.3. Hidráulica del Sistema Acuífero Termal

5.3.1.- Presiones y Alturas Piezométricas

La condición de surgencia, característica en las captaciones de estudio, está dada por la elevación de la columna de agua por encima de la cota topográfica de la perforación. Esta condición impone que la mejor forma de evaluar la piezometría del Sistema termal sea a través de las presiones de boca de pozo. La altura piezométricas, la altura que alcanza la columna de agua del acuífero confinado o semiconfinado en un lugar y tiempo determinados (González et.al., 1986). Se considera piezometría positiva cuando supera la altura del acuífero libre local, situación que se verifica en el entorno de las captaciones de la región. Los acuíferos de las Secciones Suprabasálticos e incluso Interbasálticos en roca fracturada (Acuífero Arapey), no presentan surgencia en la región de estudio y cuando ha sido posible verificarla se ha debido a variaciones topográficas locales.

El seguimiento de presiones fueron medidas en boca de pozo con el empleo de manómetros mecánicos con una sensibilidad de 0,1 Kg/cm2, suficientemente preciso para una primera aproximación al entendimiento de la piezometría regional del Sistema Acuífero Termal. El objetivo es determinar al distribución regional de las presiones del acuífero, determinar sus gradientes hidráulicos y complementar la información relaciona con al hidráulica de las unidades acuíferas del Sistema . Los valores de presión medidos deben considerarse en rigor como presiones estáticas (Ortiz Aguirre, 1996), dado que las perdidas por fricción se relacionan con las pérdidas de carga de las perforaciones que como se vera en 5.3.3. son diferentes para cada perforación. Sin embargo sus variaciones se relaciona con al presión artesiana (González et.al.,1986). Se considerará la presión de descarga o surgencia a la medida con las perforaciones en descarga libre (pozo abierto). La presión de carga vendrá dada por la lectura con la descarga obturada (pozo cerrado). Dado que la presión de carga se mide cuando la velocidad de flujo es 0 m/s, las pérdidas por fricción es prácticamente despreciable, por lo tanto la consideraremos como la presión artesiana. La presión artesiana equivale a la diferencia de alturas entre la zona de recarga y el punto considerado. Esta es la que se emplea para determinar la piezometría del Sistema Acuífero Termal. La presión de descarga se mide con una velocidad de flujo o caudal determinado que ha sido medido en conjunto, es entonces un nivel dinámico y su diferencia con la presión de carga permite calcular el Caudal Específico del Sistema Acuífero Termal. En ambos casos se aplicará la relación 1 kg/cm^2 = 10,33 m de columna de agua notación en la que comúnmente se realizan los mapas piezométricos (ver 7.2.2). Los valores promedio, de 5 años de monitoreo, y su variación se presentan en la siguiente tabla:

Perforación	Presión de Carga media En Kg/cm^{2}Periodo 1994-99	SD	Nivel Estático calculado Periodo 1994-99		SD
			m.b.b.p..	m.s.n.m	
Federación-1	5.3	0.05	+57.74	100.74	0.5
Concordia-1	6.4	0.05	+66.11	104.11	0.5
Colón-1	1.86	0.25	+19.21	38.21	2.58
Villa Elisa-1	1.21	0.07	+12.49	57.49	0.72
Concepción del Uruguay-1	---	---	-18.7	1.3	0.01
Gauleguaychú-1	0.25	0	+2.58	24.58	0.01
Arapey	4.17	0.05	+43.07	92.07	0.5
Daymán	3.15	0.12	+32.53	52.53	1.25
Guaviyú	2.4	0	+24.79	44.79	0.01
Nicanor	4.05	0.07	+41.83	81.83	0.72

Presión de carga media y Nivel estático de las captaciones

Los valores de presión, al igual que los de temperatura en boca de pozo, pueden ser más o menos representativos de las unidades acuíferas pero en todos los caso son representativos del Sistema

Termal produciendo en conjunto. Los gráficos 7 y 8 muestran las variaciones de presiones de las captaciones en Argentina (Gráfico. 7) y en las captaciones Uruguayas (Gráfico. 8).

Perforación	Presión de Descarga Media y Caudales surgentes Medios. Periodo 1994-99		SD	Niveles Dinámicos Periodo 1994-99		SD
	Kg/cm^2	m^3/h		m.b.b.p..	m.s.n.m	
Federación-1	2.71	300	0.08	+27.99	70.99	0.82
Concordia-1	4.62	272	0.09	+47.72	85.72	0.92
Colón-1	0.89	144	0.16	+9.19	28.19	1.65
Villa Elisa-1	0.53	50	0.05	+5.47	50.47	0.5
Concepción del Uruguay-1	---	110*	--	-45.7	-25.7	0.01
Gauleguaychú-1	0.1	8	0	+1.03	23.03	0
Arapey	2.07	170**	0.05	+21.38	70.38	0.5
Daymán	1.45	120**	0.06	+14.97	34.97	0.61
Guaviyú	0.16	120**	0.02	+1.65	21.65	0.2
Nicanor	2.5	70**	0	+25.82	65.82	0

Presión de descarga media y Nivel dinámico de las captaciones

** Dato tomado a partir de un bombeo con dicho caudal*

*** Datos tomados a partir de publicaciones (TAHAL, 1986; HIDROSUD, 1988)*

Los valores de caudales surgentes medidos en las perforaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1, Villa Elisa-1 y Gualeguaychú-1 fueron efectuadas con la máxima apertura del diafragma esclusa de la obra de superficie. Existe además información complementaria a partir de los bombeos realizados en las captaciones de Colón-1 y Concepción del Uruguay-1 con el objetivo de mejorar su producción. El bombeo en la perforación Concepción del Urguay-1 descendió desde los -15,7 m.b.b.p. hasta los -45,5 m.b.b.p.. con un caudal de 110 m^3/h lo que le corresponde una diferencia de 29,8 m. El pozo Colón –1 fue bombeado con un caudal de 220 m3/h a partir de una nivel equivalente propuesto de +19,21 m.b.b.p.. y el nivel descendió hasta estabilizarse en los -11 m.b.b.p.. que le corresponde una diferencia de 30,21m . Los valores medios de caudal, su desviación y la diferencia de presiones se presentan en la siguiente tabla:

Perforación	Caudales surgentes con Las captaciones en descarga Período 1994-99 (m^3/h)	SD	Diferencia de Presión Carga –Descarga		Diafg ϕmm
			Kg/cm^2	Mts	
Federación-1	300	3.5	2.59	26.75	6
Concordia-1	272	20	1.78	18.38	6
Colón-1	144	20	0.97	10.02	8
Villa Elisa-1	50	14	0.68	7.02	4
Concepción del Uruguay-1*	110*	0	--	29.80	4
Gauleguaychú-1	8	1	0.15	1.54	4
Arapey	170**	--	2.1	21.69	4
Daymán	120**		1.7	17.56	--
Guaviyú	120**		2.24	23.13	
Nicanor	70**	--	2.0	20.66	
Colón *	220*	0	--	30.21	--

Caudales surgentes y caudales máximos instantáneos medidos en las perforaciones Argentinas y Uruguayas

** Dato tomado a partir de un bombeo con dicho caudal*

*** Datos tomados a partir de publicaciones (TAHAL, 1986; HIDROSUD, 1988)*

Estos bombeo solo pueden considerarse indicativos y tienen valor considerándolo como el caudal máximo instantáneo (Ortiz Aguirre, 1996) o en la determinación del caudal específico del

Sistema Acuífero Termal. En este último caso, con el objeto de disminuir el error de determinación se partirá de la diferencia de presiones de carga y descarga en cada perforación

Cualitativamente, a partir de una análisis simple de la información presentada, es notoria que la diferencia entre los valores de las presiones de carga y descarga, caudales surgentes y en última instancia niveles piezométricos nos permite diferenciar las captaciones de Colón-1, Concepción del Uruguay –1 y Guaelguaychú-1. Esta diferencia esta en relación con que el Acuífero Solari es el único acuífero del Sistema Acuífero Termal que ha sido alumbrado en estas captaciones, mientras que en las restantes aportan ambos acuíferos Solari y Botucatú. El Acuífero Botucatú en las captaciones donde ha sido alumbrado posee una potencia mayor que el Acuífero Solari, solo en la perforación de Guaviyú en Uruguay su potencia es comparativamente menor o similar. En Gualeguaychú, independientemente de considerarse la posibilidad de los acuíferos suprabasálticos aporten en la perforación, la Formación Piramboiá en profundidad o el poco espesor de la Formación Botucatú (15 metros) y su lejanía con las áreas de recarga provoca una importante caída de los índices de dichos parámetros. Esta última hipótesis puede explicar la ausencia de presión surgente en Nogoyá ENR-1x. Los valores, ya citados en 5.1, de niveles estáticos en Guaviyú-1 (15m.d.b p.) se relacionan con su somera profundidad o altura estratigráfica, la posible participación de recarga local y la distancia a l área de recarga en Brasil y Uruguay. A partir de la información presentada es posible calcular dos parámetros importantes, el Caudal Específico (ver también 5.3.3) y el Gradiente Hidráulico, que se relacionará con las características hidrogeológicas de las captaciones .

El caudal específico o característico se define como el cociente entre el caudal de un pozo y su descenso o variación de niveles y/o presiones (Ortiz Aguirre, 1996; González et.al., 1986). En el cálculo de los mismos debe considerarse: un caudal específico medio ya que, aunque con pocas oscilaciones, parten de valores medios de presión y caudal medidos durante el lustro 94-99. Los mismos se resumen en la siguiente tabla:

Perforación	Caudales Específicos medios en las Captaciones (m^3/h/m) Período 1994-99
Federación-1	11.21
Concordia-1	14.79
Colón-1	14.27
Villa Elisa-1	7.12
Concepción del Uruguay-1*	3.69
Gauleguaychú-1	5.3
Arapey	7.83
Daymán	6.83
Guaviyú	5.18
Nicanor	3.4
Colón *	7.28

Los valores de caudal específico se encuentran dentro del orden de magnitud de los medidos por otros autores y estudios en los acuíferos de estudio, aunque en promedio un poco mayores que los medidos en afloramiento (ver 5.1) por Montaño y Pessi, (1988) son similares a los expresados en los estudios más recientes de HIDROSUD, (1988) y TAHAL, (1986) que oscilan entre 6 y 15 m3/h/m para las captaciones Uruguayas de Arapey, Daymán y Guaviyú. Sobre estas variaciones puede hacerse algunas consideraciones que aportan una mejor comprensión del sistema y son importantes porque afectan al representatividad de los datos hidráulicos y sus implicancias, las mismas se detallan según:

- Debe considerarse que en las perforaciones Uruguayas se explota toda la columna acuífera del Sistema Acuífero Termal y es mejor criterio suponer "a priori" que el comportamiento hidráulico de la Formación Botucatú, siendo un acuífero clástico de buena selección, no sea igual que el

conjunto clástico–fracturado de los Acuíferos Solari-Arapey. Esto explicaría, junto con la falta de un adecuado diseño, las oscilaciones registradas.

- El pozo Nicanor debe considerarse que solo se penetran 5 metros a partir del techo de la Formación Botucatú y no atraviesa todo el espesor acuífero. Esto puede provocar elevadas pérdidas de carga que se traducen en el desmedro de sus características hidráulicas y parámetros de pozo. En argentina la perforación Villa Elisa –1 estaría en igual condición, aunque atraviesa 110 metros de espesor no llega a la base de la Formación Botucatú explicando así la aparente contradicción de inferior caudal específico y buenos valores presión de carga-descarga y temperatura. En síntesis, estos valores pueden relacionar se con perdidas de carga y falta de diseños de captación adecuados.
- En este contexto las perforaciones Federación-1 y Concordia-1 poseen valores ligeramente superiores posiblemente, porque el aislamiento total en Concordia y parcial en Federación de la Sección Interbasaltica permiten considerar a estos índices, como más representativos de las secciones clasticas infrabasálticas.
- Otra hipótesis, relacionada a la anterior, es considerar a las intercalaciones clasticas de ambos acuíferos como los principales niveles de aporte, esto último permitiría explicar porque Colón –1 posee, en surgencia, valores de caudal específico mayores que frente al bombeo. La profundidad de las bombas suelen no superar los 50 a 100 metros y es posible que extraigan más agua de los niveles superiores del acuífero que suelen poseer las intercalaciones clasticas menos potentes y mayor participación de aporte por fisuración, explicando la caída del caudal específico.
- En clara concordancia con lo dicho anteriormente se explica el bajo valor de caudal específico y las presiones negativas obtenido en Concepción del Uruguay –1. A esto último hay que adicionarle la falta de un diseño de captación, pérdidas de carga (5.3.3) y en particular en Concepción del Uruguay-1 una altura estratigráfica mayor del basamento y acuñamiento de la Formación Serra Geral.
- En Gualeguaychú–1 las características del diseño hacen inferir que los datos no son adecuadamente representativos del Sistema Acuífero Termal, ya que la Sección Suprabasaltica no está aislada. En todo caso si se considera que la sección Infrabasáltica es en gran medida la responsable de los guarismos medidos de dichos parámetros, estos se encuentran dentro de los previstos (op.cit.) Sus características son similares al pozo Almirón en Uruguay.
- El pozo Guaviyú-1 en Corrientes se encuentra en una posición altimétrica y estratigráfica elevada, además las zonas de recarga en Brasil están más alejadas o a menor altura razón por la cual posee valores de presión negativa y probablemente predomine la recarga vertical localmente o bien se deba al bajo gradiente y poca velocidad del acuífero. El pozo Nogoyá ERN-1x presenta presiones negativas por su distancia hasta la zona de recarga y la profundización de la cuenca en la región. Así, es previsible la existencia de presiones negativas y valores de parámetros hidráulicos poco favorables para su explotación.
- En síntesis los valores de presión de carga-descarga, caudales surgentes y caudales específicos de las captaciones mencionadas pueden considerarse más representativos del Sistema Acuífero Termal que de sus acuíferos. En particular las captaciones Federación-1 y Concordia-1 poseen valores que por las características de la ocurrencia, estratigrafía y diseño de captación puede considerarse representativas del Acuífero Botucatú atendiendo las restricciones expuestas.

El gradiente hidráulico y las direcciones de flujo puede observarse en el Mapa Hidrogeológico del área de estudio (ver 7.2.14) a partir de las curvas isopiézicas y las principales líneas de flujo. Las distancias consideradas desde el área de afloramiento de la Formación Botucatú y sus cotas hasta las captaciones Colón-1, Villa Elisa-1 y Federación-1 determinan valores de gradiente hidráulico (∇i) del orden de 7.10^{-4} a 9.10^{-4}. Si se considera la distancia comprendidas entre las isocurvas de 0 – 200 m.s.n.m., el valor del gradiente regional se aproxima a 8.10^{-4} . Estos valores de gradiente son bajos pero frecuentes en áreas periserranas de llanura (Sala y Kruse, 1983). Sin embargo, Pompeu Dos Santos (1983) determina un gradiente del orden de 4.10^{-4} cercano al que aquí se ha

calculado y muy similar al existente entre las captaciones de Concordia-1 y Villa Elisa-1 que solo para ese tramo toma valores de 3.10^{-4} siendo el valor más bajo de la región. Esto último tiene efecto sobre la hidroquímica del Sistema Acuífero Termal. Al igual que las principales línea de flujo el gradiente tiene coinciden en al dirección NE-SO dirección de profundización de las unidades formacionales continentes.

5.3.2.- Porosidad y Permeabilidad

La prosidad y permeabilidad de las rocas acuíferas constituyen parámetros que caracterizan y condicionan sus propiedades hidráulicas. La porosidad total o absoluta, definida como el volumen total de espacios interconecatados o no en al roca (Ortiz Aguirre, 1996;Gonzalez et.al., 1986) es una propiedad que suele considerarse más representativa en los acuíferos de rocas clasticas. La porosidad de fracturas (González et.al., 1986) sería más representativa de la secciones de roca dura fracturada o diaclasada.

Sin embargo el agua recuperable de las formaciones acuíferas es aquella determinada por la interconexión de los poros de la roca (González et.al., 1986) o liberada por acción de la gravedad (Custodio Llamas, 1983; Ortiz Aguirre, 1996) conocida como prosidad eficaz. Esta última suele representar una porción inferior a la porosidad total.

Para realizar el calculo de los valores de prosidad se recurrirá aquí a dos métodos diferentes, el primero a partir de la granulometría de la Formación continente de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal. El segundo, a partir de los perfiles resistivos de los pozos calculando el factor de Formación y considerando la ley de Archie (1953). En el primer método se determina la fracción clástica correspondiente al tamaño efectivo definido como la relación entre el porcentil 10 y el porcentil 60 relación que se conoce como coeficiente de uniformidad (fórmula de Hazen), el porcentil de 10 se denomina tamaño efectivo. También es frecuente, por comparación con la tabla de Jhonson (1967) se estima la porosidad eficaz de la roca continente. El método es rápido y sencillo pero debido a que las tablas se han confeccionado sobre la base de los valores más frecuentes en diversos tipos litológicos posee una gran dispersión y debe tomarse como orientativo (Custodio y Llamas, 1983). El análisis granulométrico se ha realizado a partir de los recortes de perforación, si bien sus características litológicas y mineralógicas ya han sido detalladas en 4.3, se presenta a continuación el análisis integrado cada 50 metros correspondiente a la Formación Botucatú tomado de las muestras de las perforaciones Federación-1, Concordia-1 y Villa Elisa-1 y el Miembro Solari de la Formación Serra Geral tomado a partir de la perforación en Colón-1. Las siguientes listas presentan el tamaño de partículas y el porcentaje relativo de cada fracción, según:

Tamaño	Federación-1 (m.b.b.p..)				
mm	900-950	950-1000	1000-1050	1050-1100	1100-1150
>2	0,1	0,06	0,05	0,05	0,05
1,41	0,06	0,02	0	0	0
1	0,33	0,12	0,06	0,05	0,05
0,707	1,61	0,9	0,2	0,15	0,1
0,5	5,73	5,2	5,15	4,99	4,3
0,354	4,11	5,25	7,8	10,54	9,7
0,25	12,04	17,6	22,3	24,27	25,5
0,177	22,15	20,6	19,5	18,67	19,1
0,125	22,59	21,3	17,8	15,76	15
0,088	11,19	10,6	8,9	7,29	7,2
0,063	8,09	7,5	6,5	5,62	5,5
<0,063	8,43	8,65	8,76	9,02	12
Error %	3,1	2,2	3	3,5	1,5

Tamaño	Concordia-1 (m.b.b.p.)		Villa Elisa-1 (m.b.b.p..)	Colón-1 (m.b.b.p..)
mm	1000-1050	1050-1100	950-1000	715-765
>2	0,06	0,05	0,03	0
1,41	0,02	0,01	0	0
1	0,3	0,28	0,25	0,15
0,707	1,4	1,2	1	0,8
0,5	5,5	6,2	7,2	5,3
0,354	4,4	5,8	7,1	8,1
0,25	13,1	13,2	12,8	14,2
0,177	25,4	24,9	18,5	22,5
0,125	22,6	22,9	19,5	21,3
0,088	11,9	12,1	13	12,6
0,063	6,5	6,2	7,2	8,9
<0,063	5,6	5,2	10,3	4,2
Error %	3,2	2	3,1	2

Los gráficos 9 y 10 presentan los histogramas correspondientes a las intervalos presentados para cada perforación. Los intervalos aquí utilizados corresponden a la Formación Botucatú y al M.Solari, ambas son unidades de fracciones clasticas de composición arena fina a muy fina. Al igual que lo expresado en 4.3 la similitud de las granulometrías en las unidades es visible en las distribuciones de partículas. Debe considerarse que son intervalos integrados en 50 metros de espesor, tal vez poco representativo en sedimentología, pero suficiente desde un punto de vista hidrogeológico. En las captaciones Federación-1, en el intervalo inferior a los 1150 m.b.b.p.. y en Concordia –1, en el intervalo inferior a 1100 m.b.b.p. no se considerarán de utilidad por tener una elevada participación de material clástico de tamaño limo-arcilla, inútil para estos métodos de determinación que exigen arenas con poco material fino (arenas limpias). Federación –1 presenta modas que varia entre los 3-2,5 phi con menos del 8% de la fracción limo-arcilla, en Concordia-1 las modas varían entre 3-2.5 phi con menos del 5% de la fracción limo-arcilla, Villa Elisa presenta una moda de 3 phi y menos del 10% de la fracción limo-arcilla. El Miembro Solari (al menos en el intervalo citado) de la Formación Serra Geral en la Perforación Colón –1 posee una media de 2,5 phi y menos del 5% de la fracción limo-arcilla. Estos parámetros estadísticos, calculados a partir del análisis granulométrico, conjuntamente con los porcentiles de 10, 50, 60 y 90. Presentados en la siguiente tabla extraídos a partir de la representación de las curvas acumulativas de los gráficos 11 y 12 permiten tener una aproximación de la continuidad litológica que regionalmente presentan estas unidades en el área de estudio.

Perforación	Tamaño en Mm $\phi 10$ [1]	Tamaño en Mm $\phi 50$ [2]	Tamaño en Mm $\phi 60$	Tamaño en Mm $\phi 90$	Curtosis
Federación –1	0.40 – 0.45	0.18 - 0.21	0.15 – 0.17	0.065 – 0.071	1.18 - 1.22
Concordia -1	0.40 – 0.45	0.19	0.16 – 0.17	0.065 – 0.07	1.12 – 1.33
Villa Elisa -1	0.46	0.18	0.15	0.063	0.88
Colón –1 [3]	0.43	0.19	0.17	0.075	1.06

[1] *Tamaño efectivo*
[2] *Mediana*
[3] *Miembro Solari, Formación Serra Geral*

Los valores de curtosis, (cercanos a 1), evidencian la buena a muy buena selección de la fracción psamíticas de las unidades formacionales consideradas. El grado de cementación de la unidad es otro factor importante ya se ha expuesto las características del mismo en el apartado 4.3. La imposibilidad de obtener muestras sin disturbar o testigos corona en las captaciones, dado que la información proviene del análisis a grano suelto, la influencia del grado de cementación sobre las propiedades hidráulicas es difícil de determinar en estas condiciones. Sin embargo, podría considerarse una elevada fiabilidad consecuente de la observación de los recortes de pozo. Sobre la base de lo expuesto considerando los niveles de aporte como Areniscas finas, poco consolidadas y friables puede

determinarse comparativamente la porosidad total. Custodio y Llamas, (1983) proponen una tabla que relaciona la litología con los valores de porosidad total considerando en ella a diversos autores (Meinzer, 1923; Schöeller, 1962; Davis, 1969; Jhonson, 1967) aunque con restricciones, las areniscas estudiadas aquí tendrían, comparativamente, valores medios de prosidad total del 15% y se considera normal que varíen entre el 3% y el 25% dependiendo del grado de cementación. Franca et.al. (1995) le atribuyen a al Formación Botucatú en Brasil valores de porosidad total de 17% valor que puede preferirse y considerarse válido en el subsuelo Argentino debido a las siguientes razones:

- Es un valor cercano al medio propuesto en la bibliografía (op.cit.) y/o se encuentra dentro de las variaciones previsibles.
- Es un valor atribuido a una de las Formaciones de estudio en Brasil, que ya ha sido correlacionada con las unidades similares del subsuelo Argentino (4.4., 4.5 y 4.6).
- Puede incluirse al Miembro Solari de la Formación Serra Geral que presenta una elevada similitud litológica y granulométrica
- A partir del método granulométrico, es la mejor aproximación posible.

Para estimar la porosidad eficaz puede calcularse la retención específica (Custodio y Llamas, 1983; Jhonson, 1967) a partir de la expresión:

(11) m_r = 0,03(%arena)+0,35(%limo)+1,65(%arcilla)

Considerando, sobre la base de la distribución gaussiana (gráfico 9 y 10), que el material fino es fundamentalmente limo, que la participación de arcilla no es los suficientemente importante para modificar la retención específica la expresión se resume a:

(12) m_r = 0,03(%arena)+0,35(%limo)

Con los valores porcentuales de material limoso calculada a partir del análisis granulométrico se presenta en la siguiente tabla el factor de retención, la porosidad total (correlacionada) y la porosidad eficaz (prevista) siempre sobre la base de las limitaciones que impone el método y de forma orientativa.

Perforación	Factor de retención %	Porosidad Total %	Porosidad Eficaz %	Unidad Acuífera
Federación –1	5.98	17	11.02	Botucatú
Concordia -1	4.72	17	12.28	Botucatú
Villa Elisa -1	6.2	17	10.8	Botucatú
Colón –1	4.34	17	12.66	Solari

La porosidad eficaz de las unidades toma valores entre el 11% y 12 % (Prom:11,69%), valores medios de porosidad eficaz que son del orden del 10% (Custodio y Llamas, 1983) por lo que pueden considerarse aceptables.

El perfilaje resistivo realizado en las captaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1 y Gualeguaychú-1 permite realizar una determinación indirecta de la prosidad total. Se ha establecido experimentalmente que la resistividad de una Formación psamítica que no posee arcilla en cantidades apreciables, es proporcional a la resistividad de la solución salina con al cual está saturada. La constante que las relaciona es la definida como Factor de Formación (**F**) mediante la siguiente expresión:

(13) F = Ro/Rw

Donde:
F: factor de Formación
Ro: Resistividad de la Formación 100% saturada en agua
Rw: Resistividad del agua contenida por la formación (acuífero)

El factor de formación es importante porque interviene en el cálculo de la porosidad total y se relaciona con ella según la expresión de Archie, (1952):

(14) $F = \varphi_t^{-m}$

Reformada por Winsauer, (1958) cuya expresión es de uso más frecuente, según:

(15) $F = a / (\varphi_t^{m})$

Donde:
F: factor de Formación
φ_t : Porosidad total
a: factor de cementación empírico
m: factor de cementación empírico

De esta forma la porosidad total queda expresada por al siguiente expresión:

(16) $\varphi_t = (a/F)^{1/m}$

reducida en las expresiones:
(17) *En arenas* $F = 0{,}81/\varphi^2$
(18) *Formaciones compactas* $F = 0{,}62/\varphi^2$

En el caso especial de arenas se obtiene una buena aproximación con la expresión $F = 0{,}81/\varphi^2$ según la cual a partir de la porosidad de 0,17 determinada por Araujo et.al. (1995) es esperable un factor de Formación cercano a F = 28. Además Winsauer, (19) tabula y presenta un ábaco para **F** y φ y emplear los valores más adecuados de **a** y **m** que de otra forma sería complejo determinar. Considerando un F = 28 y una φ = 0,17 tomados de Araujo et.al. (1995), a partir de la extrapolación en el ábaco de Winsauer se empleo un valor de a=2 y de m=1,5. Esto ultimo se consideró así, para tener cierto margen en la determinación. Dado que no es posible determinar un adecuado grado de cementación (no se dispone de un valor de m) y regionalmente la cementación suele variar (op.cit., ver cap 4.3).

A partir de los perfilajes resistivos presentados en 4.4 y 4.6 y las conductividad del agua subterránea controlada en boca de pozo con las limitaciones ya planteadas en 5.2.7 se realizaron los cálculos del factor de formación y porosidad total correspondientes. Se tomo el valor registrado en al corrida resistiva en los intervalos clásticos psamíticos de las perforaciones calculando los mínimos y máximos cada aproximadamente 25 metros y promediando el resultado, obteniendo un a F media de las unidades acuíferas y determinando su porosidad (φ).

Se ha considerado apropiado determinar la porosidad eficaz (media) para estas secciones, restando el factor de retención calculado a partir del estudio granulométrico correspondiente a las perforaciones con perfilaje. En Gualeguaychú-1 se han considerado un tramo correspondiente al M. Solari considerando el factor de retención calculado en Colón-1 para la misma unidad, la Sección Infrabasaltica no se considerará aquí por tratarse de un limo arcilloso y no cumplir la condición de Archie (1952). Se presenta en la siguiente tabla los resultados finales de la determinación:

Perforación	Unidad Acuífera	Intervalo de Profundidad (m.b.b.p..)	F (media)	Porosidad Total (media)	Porosidad Eficaz (media)
Federación-1	Botucatú	900 – 1180	28	17.2%	11.22%
Concordia-1	Botucatú	980 – 1100	27.6	17.3%	12.58%
Colón-1	Solari	715 – 765	21.6	20.4%	16.06%
Gualeguaychú-1	Solari	600 – 615	17.3	21.6 %	17.26%

Un último método para la determinación de la porosidad total es utilizando el perfilaje sónico y calculando la prosidad total a partir de la lectura directa del Δt. A partir de la expresión de Wyle que se resume según:

(19) $\varphi = \Delta t$ (perfil) - Δt (roca matriz) / Δt (agua) - Δt (roca matriz)

Donde:
Δt (perfil): Medido en el perfilaje sónico
Δt (roca matriz): Velocidad estándar en la litología de referencia
Δt (agua): Velocidad Patrón del fluido considerado (agua)

En este caso se empleó el perfil sónico de Colón-1 y Concordia-1 ambos de valores muy uniformes de **Δt**. Lo que permitió elaborar al siguiente tabla los tramos correspondientes al los acuíferos Botucatú y Solari. Se empleó el mismo criterio anterior, promediando valores con 25 metros de intervalo calculando al porosidad total media y restando el factor de retención para obtener la prosidad eficaz. El siguiente cuadro presenta los resltados:

Perforación	Unidad Acuífera	Intervalo de Profundidad (m.b.b.p..)	Δt (sónico) μseg/pie	Porosidad Total (media)	Porosidad Eficaz (media)
Concordia-1	Botucatú	980 – 1100	85-90	20 –24%	15.28-19.29%
Colón-1	Solari	715 – 765	90	24%	19.29%

En función de lo expuesto, que constituyen los procedimientos más frecuentemente indicados para el cálculo de la porosidad total y efectiva, puede resumirse que los valores de porosidad total y efectiva para la Formación Botucatú y el Miembro Solari no varían en forma significativa entre sí. El Miembro Solari ha sido considerado en el tramo 715-765 m.b.b.p.. por tratarse de la más potente de las intercalaciones clasticas, de todas formas, es claramente visible y medible en los perfilajes que los niveles intercalados menos potentes oscilan entre los mismos guarismos que este y pueden considerarse de una porosidad similar al tomado como representativo en al determinación.

Otro parámetro característico en los acuíferos es la permeabilidad intrínseca (Custodio y llamas, 1983). La permeabilidad intrínseca (**k**) depende del tamaño de los poros, que puede relacionarse con el coeficiente de permeabilidad (**K**) que posee unidades físicas de velocidad. Custodio y Llamas, (1983) propone la ecuación de Hazen para calcularla a partir del tamaño efectivo, o sea, el porcentil de 10 (ϕ_{10}) en centímetros tomado a partir de las curvas acumulativas. La expresión se presenta según :

(20) $k = c\,(\phi_{10})^2$

donde **k** en la permeabilidad y **c** es una constante que Schöeller, (1962) propone corregir en función de la porosidad de al siguiente forma:

(21) $c = 150 \cdot (\varphi_t / 0{,}45)^6$

De acuerdo con esto, considerando una porosidad efectiva promedio para la Formación Botucatú de 11,5% y para el Miembro Solari una porosidad efectiva promedio de 12% considerando los resultados más pequeños, calculados a partir de la granulometría. Lo que guarda cierta coherencia dado que el calculo de permeabilidad intrínseca emplea valores tomados a partir del estudio granulométrico. Para la Formación Botucatú y para el Miembro Solari se considerará un tamaño efectivo tomado del porcentil de 10% (ϕ_{10}) que es prácticamente igual para ambos, promediando un diámetro de 0,042 cm, se obtienen los siguientes rangos de variación previstos para la permeabilidad o conductividad hidráulica:

Unidad	c (adimensional) Schöeller (1962)	k (cm^2) (Custodio Llamas, 1983	K (m/día) (Davis, 1969)
Acuífero Botucatú	0.041	$7.23\ 10^{-5}$	6.21
Acuífero Solari	0.053	$9.34\ 10^{-5}$	8.06

Valores de entre 10^{-5} y 10^{-8} de permeabilidad intrínseca diversos autores suelen atribuir a arenas o areniscas bien seleccionadas casi limitando con gravas finas (Fette, 1988; Custodio llamas, 1983; Davis, 1969). Esto permite suponer una alta permeabilidad para estas Formaciones compuestas de arenas finas a medias.

La permeabilidad o coeficiente de permeabilidad de Darcy, puede calcularse a partir de la expresión reducida de la Ley de Darcy conocida según:

(22) $K = v/\nabla i$

Donde:
V: Velocidad del flujo
∇i: Gradiente hidráulico

La velocidad del flujo podemos tomarla a partir de la determinada en 5.2.8, considerada para el Acuífero Botucatú. El gradiente hidráulico **(∇i)** ha sido calculado en el apartado 5.3.1 a partir del mapa isopiézico (7.2.2). A partir de esta consideración el valor de gradiente empleado aquí es $\nabla i = 9.10^{-4}$, aplicando la expresión **(22)** y considerando una $v = 1, 43\ .10^{-5}$ cm/s (ver 5.2.8) la permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica (**k**) se llega según:

(23) $K=v/\nabla i=1, 43\ .10^{-5} / 9.10^{-4} = 1.5.10^{-2}$ cm/s = 13,7 m/día

Valores de conductividad hidráulica o permeabilidad de Darcy dentro del rango 0.2 – 4,6 m/día propuesto por Araujo et.al. (1995) para el Acuífero Botucatú en Brasil, o de 1,27 m/día determinado por Pompeu Dos Santos, (1983) en el área de afloramiento de las unidades continentes de los acuíferos en Rivera (Uruguay) y 1,8 m/día (Cattaneo, 1992) en afloramiento también Uruguay. Los valores de (**K**) deben considerarse atribuibles a las unidades en profundidad, aunque son sensiblemente más elevados que los descriptos por otros autores y suelen atribuir a arenas o areniscas bien seleccionadas casi limitando con gravas finas (Fette, 1988; Custodio y Llamas, 1983; Davis, 1969). A pesar de lo cual, sus ordenes de magnitud son cercanos y su variación puede explicarse a partir, de considerara las variaciones regionales en el grado de cementación de estas unidades o procesos de disolución que le proporcionan a las areniscas continentes una permeabilidad secundaria. Esto puede aumentar los índices de permeabilidad medibles en afloramiento.

Para comparar los valores de la permeabilidad intergranular (**k**) y permeabilidad de Darcy (**K**) puede recurrirse a la relación propuesta en las tablas que las relacionan con la litología donde **K = k .100** (Fette, 1988; Davis, 1969). La permeabilidad de Darcy (**K**) debe considerarse medida a 43°C, debido a que la velocidad real se a determinado a partir de los gradientes geotérmicos de las captaciones a dicha temperatura, para considerarla a 20°C debe multiplicarse por la relación de

viscosidad cinemática entre dichas temperaturas. Esto determina los siguientes resultados atendiendo a los valores calculados previamente:

Unidad	K_{43}(m/día) (Darcy)	k (cm^2) (Hazen)	K (m/día) (Fette, 1988;Davis, 1969)
Acuífero Botucatú	13.7	$7.23\ 10^{-5}$	6.21
Acuífero Solari	16.9	$9.34\ 10^{-5}$	8.06

Se concluye, que los valores de permeabilidad **(K)** determinados aquí se consideraran aceptables dentro del contexto hidrodinámico regional del subsuelo argentino.

5.3.3.- Ensayos de Hidráulica y Parámetros Hidráulicos del Sistema

Los ensayos hidráulicos efectuados en la perforaciones han estado condicionados por diversos factores que se consideran a continuación:

- Accesibilidad a la obra
- Grado de conocimiento del perfil geológico
- Diseño de las captaciones
- Características hidráulicas del Sistema Acuífero Termal

Considerando estos factores citados se ha considerado conveniente, para garantizar la representatividad de la información obtenida, realizar tres ensayos hidráulicos en las perforaciones de Federación –1, Concordia –1 y Colón –1. sobre la base de las razones geológicas ya aludidas en el capítulo 4 y 5 sobre la geología e hidrogeología del Sistema Acuífero Termal. Los ensayos hidráulicos de las perforaciones Federación –1 y Concordia –1 (en particular esta última) se consideran representativos del Acuífero Botucatú y los ensayos sobre la perforación Colón –1 se consideran representativos del Acuífero Solari.

Las características hidráulicas del Sistema Termal impidieron realizar ensayos a régimen variable, es decir aquellos métodos que permiten interpretar la evolución de los descensos. La razón de dicho impedimento se relaciona con la naturaleza de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal. En dicha región, que frente a las variaciones del caudal de descarga estabilizan los valores de presión en boca de pozo, en intervalos de tiempo inferiores a 1 segundo sosteniendo ese valor por periodos de tiempo medidos de hasta un año prácticamente sin variación apreciable. Los gráficos 13 y 14 muestran los valores de presión medidos a caudal de descarga constante posteriormente a los ensayos hidráulicos en las captaciones de Federación –1 y Colón –1. El seguimiento es diario por espacio de 35 días en Federación –1 y Colón –1 y por espacio de 40 semanas en Colón –1, las variaciones (SD) de los niveles calculados a están en el orden de 0,8 – 1,54 m y corresponde a variaciones de presión entre 0.07 – 0.14 Kg/cm^2, muy bajas para considerarse significativas y, como se verá más adelante, pueden ser atribuida a las perdidas de carga de las perforaciones.

Verificando la estabilización de los niveles por periodos tan prolongados, se consideró conveniente realizar un análisis a régimen permanente considerando las depresiones finales. Para la aplicación de este método Villanueva e Iglesias, (1984) consideran las siguientes limitaciones propias del mismo que deben tenerse en cuenta en esta evaluación y se detallan según:

- El régimen es permanente (se estabilizan niveles o presiones)
- No existen recargas exteriores
- El acuífero es homogéneo e isótopo
- El acuífero es infinito
- El pozo de bombeo es de diámetro cero
- El pozo atraviesa completamente la Formación permeable
- El agua extraída produce un inmediato descenso en el niveles y vuelve a introducirse en el acuífero

- El flujo del agua al pozo es radial sin componentes verticales
- El caudal de bombeo es constante

Algunas de estas consideraciones son teóricas, sin embargo las perforaciones ensayadas poseen niveles acuíferos que estabilizan niveles casi instantáneamente, no poseen recargas exteriores, la litología de las Formaciones acuíferas son relativamente homogéneas. Además están compuestas por areniscas cuarzosas de muy buena selección ,el acuífero es de gran extensión regional, el pozo de bombeo es de pequeño diámetro (152.4mm - 203.2mm), las perforaciones atraviesa completamente las Formaciones acuíferas y el flujo de agua en la perforación tiene poco aporte vertical ya que lo confinan un niveles impermeables. El caudal de descarga ha sido constante en cada determinación y escalón.

A estas limitaciones citadas para el método, deben considerarse además la falta de piezómetros a diferentes distancias de las perforación, lo que obligó a medir presiones en la perforación donde se produce la descarga. Por esta razón se realizaron ensayos a caudal variable, esto determina que deben asumirse algunos datos (como el radio de influencia del pozo), sobre la base de la base a al bibliografía existente, como se detallará en lo sucesivo. La imposibilidad de realizar un análisis evolutivo presiones vs. tiempo impide calcular el coeficiente almacenamiento (S), dado que el termino $S\,\partial h/T\partial t$ de la ecuación de Darcy es igual a cero.

Un acuífero confinado, cautivo o artesiano se define como aquel en que el agua contenida por el mismo se encuentra en un punto a un presión mayor que la atmosférica (Custodio Llamas, 1983; González et.al., 1986; Ortiz Aguirre, 1996). Esto provoca el ascenso de la columna de agua por encima de la cota topográfica a lo que se denomina surgencia. En los puntos de ensayo se verifican ambas situaciones por lo tanto el acuífero en estudio en la zona de estudio se lo considerará como confinado o cautivo. Esta última afirmación permite asumirá un coeficiente de almacenamiento (S) del orden de 10^{-4} atribuible por diversos autores a acuíferos confinados (Davis, 1969; Custodio y Llamas, 1983; Villanueva e Iglesias, 1984) este valor fue considerado con similar criterio por Cattaneo (1992) a los niveles atribuibles al Acuífero Botucatú en las captaciones uruguayas

Estas consideraciones determinan el tipo de método de determinación de parámetros hidráulicos más convenientes Custodio Llamas (1983) y Villanueva e Iglesias (1984) proponen para acuíferos cautivos en régimen permanente el método de Thiem (Thiem, 1906). De la ecuación propuesta a continuación, se deduce a partir de la Ley de Darcy (Custodio y Llamas, 1983; Villanueva e Iglesias, 1984) y se presenta según:

$$\mathbf{(24)}\ d_p = 0{,}366\ Q/T\ \log_{10}(R/r_p)$$

Donde:
d_p: *Depresión estabilizada en el pozo de observación (m.b.b.p..)*
Q : *Caudal constante referida a dicha depresión (m^3/h)*
T: *Transmisividad (m^2/día)*
R: *Radio de influencia del pozo de explotación*
r_p: *Radio de la perforación*

El objetivo es el calculo de la Transmisividad de los acuíferos, considerados para diferentes relaciones caudal vs descensos tomados a partir de los ensayos de bombeo a caudal variable. Los gráficos 15, 16 y 17 muestran la variación de los niveles (a partir de las presiones) vs. caudales constantes para cada perforación. Es notoria la relación proporcional entre caudales y depresiones, lo que indica una buena respuesta hidráulica de las unidades acuíferas. Los gráficos 15 y 16 corresponden al Acuífero Botucatú y el gráfico 17 al Acuífero Solari. Si se compara las curvas de cada perforación obtenemos el gráfico 18, la inclinación de las curvas es prácticamente la misma para el intervalo considerado. todas las curvas responden a la ecuación general definidas por Rorabaugh (1953) que se detalla según:

(25) $d=AQ+BQ^n$

Donde:
d: Descenso total (depresión medidas) en m
Q: Caudal (m^3/h)
A: Valor relacionado al descenso teórico o relacionado con T y S de cada acuífero (h/m^2)
B: Indicador de la eficiencia del sondeo, relacionado a las pérdidas de carga (h^2/m^5)
n: Valor adimensional que suele ser 2 pero puede tomar valores entre 1 y 3

El valor de A se relaciona con los descensos teóricos en pozos de observación (ausentes en este estudio) y con la transmisividad (**T**) y almacenamientos (**S**) a través de la expresión de Jacob (1940), pero esta última se emplea en ensayos a régimen variable y queda fuera de este análisis.

El valor de B se relaciona con la eficiencia de la perforación y las perdidas de carga (**Pc**) de cada perforación que dependen del caudal y no del tiempo de estabilización de los niveles dinámicos. El valor de **n** toma oscila entre 1 y 3,5 en acuíferos confinados y puede tomar valores más elevados en acuíferos libres o cuando los niveles dinámicos se encuentran por debajo del techo del acuífero (Villanueva e Iglesias, 1984). Sobre la base de los expuesto se ha calculado el valor de la transmisividad deduciendo a partir de (22) según la expresión:

(26) $T = 0{,}366\ Q/dp \log (R/r_p)$

Donde:
d_p: Depresión estabilizada en el pozo de observación (m.b.b.p..)
R: Radio de influencia del pozo de explotación
r_p: Radio de la perforación

La ausencia de piezómetros obliga a considerar un radio de influencia sugerido en la bibliografía entre 200 y 10000 metros para acuíferos confinados (Custodio y Llamas, 1983), si bien la diferencia es grande como en la ecuación (26) está afectada por el signo logarítmico reduce mucho su significancia en la expresión. Villanueva e Iglesias (1984) reducen el intervalo de radios de influencia más frecuente en acuíferos clásticos con porosidad intergranular a valores entre 900 y 1200 metros. Considerando este último tomaremos un valor de radio de influencia de 1000 metros.

Téngase en cuenta que en afloramiento, donde el acuífero es libre, se han propuesto valores del orden de 600 metros (Montaño y Pessi, 1988). Sobre la base de lo expuesto y para cada escalón del ensayo a caudal variable en cada perforación se presenta el tabla siguiente que se acompaña con los datos obtenidos, el calculo de la transmisividad de acuerdo al análisis ya expuesto:

Acuífero Botucatú

Caudal (Q) en m3/h	Presión (Pd) en Kg/cm2	Nivel Dinámico m.b.b.p..	Depresión (dp) en m	Δ Depres (Δd) en m	Relación dp/Q en h/m2	Trasmis. (T) en m2/día
287.05	4.3	+44.419	18.59	3.1	0.064	557.45
252.97	4.6	+47.518	15.49	1.04	0.061	589.59
229.07	4.7	+48.551	14.45	2.06	0.063	572.31
205.5	4.9	+50.617	12.39	2.07	0.06	598.79
162.9	5.1	+52.683	10.32	2.06	0.063	569.86
139.04	5.3	+54.749	8.26	1.04	0.059	607.70
108.72	5.4	+55.782	7.22	2.06	0.066	543.63
73.47	5.6	+57.848	5.16	2.07	0.07	514.03
37.95	5.8	+59.914	3.09	3.09	0.081	443.39
0	6.1	+63.013	0			

Tabla.34. Datos obtenidos a partir del ensayo a caudal variable en la perforación Federación -1 Considérese un R =1000m; y un Rp = 0,0762 m (Ø 6'').

Acuífero Botucatú

Caudal (Q) en m3/h	Presión (Pd) en Kg/cm2	Nivel Dinámico m.b.b.p..	Depresión (dp) en m	Δ Depres (Δd) en m	Relación dp/Q en h/m2	Trasmis. (T) en m2/día
522.12	3.05	+31.5	42.87	2.07	0.0821076	426.75
473.5	3.25	+33.57	40.8	2.58	0.0861668	406.6
432.57	3.5	+36.15	38.22	4.13	0.0883556	396.57
381.02	3.9	+40.28	34.09	2.58	0.0894704	391.63
323.8	4.15	+42.86	31.51	2.07	0.0973132	360.07
266	4.35	+44.93	29.44	2.07	0.1106767	316.59
212	4.55	+47	27.37	27.37	0.1291038	271.40
0	7.2	+74.37	0			

Tabla.35. Datos obtenidos a partir del ensayo a caudal variable en la perforación Concordia -1 Considérese un R =1000m y un Rp = 0,1016 m (Ø8'').

Acuífero Solari

Caudal (Q) en m3/h	Presión (Pd) en Kg/cm2	Nivel Dinámico m.b.b.p..	Depresión (dp) en m	Δ Depres (Δd) en m	Relación dp/Q en h/m2	Trasmis. (T) en m2/día
160	0.8	+8.26	13.43	3.1	0.0839	399.34
135	1.1	+11.36	10.33	5.16	0.0765	438.06
45	1.6	+16.52	5.17	5.17	0.1148	291.76
0	2.1	+21.69	0	0		

Tabla.36. Datos obtenidos a partir del ensayo a caudal variable en la perforación Colón - 1. Considérese un R =1000m y un Rp = 0,1524 m (Ø12'').

A partir de estos valores por escalón puede calcularse la transmisividad y caudal específico promedio de cada ensayo en cada perforación, que a manera de síntesis se resume en la siguiente tabla:

Perforación	Unidad Acuífera	Transmisividad Promedio m2/dia	SD	Caudal Específico Promedio m3/h.m	SD
Federación-1	Botucatú	555.19	50.1	15.37	1.4
Concordia-1	Botucatú	367.10	55.3	10.47	1.5
Colón -1	Solari	376.38	75.8	11.22	2.2

Tabla.37. Transmisividades promedio y caudales específico promedio durante los ensayos efectuados

Los valores de caudal específico se encuentran dentro de los promedios calculados para el periodo 1994-99 ya presentados en el apartado 5.3.1, por lo que se consideraran aceptables. Según Custodio Llamas, (1983) considerando variaciones del radio de perforación (r_p) entre 0,1 –0,5 metros y de radio de influencia **(R)** entre 200 - 10000 que suelen ser las más frecuentes, proponen que una relación sencilla entre Transmisividad **(T)** y Caudal Específico **(Ce)**es aceptable bajo las condiciones hidrodinámicas de este análisis. Dicha relación se expresa según:

(27) T = 1,4 Ce

Empleando esta expresión se puede calcular, estimativamente, los valores de transmisividad **(T)** a partir de los caudales específicos propuestos en 5.3.1 comparando las captaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1 con los mismos. Esta expresión es una aproximación pero se ha empleado y se emplea comúnmente cuando no se posee otra información o no se realizan ensayos de bombeo. Es de frecuente empleo en loa ensayos por bombeo de las perforaciones a los acuíferos de la Sección Suprabasaltica y suele presentar poca diferencia con otros métodos de cálculo. La siguiente tabla presenta dichos resultados:

Perforación	Caudales Específicos medios en las Captaciones ($m^3/h/m$) Período 1994-99	Transmisividades medias calculadas a partir del Caudal específico medio (m^2/día)
Federación-1	11.21	376.65
Concordia-1	14.79	496.94
Colón-1	14.27	479.47
Villa Elisa-1	7.12	239.23
Concepción del Uruguay-1*	3.69	123.98
Gauleguaychú-1	5.3	178.08
Arapey	7.83	263.08
Daymán	6.83	229.48
Guaviyú	5.18	174.04
Nicanor	3.4	114.24**
Colón *	7.28	244.60

Tabla. N°38. Relación entre Caudales específicos medios y Transmisividades aproximadas
**Implementación de bombeo de la perforación posterior a derrumbes (1999)*
** * No atraviesa toda la sección del acuífero*

Los valores de transmisividad así calculados no difieren significativamente entre sí ni con los determinados a partir de los ensayos hidráulicos a caudal variable. Las captaciones de Federación –1, Concordia-1 y Colón-1 presentan valores de Transmisividad semejantes cuando se tomaron los valores con el caudal de descarga (surgente). Nótese como luego del derrumbe parcial de la perforación Colón-1 (Junio de 1999) se verifica una caída de Caudal Específico y Transmisividad. Las perforación Villa Elisa-1 se encuentra en condiciones similares (ha tenido problemas de derrumbes incluso durante su ejecución), las perforaciones Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú –1 poseen niveles del Acuífero Solari (solamente) de poca potencia por lo que puede considerarse que hacia el sur del área de estudio las propiedades hidráulicas de los acuíferos desmejoran. Las perforaciones Uruguayas tiene más de 40 años en explotación y según el informe de TAHAL (1986) e HIDROSUD, (1988) todas han tenido derrumbes en diversas oportunidades antes del comienzo de este estudio. La perforación Nicanor solo penetra en los primeros 5 metros el techo del Acuífero Botucatú, por lo que el valor propuesto, aunque bueno dadas sus características, es solo orientativo.

Esta última observación de las características de las perforaciones determina la importancia de medir la eficiencia de las perforaciones, calculando sus perdidas de carga **(Pc)**. Las perdidas de carga de una captación o perforación constituyen el conjunto de perdidas en el entorno de los niveles acuíferos que atraviesa la perforación y la totalidad de las perdidas en la misma perforación (Villanueva e Iglesias, 1984). Sobre la base de la información obtenida en los ensayos a caudal variable de las perforaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1 se calcularan

- Estimación las perdidas de carga totales de la perforación
- Aproximación las perdidas de carga debidas a la conducción
- Presión de fondo a la altura de techo y base en los niveles acuíferos aportantes.

La estimación de las perdidas de carga totales se calcula a partir de al ecuación (23), ya citada. En la misma debe determinarse el valor de (**n**) que se determina por aproximación (Villanueva e Iglesias, 1984) o comparando curvas patrón de forma gráfica (Custodio y Llamas, 1983). Se aproxima, con el uso de planillas de calculo, el valor más ajustado de **n** y comparado con la relación d/Q (ordenadas) y Q^{n-1} (abscisas) buscando una relación proporcional (línea recta) observándose que cuando el valor de **n** es cercano a 3 se aproxima mejor a al proporcionalidad de la relación. Por lo tanto se considero un valor de **n**=3. Despejando el sistema de ecuaciones a partir de aplicar (**23**) a cada escalón del ensayo de bombeo en cada perforación se puede calcular los valores los valores de **A** y **B** según.

(28) $d_1=AQ_1+BQ_1^n$
$d_2=AQ_2+BQ_2^n$

o de una expresión más simple, a partir del sistema de ecuaciones empleado para estimar (**n**) dividiendo por Q las ecuaciones de (**26**) según:

(29) $d_1/Q_1 = A_1+BQ_1^{n-1}$
$d_2/Q_2 = A_2+BQ_2^{n-1}$

Que para n=3

(30) $d_1/Q_1 = A_1+BQ_1^2$
$d_2/Q_2 = A_2+BQ_2^2$

De esta forma asumiendo un valor por aproximación de **n** se puede calcular **A** y **B**. El primero (**A**) tiene relación con el descenso teórico de la perforación y depende de la evolución de niveles a través del tiempo, (ensayo a régimen variable) a través de la expresión de Jacob, (1940), . Dado que este estudio se realiza a régimen permanente, se considerará que **A** tiene puede un error significativo en las condiciones de este ensayo. El segundo (**B**) se relaciona con las pérdidas de carga totales de la perforación, que dependen del caudal de descarga. Por ello se han obtenido los siguientes valores para cada parámetro **A** y **B** (para n=3) calculados en cada escalón del ensayo a caudal variable promediados para reducir la dispersión de los resultados.

Perforación	Unidad Acuífera	A (h/m^2)	B(h^2/m^5)
Federación-1	Botucatú	0.048794	$4.1349.10^{-7}$
Concorida-1	Botucatú	0.08112	$5.9020.10^{-8}$
Colón-1	Solari	0.05818	$1.68.10^{-6}$

Tabla N° 39. Parámetros A y B calculados a partir de las perforaciones y su relación con el Sistema Acuífero Termal

El descenso teórico previsto y las perdidas de carga totales se calculan a través de las relaciones definidas a continuación:

(31) $d_{te} = A.Q$ (Descenso teórico)
(32) $P_c = B.Q^n$ (Pérdidas de carga totales)

Sobre la base de la aplicación de **(31)** y **(32)** se presentan los resultados en las siguientes tablas y han sido gráficos para mejor comprensión en los gráficos 19, 20 y 21.

Caudales de Ensayo (m3/h)	**Descensos Teóricos (m)**	**Perdidas de Carga totales (m)**	**Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)**
287.05	14.00	9.77	0.94
252.97	12.34	6.69	0.64
229.07	11.17	4.97	0.48
205.5	10.02	3.58	0.34
162.9	7.94	1.78	0.17
139.04	6.78	1.11	0.10
108.72	5.30	0.53	0.05
73.47	3.58	0.16	0.01
37.95	1.85	$2.25.10^{-2}$	0.002

Tabla. N°40. Descensos teóricos y Perdidas de carga totales calculadas para la perforación Federación-1

Caudales de Ensayo (m3/h)	Descensos Teóricos (m)	Perdidas de Carga totales (m)	Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)
522.12	42.35	8.40	0.81
473.5	38.41	6.26	0.60
432.57	35.09	4.77	0.46
381.02	30.90	3.26	0.31
323.8	26.26	2.00	0.19
266	21.57	1.11	0.10
212	17.19	0.56	0.05

Tabla. N°41. Descensos teóricos y Perdidas de carga totales calculadas para la perforación Concordia-1

Caudales de Ensayo (m3/h)	Descensos Teóricos (m)	Perdidas de Carga totales (m)	Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)
160	9.29	6.88	0.6
120	6.97	2.90	0.28
45	2.61	0.15	0.01

Tabla. N°42. Descensos teóricos y Perdidas de carga totales calculadas para la perforación Colón-1

Otro aspecto a considerar con fines comparativos, son las perdidas de carga relacionadas con la conducción. Estas pueden calcularse previamente ya que se relacionan con el tipo de material empleado para entubar y la rugosidad de la cañería. A tal fin se calculará a partir de la expresión de Hezen – Williams, por considerarse la más apropiada en cañerías de conducción (Custodio y llamas, 1983).

$$\textbf{(33)}\ J_t = (1.31.10^9\ (Q/C)^{1.852}\ L)/(D_{\varnothing})^{1.87}$$

Donde:

Jt: Perdidas de carga por conducción en metros
Q: caudal en m3/h
L.: Longitud del entubamiento en el tramo previsto en m
$D_{\varnothing}$: Diámetro de la cañería de conducción en mm
C: Coeficiente relacionado con la naturaleza del material de conducción

Debe tenerse en cuenta que las captaciones solo están parcialmente entubadas en tuberías de acero este calculo se presenta con el fin de comparar las perdidas teóricas previstas por la conducción en contraste con las perdidas de carga totales ya calculadas.

Para las perforaciones Federación –1 , Concordia-1 y Colón –1 se detalla la siguiente cuadro, de datos correspondiente al diámetro de la conducción entubada, longitud desde el recodo al techo del acuífero y la constante C que depende del material y es la misma en cada caso.

Las perforaciones Federación-1 y Colón-1 no poseen camisa en todo el tramo previsto, por lo que en estas captaciones este valor es solo indicativo de las perdidas de carga que se pusieron haber previsto.

Perforación	Diámetro entubado	Longitud del tramo	C (material)
Federación –1[1]	304.8mm	870	1.10^{-7}
Concordia-1[2]	304.8mm	966	1.10^{-7}
Colón-1[3]	304.8mm	715	1.10^{-7}

[1] *Tramo parcialmente entubada sobre la F. Serra Geral*
[2] *Tramo totalmente entubado sobre al F. Serra Geral*
[3] *Profundidad del principal nivel de aporte del Acuífero Solari, tramo parcialmente entubado*

Sobre la base de esta información, las perdidas previstas por la conducción se calcularon para cada escalón del ensayo a caudal variable efectuado en las perforaciones Feeraxción-1, concordia-1 y Colón-1, según la expresión (**33**). El resultado en metros y Kg/cm^{2}se detalla en las siguiente tabla:

Caudales de Ensayo (m3/h)	Perdidas de Carga totales (m)	Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)	Número de Reynolds
287.05	0.0999	0.00967	272889,81
252.97	0.079	0.00765	240490,98
229.07	0.0658	0.00637	217769,97
205.5	0.0538	0.00521	195362,68
162.9	0.035	0.00338	154864,14
139.04	0.0261	0.00252	132181,15
108.72	0.0165	0.0016	103356,84
73.47	0.00801	0.000775	69845,722
37.95	0.00235	0.000228	36077,925

Cuadro43. Perdidas de carga atribuibles a la conducción calculadas para la perforación Federación-1

Caudales de Ensayo (m3/h)	Perdidas de Carga totales (m)	Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)	Número de Reynolds
522.12	0.33	0.032	496363,8
473.5	0.28	0.0271	450142,23
432.57	0.23	0.0229	411231,3
381.02	0.18	0.0181	362224,27
323.8	0.13	0.013	307826,93
266	0.096	0.009	252878,21
212	0.063	0.00612	201542,03

Tabla.N°44. Perdidas de carga atribuibles a la conducción calculadas para la perforación Concordia-1

Caudales de Ensayo (m3/h)	Perdidas de Carga totales (m)	Perdidas de Carga totales (Kg/cm2)	Número de Reynolds
160	0.0278	0.00269	152107,19
120	0.0203	0.00196	128340,44
45	0.00265	0.000257	42780,148

Tabla. N°45. Perdidas de carga atribuibles a la conducción calculadas para la perforación Colón-1

Los valores obtenidos, previstos por perdidas en al conducción, son, al menos, dos ordenes de magnitud inferiores en caudales elevados, casi despreciables en caudales bajos comparados con las perdidas de carga totales. De este análisis se desprende que las perdidas de carga totales no se deben fundamentalmente a la conducción consecuente de la profundidad de los niveles acuíferos (HIDROSUD, 1986), sino a la falta de un adecuado diseño y elementos básicos en la construcción de captaciones (filtro, prefiltros, etc). La ausencia de los mismos genera los fenómenos de turbulencia que se suman a los ya previstos por el elevado Número de Reyolds de las captaciones. Este último es un indicador del grado de turbulencia o de laminaridad del flujo, para valores superiores a 4.10^3 se considera un flujo turbulento (Custodio y Llamas, 1983) en este caso toma valores del orden de 1.10^5 lo que confirma el régimen de descarga turbulento. Custodio y Llamas, (1983) proponen que puede calcularse la eficiencia de una captación a partir de la relación entre descensos totales y teóricos o considerando las perdidas de carga totales, se utilizará esta última por atender a un cálculo más detallado para cada escalón. Se expresará aquí un "rendimiento porcentual", relacionado con la eficiencia de las perforaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1 en las condiciones actuales de descarga. La relación entre las depresiones calculadas a partir de la presión de descarga y las pérdidas de carga total a un caudal determinado puede determinarse según:

$$(34)\ R\% = 100 - [(d/Pc)*100]$$

Donde :
R%: Rendimiento porcentual
d: Descensos o diferencia de presión de descarga (m)
Pc: Perdidas de carga totales, o por conducción (m)

Aplicando al expresión **(34)** se ha realizado el gráfico 22 que relaciona las perdidas de carga totales con los caudales de descarga en cada perforación, las perdidas por conducción se han despreciado ya que para caudales más elevados oscilan entre el 1-3% de las pérdida de carga totales. Los datos han sido volcados en el siguiente tabla:

Federación-1		Concordia-1		Colón-1	
R%	Caudal m3/h	R%	Caudal m3/h	R%	Caudal m3/h
47.39	287.05	80.40	522.12	48.76	160
56.78	252.97	84.64	473.5	71.89	120
65.60	229.07	87.50	432.57	97.03	45
71.03	205.5	90.42	381.02		
82.67	162.9	93.64	323.8		
86.54	139.04	96.22	266		
92.64	108.72	97.94	212		
96.82	73.47				
99.26	37.95				

Tabla. N°46.Rendimientos porcentuales o grado de eficiencia de las captaciones

La presión en los niveles productores o la presión a la profundidad del techo del acuífero puede ser calculada realizando un balance de energía o presiones en la perforación (a partir del Teorema de Bernoulli). La perdida de carga totales constituyen un trabajo no conservativo dentro de la perforación y se sustrae de las demás presiones según:

(35) Ph = Pd + H - Pc ; luego Ph (m)/10,33= Ph (Kg/cm^2)

Donde:
Ph: Altura de la columna a la profundidad del techo del acuífero (m)
Pd: Altura de descarga a un caudal determinado o Nivel dinámico(m)
H= Altura de la columna de agua en al perforación o profundidad hasta el techo del acuífero
Pc: Pérdidas de carga totales

El resultado final promediando el valor de **Ph** para cada escalón del ensayo caudal variable (dado que son muy similares), se presenta en al siguiente tabla:

Perforación	Unidad Acuífera	Ph (kg/cm^2)
Federación –1	Botucatú	87.57
Concordia-1	Botucatú	95.75
Colón-1[1]	Solari	69.34

[1] *A la profundidad del techo del principal nivel de aporte del Acuífero Solar*

Si un acuífero es confinado (y/o trabaja como tal) la curva teórica de la relación entre caudal y descensos de ser una línea recta que pasa por el origen, como se observa en las gráficos 15, 16 y 17, cuando se representan los descensos con el caudal específico de cada tramo, como se muestra en Gráficos 24, 25 y 26. La curva es una línea recta horizontal y paralela al eje de las abscisas (Custodio y llamas, 1983; Villanueva e Iglesias, 1984). Este caudal específico teórico, calculado a partir del descenso teórico, permite calcular la Transmisividad teórica aplicando al ecuación (**27**) con el siguiente resultado:

Perforación	Caudales Específicos teóricos en las Captaciones (m^3/h/m)	Transmisividades teóricas (m^2/día)
Federación-1	20,49	688.46
Concordia-1	12,32	413.95
Colón-1	17,09	574.22

Estas son teóricas, pero sus valores son muy cercanos a los calculados a partir de los descensos totales. El análisis de dichas curvas puede proporcionar información sobre el comportamiento hidráulico de las perforaciones, su relación con los parámetros hidráulicas del acuífero. Las curvas de los gráficos 15, 16 y 17 mantienen una proporcionalidad entre Caudales (**Q**) y descensos (**d**) que no evidencian haber llegado al punto critico, es decir aquel punto donde la curva comienza tener un comportamiento parabólico, a pequeñas variaciones de caudal le corresponden grandes descensos (Villanueva e Iglesias,1984). Debe recordarse que esta característica de la relación **Q** vs. **d** se deduce a partir de perforaciones con diseño completo (cañería, filtro, etc.) y sometida a bombeo, por lo que el cambio de régimen se atribuye a que se ha superado la velocidad crítica y caudal crítico. En el caso de las perforaciones de estudio Fedración-1, Concordia-1 y Colón-1 el diseño falta o es incompleto y el caudal es de descarga generado por la diferencia de presión de la capa acuífera y la atmosférica (surgencia). Los gráficos 24, 25 y 26, presentan curvas de descenso totales que pueden considerarse lineales, horizontales y paralelas al eje de las abscisas aunque se encuentra por debajo de la curva teórica calculada a partir de los caudales de bombeo y los descensos teóricos. Para Custodio y Llamas, (1983) y Villanueva e Iglesias, (1983), atribuyen esta característica a la respuesta de un acuífero con pérdidas de carga no lineales en el pozo, es decir que no se relacionan con las características hidráulicas del acuífero y por ello no son previsibles. Es una interpretación posible atribuir las perdidas de carga tales a perdidas de carga no lineales a la falta de un correcto diseño (cañería, filtro, prefiltro, etc) y el hecho de que la explotación de las captaciones es a "cielo abierto", esto explicaría la baja eficiencia y el elevado número de Reynolds a caudales de descarga elevados.

La perdidas de carga lineales son aquellas que se relacionan con el cambio de régimen en la perforación cuando se supera la velocidad o el caudal crítico en la misma sometida a bombeo. Considerando, como se observa a partir de los gráficos 15,16 y 17, que las captaciones están con caudales de descarga inferiores al caudal critico. Este puede estimarse cuando el acuífero posee permeabilidades inferiores a 3. 10^{-3} m/s según, Castany, (1971). Este autor propone que la velocidad máxima (v_{max}) depende de la permeabilidad de Darcy (**K**) según la expresión:

$$(36)\ V_{max} = (K)^{1/2} / 15$$

El valor de velocidad máxima (v_{max}) es entonces una variable característica del sistema acuífero. Si consideramos los valores de permeabilidad calculados en 5.3.2, tenemos dos valores de permeabilidad de Darcy en los Acuíferos Botucatú y Solari uno calculado a partir de la permeabilidad intrínseca (**K**) y también valores calculados a partir de la velocidad real y el gradiente hidráulico que permiten obtener la permeabilidad a 40°C aproximadamente (K_{43}). Con ellos puede calcularse el rango de velocidades máximas (v_{max}) posibles para cada caso y promediarse en cada unidad acuífera sin esperar errores importantes según:

Unidad	K_{43}(m/día) (Darcy)	Velocidad máxima (m/s)
Acuífero Botucatú	13.7	$8.34\ 10^{-4}$
Acuífero Solari	16.9	$9.32\ 10^{-4}$

A partir de la velocidad real

Unidad	K (m/día) (Fette, 1988;Davis, 1969)	Velocidad máxima (m/s)
Acuífero Botucatú	6.21	$5.65\ 10^{-4}$
Acuífero Solari	8.06	$6.43\ 10^{-4}$

A partir de la permeabilidad intergranular

Unidad	Velocidad máxima promedio (m/s)
Acuífero Botucatú	$6.99\ 10^{-4}$
Acuífero Solari	$7.78\ 10^{-4}$

Valores promedio

Como se observa la velocidad máxima (v_{max}) es al menos dos ordenes de magnitud superior a la velocidad real calculada para el Acuífero Botucatú en 5.2.8 o sea que cumple con $v_{max} >> v$ condición esperable en este caso.

Es posible, a partir de la velocidad máxima (v_{max}), calcular el caudal máximo (Q_{max}) en captaciones adecuadamente diseñadas y construidas. La expresión que los relaciona esta dada por:

$$(37)\ Q_{max} = 2\pi r_p H_p v_{max}\ (3600)$$

Donde:
Q_{max} : Caudal máximo (m^3/s)
$2\pi r_p$: Superficie periférica de entubado (m)
H_p: Altura de la columna de agua entre el techo del acuífero y el nivel dinámico (m)
v_{max}: Velocidad máxima (m/s)
3600: Conversión en horas

A pesar de no ser captaciones adecuadamente construidas, puede estimar se un valor de caudal máximo (Q_{max}) con fines orientativos considerando las siguientes restricciones:

- La superficie periférica corresponde al diámetro de perforación
- El pozo no posee derrumbes y las paredes del pozo son regulares
- Se considera como H_p la diferencia de altura desde el techo de la Formación o el niveles de aporte más potente hasta el nivel dinámico
- Se considera la velocidad máxima promedio para cada unidad acuífera

Considerando lo expuesto se ve fácilmente que el caudal máximo (Q_{max}) depende fundamentalmente del radio del pozo y la altura de columna de agua y en menor medida de la velocidad máxima (v_{max}) razón por la cual el diseño de captación y construcción de la misma es importante. Aún así puede estimarse el siguiente resultado:

Perforación	Radio de pozo en contacto con el acuífero (r_p) en m	Columna de agua (H_p) en m	Caudal máximo (m3/h)
Federación-1	0.0762	870	1049
Concordia-1	0.1016	966	1554
Colón-1	0.1524	715	1922

Tabla. N°47. Caudal máximo estimado en las perforaciones ensayadas

Si bien estos datos deben considerarse especulativos y aproximados es evidente que los caudales máximos previstos son superiores a los caudales de descarga medidos en las captaciones, las curvas de los gráficos 15, 16 y 17 lo evidencian ya que prácticamente no pierden la proporcionalidad entre caudales y descensos (**Q** vs. **d**). En función de lo expuesto, a priori, se concluye en las siguientes observaciones:

- A partir de los ensayos de bombeo escalonados bajo régimen permanente, nos permiten obtener a través del análisis hidráulico, suficiente argumento para atribuir un comportamiento, en el área de estudio, comparable al de un acuífero artesiano, confinado o cautivo. Esta afirmación es válida para los Acuíferos Botucatú y Solari, en suma para el Sistema Acuífero Termal en su conjunto.
- Las características de la ocurrencia en los pozos (surgencia) y la ausencia de piezómetros condicionó el tipo de ensayo hidráulico. Optándose, por realizar el estudio a régimen permanente. Esto limitó el cálculo de los parámetros hidráulicos del acuífero a la Transmisividad (**T**), Caudal específico (**Ce**) y obligó a suponer o asumir aquellos que, por las características del método, no pueden calcularse como el almacenamiento (**S**) y el radio de influencia (**R**)
- La transmisividad (**T**) de los acuíferos fue calculada a partir de las mediciones de campo, considerando los descensos totales con valores y a partir de los descensos teóricos calculados en cada perforación se calculó una transmisividad "teórica" ambas poseen pocas diferencias y pueden

considerarse para el Sistema Acuífero Termal valores que oscilan entre 300 -600 m2/día. Cercanos a los mencionados por Cattaneo, (1992) en las perforaciones uruguayas. Las transmisividad calculada en el resto de las perforaciones solo tiene un fin orientativo.

- Dada la imposibilidad de calcularlo o estimarlo se aceptará valido un valor de almacenamiento (S) de 1.10^{-4} (Custodio y Llamas, 1983; Villanueva e Iglesias, 1984) característico de los acuíferos confinados y coincidente con la apreciación de Cattaneo (1992) en las captaciones Uruguayas
- Las perdidas de carga totales, no son lineales y no se relacionan con un cambio de régimen a consecuencia de las propiedades hidráulicas de los Acuíferos Botucatú y Solari. Sino a consecuencia de problemas de diseño y/o construcción. Esto genera la elevada turbulencia que provoca las pérdidas de carga totales ya que las perdidas por conducción son despreciables frente a esta última.
- La eficiencia estimada o rendimiento porcentual de las captaciones disminuye con el aumento de caudal. Con los caudales de descarga máximos llega valores inferiores al 50% en Federación-1 y Colón-1. En Concordia –1 disminuye con menor pendiente y llega avalores del 80% posiblemente debido al uso de cañería en los primeros 1000 metros de la perforación.
- Los valores estimados de caudal crítico permiten suponer que las captaciones poseen caudales de descarga máximos que no alcanzan al caudal crítico. Por lo tanto, en las condiciones actuales, estas captaciones y los acuíferos que atraviesan no se encuentran "sobrexplotadas"; en función de esto último es teóricamente factible, con un adecuado diseño y construcción, su explotación a caudales más elevados (mediante bombeo) existiendo la tecnología adecuada

5.4. Hidroquímica del Sistema Acuífero Termal

5.4.1 Metodología, Toma de muestra, Control y Seguimiento

El desarrollo de metodologías específicas para el muestreo de recursos hídricos (en general) en el marco de planes de control y seguimiento ha sido objeto de considerable atención en los últimos años, (Nicolli y Gamba, 1979; Cardona, 1992; Fresina y Guarino, 1997; Fresina, Sánchez,, Silva, 1999). En este caso en particular las condiciones de ocurrencia del agua subterránea y la profundidad del Sistema Acuífero Termal condicionan no solo la toma de muestra, sino también el control y seguimiento de las perforaciones ya que son pocas las que explotan los acuíferos termales y su distribución en el área atiende a razones foráneas a este estudio. Sin embargo, es posible adaptar las técnicas tradicionales de muestreo, control y seguimiento para este caso específico considerando los aspectos que se detallan a continuación:

Criterios de muestreo

La selección de los sitios de donde se obtuvieron las muestras de agua subterránea se realizó sobre la base de los siguientes criterios:

- Disponibilidad de perforaciones profundas en el área de estudio
- Características de las obras de superficie
- Acceso a las perforaciones

Para ello se procedió a desarrollar las siguientes técnicas de toma de muestra para análisis químicos en las 10 perforaciones profundas del área de estudio (considerando las del Uruguay) Por ser las únicas disponibles fueron controlados a diferentes intervalos de tiempo diario, semanal, semestral y anual (como ya se explicó en 5.2.5) con la realización de aforos para medición de caudales, presiones de carga y descarga, conductividad, Ph y temperatura como complemento de las campañas anuales de toma de muestra que han tenido una frecuencia anual. Considerando los resultados de los seguimiento en boca de pozo se considero esta frecuencia como satisfactoria para

los objetivos de este estudio. La toma de muestra ha ido acompañando el alumbramiento en cada perforación profunda en los últimos cinco (5) años, por esta razón no todas poseen la misma disponibilidad de información.

. Las características de las obras de superficie han afectado fundamentalmente a las técnicas de muestreo, en algunos caso, impidiendo su ejecución. Se considera de todas formas que el muestreo en superficie es suficientemente representativo y cumple con los objetivos propuestos en este estudio, que busca caracterizar hidroquimicamente el Sistema Acuífero Termal y orientar futuros estudios hidroquímicos más detallados, donde la aplicación minuciosa de estas técnicas es indispensables.

Las perforaciones de YPF y INGM no tienen posibilidad de acceso y debido recurrirse a los informes de obra o publicaciones cuyas observaciones sobre la hidroquímica son esporádicas. La información: recopilada de la bibliografía existente vinculada a la hidroquímica del área de estudio ha sido escasa en general, dado que no existían perforaciones previas en el sector Argentino con el objeto de estudiar o explotar el Sistema Acuífero Termal. De las perforaciones Uruguayas se pudo obtener información de los estudios realizados por el TAHAL, 1986 e HIDROSUD, 1988. Aunque fragmentaria y escasa, fue de utilidad durante la toma de muestra. En los acuíferos subyacentes al Sistema Acuífero Termal (Sección Suprabasaltica) se han realizado pozos de estudio a partir de los cuales se tomo muestras para análisis químicos con el objeto de caracterizar el marco hidrogeológico regional y verificar si existe o no relación entre la hidroquímica de estos con los de la Sección Infrabasaltica

Técnicas de Muestreo

.El Sistema Acuífero Termal en la región presenta límites definidos, con diferencias de presión en las captaciones y velocidad de circulación de sus aguas en profundidad que permiten considerar a las perforaciones suficientemente representativas, aunque para la construcción de la cartografía temática se las considere como datos puntuales.

La calidad en el muestreo se extremó para hacer posible la obtención de información confiable que represente la hidroquímica del Sistema Acuífero Termal en su conjunto. Esta exigencia responde a dos razones fundamentales:

- En el análisis de la composición química del agua subterránea, se deben tomar todas las precauciones que sean necesarias para mantener las características químicas inalteradas.
- Los programas de computación empleados para realizar cálculos químicos demandan la entrada de datos de la mejor calidad posible.

Conociendo los cambios que pueden sufrir los diferentes componentes y parámetros del agua subterránea muestreada, las técnicas empleadas para evitarlos fueron:

- Las muestras de agua se almacenaron en botellas de polietileno, (una de 1 litro y dos de 250 ml por cada punto), debido a que estos envases son livianos, resistentes y razonablemente inertes (2). Se usaron tapas y contratapas también de polietileno.
- Durante el muestreo se tuvieron en cuenta los tipos de análisis que se practicarían sobre cada muestra, con el objeto de tomar las medidas de preservación de las especies disueltas. En particular se atendieron procedimientos específicos para posibles especies minoritarias. similares a los métodos que se emplean en el muestreo de contaminantes en agua subterránea
- - En las oportunidades en que fue posible, las muestras de agua se tomaron con una celda de aislamiento de flujo continuo, que evita el flujo turbulento con la consecuente disolución o escape de gases. Dicha celda es ideal para obtener las mediciones de temperatura, conductividad eléctrica y pH, lo más cercanos posible a los valores prevalecientes dentro de sus reservorios naturales. Dentro de la celda la interacción del agua con la atmósfera es mínima y, por lo tanto,

la oportunidad de escape e intercambio de gas, que activaría el flujo a baja velocidad, es casi nula. En esta celda se colocaron los electrodos de medición y las soluciones de calibración para igualar su temperatura a la del agua muestreada. Esto se logra después de aproximadamente 10 minutos de circulación del agua por dicho recipiente. Las botellas se llenaron impidiendo al máximo la aireación y la agitación del agua, eliminando por completo la presencia de burbujas de aire. No siempre las instalaciones de superficie permitieron la utilización de la celda debiendo tomarse las muestras directamente de la cañería de impulsión, aunque los resultados no difieren significativamente.

- Se utilizó una botella de 1000 cm^3 para el análisis de especies iónicas mayoritarias que incluye Cloruros(Cl^-), Sulfatos ($SO_4^=$), Bicarbonatos (HCO_3^-), Calcio (Ca^{2+}), magnesio(Mg^{2+}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+) y Sílice (SiO_2) y las determinaciones complementarias d Dureza, Conductividad y Sales totales o Residuo Seco. Las muestras se almacenaron en un lugar frío (a 4°C) y oscuro para minimizar las reacciones químicas y biológicas que pudiesen alterar la composición original del agua muestreada (Cardona, 1992).
- Las muestras de agua para análisis de especies minoritarias que incluye Arsénico (As^{3+}), Flúor (F^-), Hierro (Fe^{3+}), Manganeso (Mn^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Cinc(Zn^{2+}), Plomo (Pb^{2+}), Cromo (Cr^{3+}) y Mercurio (Hg^{2+}), se filtraron y acidificaron con 1 ml de HNO3 por litro de agua (Nicolli y Gamba, 1979; Cardona, 1992; Fresina y Guarino, 1997)

Variables de muestreo y materiales

En algunos casos se ha medido las Dureza y las concentraciones de nitratos, nitritos y sulfuros, también han sido medidas en el campo mediante el empleo de bandas reactivas. como verificación de la conservación de la muestra en laboratorio. La metodología anteriormente desarrollada se aplicó en la región utilizando los siguientes materiales:

-Conductivímetro, auto rango (µS/cm), con precisión 0,1 µs/cm máxima.
-Peachímetro , auto rango con precisión 0,01 máxima.
- Bandas reactivas Merck
-Celda de aislación.

5.4.2 Características generales de las aguas

La composición química de las aguas del Sistema Acuífero Termal, al igual que los acuíferos más someros, soporta una serie de variaciones y modificaciones en función de las características hidrogeológicas de las unidades continentes en profundidad y los factores climáticos a los que han estado expuestas estas unidades en el área de recarga. A lo largo de la trayectoria del flujo el agua subterránea, esta modifica su composición química debido a las variaciones físicas y químicas del medio, que obligan a mantener el equilibrio termodinámico entre las composición del agua y los minerales constitutivos de las rocas que contienen el acuífero. Por lo tanto, se considera qué la composición hidroquímica de las aguas contenidas en los acuíferos es consecuente de las características y magnitud de las variables citadas.

Las captaciones del Uruguay, más antiguas, han tenido un seguimiento químico, que no ha sido lo suficientemente regular y periódico para una interpretación amplia de la hidroquímica de estas unidades y los estudios en áreas de recarga son recientes (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998). En este apartado se pretende solamente realizar una primera aproximación al estudio hidroquímicos del Sistema Acuífero Termal, cuya representatividad quedará limitada a las características de las perforaciones, de la misma forma que los demás aspectos tratados en el capítulo 5. La base de datos generada debe considerarse como el punto de partida de futuros trabajos con mayor grado de detalle.

La calidad química de las aguas en las captaciones Arapey y Daymán citada como apta para consumo humano con una concentración salina total entre 250 – 800 mg/dm^3 (TAHAL, 1986;HIDROSUD, 1988) haciendo referencia a la recopilación de análisis químicos en el momento del

alumbramiento del recurso. La composición química de las aguas obtenida en la perforación Guaviyú posee un mayor número de determinaciones y se incluyó en la tabla 48. En la perforación Almirón, (op.cit.) se detalla valores por capas que corresponden a niveles de aporte poco potentes en las unidades Formación Yaguarí y San Gregorio ausentes del registro del subsuelo argentino. Se ha discutido ya que la Formación Yaguarí o términos formacionales correlacionables se consideran acuitardos y constituyen el basamento hidrogeológico de la zona de estudio, aunque en Almirón posee un caudal surgente de 6,7 m^3/h muy inferior a los Acuíferos Botucatú y Solari. Solo como dato complementario se citará aquí los intervalos ensayados en Almirón :

Profundidad m.b.b.p..	Sales Totales ppm	Dureza ppm ($CaCO_3$)	Cl^- ppm	$SO4^=$ ppm
504-519	4374	254	2309	1029
774-806	12940	1072	10862	1032
891-906	15384	1393	12876	1237

Debe considerarse que estos intervalos no poseen aislamiento y debe considerarse posible el aporte del Acuífero Solari, (por encima de los 500 m.b.b.p..). El contenido de sales totales aumenta en los niveles de la Formación San Gregorio de exiguos caudales (menos de 1 m3/h).

Cattaneo et.al., (1992) aporta una caracterización química en las perforación Daymán asignándola al "Acuífero Tacuarembó", es decir al Sistema Acuífero Termal, pero no realiza interpretación sobre las mismas.

Montaño Xavier y Collazo Caraballo, (1998) realizan con la información disponible una caracterización Hidroquímica de las aguas contenidas por el Acuífero Guaraní. Se consideró el área aflorante y confinada del acuífero. La sección confinada se correlaciona (aunque no exactamente) con el Sistema Acuífero Termal, la región aflorante o Acuífero Guaraní incluye además niveles (acuitardos) contenidos en formaciones de edad Paleozoica (ver 5.1.1). En el área aflorante las aguas contenidas por las Formaciones Botucatú (Rivera) y Piramboiá (Tacuarembó) se clasifican como cloruradas cálcias y bicarbonatadas cálcicas, la concentración de Calcio supera la de Sodio consecuente de la cementación de las unidades en afloramiento. En el área confinada las aguas contenidas por las Formaciones Botucatú y Piramboiá (incluye Buena Vista y Yaguarí) se clasifican como bicarbonatadas sódicas y cloruradas sódicas para las aguas contenidas en las formaciones San Gregorio y Tres Islas. (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998)

Silva Busso, (1997) realiza una clasificación hidroquímica preliminar (sobre la base de las primeras muestras) de las aguas contenidas en el Acuífero Botucatú y Solari en las muestras tomadas en las captaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1. Las mismas se clasifican como bicarbonatadas (sulfatadas) sódicas (con tendencia al tipo magnesiano) a cloruro (sulfatadas) sódicas. El contenido de sulfatos, pocas veces determinados en las captaciones del Uruguay, es en estos casos sensiblemente superior. Los puntos de muestreo de este estudio, han sido las perforaciones del área de estudio (en Argentina y Uruguay), que atraviesan al Sistema Acuífero Termal. Se ha incluido también, donde ha sido posible, puntos de muestreo en captaciones de los acuíferos de la Sección Suprabasaltica (ver 5.1.3) con el objeto de comparar las características hidroquímicas de los mismos con el Sistema Acuífero Termal. El resultado de los análisis químicos efectuados se presenta en la tabla de datos de química en el ANEXO II, confeccionada a partir de la base de datos creada para tal fin.

Se realizo el Balance porcentual de especies iónicas (Freeze y Cherry, 1979) de acuerdo a la expresión

$$\mathbf{(38)\ B\% = \{(\Sigma cat - \Sigma an) / (\Sigma cat + \Sigma an)\}*100}$$

Donde:

B%: Balance porcentual

Σcat: Sumatoria de la concentración de cationes

Σan: Sumatoria de la concentración de aniones

Los valores elevados corresponden a muestras donde falta la determinación de especies iónicas mayoritarias, en aquellos casos donde se consideró elevada la diferencia se repitió el análisis. El error total de todo el Balance (excluyendo las muestras con cationes ausentes) es de un 6%, del muestreo en las perforaciones es de un 4,7% valores que pueden considerándose aceptables (Custodio y Llamas, 1983).

Se denomina especies iónicas mayoritarias a aquellas que poseen una concertación superior a 5mg/dm^3, minoritarias entre 0,01 y 5 mg/dm^3 y trazas aquellas con menos de 0,01mg/dm^3 (Frezze y Cherry, 1979;Custodio y Llamas, 1983).

La composición media de las especies mayoritarias (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, $HCO3^-$, $SO4^=$, Cl^-) incluyendo pH y conductividad, obtenida en las aguas subterráneas de las perforaciones del Sistema Acuífero Termal (ver Tabla N°49), con suficiente frecuencia de muestreo, es una referencia de valor para futuras prospecciones en el área de estudio. Las mismas se detallan según:

Federación-1(mg/dm^3)

	Min	Máx	Promedio	St. Dev.
K^+	1,29	8,2	3,597	3,987
Mg^{2+}	3	27	11,867	13,17
Ca^{2+}	13	25,7	17,233	7,332
Na^+	120	200	149	44,306
Cl^-	32,4	76	48,6	23,86
$SO4^=$	30,9	86	55,633	27,979
$HCO3^-$	190	360,1	256,033	91,205
pH	7,88	7,9	7,893	0,011
Cond	640	1114	798	273,664

Concordia-1 *(mg/dm^3)*

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	1,2	4,7	3,133	1,779
Mg^{2+}	1	2,8	1,667	0,987
Ca^{2+}	8,7	15	11,2	3,345
Na^+	118	130	123,667	6,028
Cl^-	32,5	57,6	42,033	13,594
$SO4^=$	16	34,5	25,633	9,274
$HCO3^-$	191,2	260	235,733	38,619
pH	7,6	8,8	8,4	0,693
Cond	499	720	603,667	110,961

Colón-1 (mg/dm^3)

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	2	3,9	3	0,942
Mg^{2+}	0,5	6	2,875	2,594
Ca^{2+}	3	6,6	4,4	1,541
Na^+	266	312	294,5	21,44
Cl^-	120,7	136	129,175	6,371
$SO4^=$	64	159	103,525	43,218
$HCO3^-$	301	316	305,25	7,182
pH	8,4	8,77	8,587	0,185
Cond	1236	1549	1362,75	133,762

Villa Elisa-1 (mg/dm^3)

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	19	38	28,5	13,435
Mg^{2+}	1	55	28	38,184

Ca^{2+}	224	302	263	55,154
Na^{+}	4835	5120	4977,5	201,523
Cl^{-}	4948	5440	5194	347,897
$SO4^{=}$	4080	4213	4146,5	94,04
$HCO3^{-}$	89,3	95	92,15	4,03
pH	7,9	7,9	7,9	0
Cond	20086	21500,0	20793	999,855

Arapey (mg/dm³)

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^{+}	1,22	8	5,573	3,778
Mg^{2+}	9,1	27	15,367	10,085
Ca^{2+}	16	26,3	19,767	5,68
Na^{+}	71	121	89,667	27,301
Cl^{-}	14,7	36,5	22,533	12,125
$SO4^{=}$	9,5	25,9	16,133	8,637
$HCO3^{-}$	195	350	250	86,747
pH	7,8	8,19	7,995	0,276
Cond	533	680	583	84,018

Daymán (mg/dm³)

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^{+}	1,25	5,85	3,835	1,529
Mg^{2+}	1,2	10	3,877	3,196
Ca^{2+}	2	21	12,02	8,139
Na^{+}	72	215	143,067	50,597
Cl^{-}	20	140	51,486	40,679
$SO4^{=}$	31,4	140	68,1	48,787
$HCO3^{-}$	230	359,9	274,543	44,598
pH	7,5	8,39	7,791	0,291
Cond	720	759	729,5	16,146

Guaviraví (mg/dm³)

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^{+}	3,3	8,2	5,75	3,465
Mg^{2+}	0,5	6,72	2,807	3,407
Ca^{2+}	1,2	29,1	11,4	15,388
Na^{+}	245	290,7	267,85	32,315
Cl^{-}	40	88,1	69,7	25,965
$SO4^{=}$	70	124	93,667	27,61
$HCO3^{-}$	348	549	435,667	102,929
pH	7,3	9	8,067	0,862
Cond	1133	1143	1138	7,071

Estos parámetros pueden considerarse para la composición media de las aguas de las perforaciones. Las perforaciones Gualeguaychú-1, Concepción del Uruguay-1 y Nicanor son recientes y se considerará los análisis presentados en al Tabla N°49, al igual que los correspondientes a la Sección Suprabasaltica.

De importancia en la elaboración del Hidrogeológico (7.2.14) es la concentración media de las aguas del Sistema Acuífero Termal determinada sobre la base del periodo de muestreo 1995-99. Se ha calcualdo el promedio aritmétrico y geométrico y casi no esiste diferencia entre ambos.

Los promedios aritmétricos se presentan a continuación sin discriminar unidades acuíferas consideradas en este estudio:

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	0	38	7,353	9,341
Mg^{2+}	0,5	55	9,692	13,607
Ca^{2+}	1,2	366	57,477	105,815
Na^+	71	5120	851,322	1570,795
Cl^-	14,2	5733	798,237	1802,015
$SO4^=$	9,5	4213	516,633	1159,133
$HCO3^-$	36	704	269,913	134,15
SIO2	9,6	111	57,633	39,833
pH	7,3	9	8,07	0,482
Cond	499	21500	3846,893	6845,473

La dispersión de los datos de composición química media de las aguas del Sistema Acuífero Termal es elevada (ver la desviación estándar); en comparación a la dispersión de la composición química media en cada perforación. Las muestras realizadas permiten observar que los valores de conductividad o sales totales, pueden dividirse en dos grupos, aquellas con índices menores a 2000 µS/cm y las mayores a 10000 µS/cm. Las aguas del Sistema Acuífero Termal no presentan valores intermedios (entre 2000-10000 µS/cm).

Si se realiza una correlación lineal entre las especies mayoritarias del conjunto total de las muestras se observan, altos índices de correlación. Los valores de r comprendidos entre 0,95- 0,75 pueden considerarse consecuentes de un alto grado de correlación entre especies iónicas y se consideran como significativos para las regiones de llanura en la Cuenca Chacoparanense Occidental (Nicoli et al., 1985). El resultado de la correlación entre las especies iónicas mayoritarias es el siguiente:

	Cond	**Na^+**	**K^+**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**Cl^-**	**$SO4^=$**	**$HCO3^-$**	**SIO2**
Cond	1	0,994	0,937	0,962	0,636	0,993	0,905	-0,222	-0,538
Na^+		1	0,933	0,949	0,656	0,99	0,926	-0,227	-0,541
K^+			1	0,883	0,766	0,939	0,83	-0,185	-0,524
Ca^{2+}				1	0,625	0,977	0,795	-0,155	-0,474
Mg^{2+}					1	0,67	0,501	$-4{,}20.10^{-2}$	-0,516
Cl^-						1	0,872	-0,187	-0,521
$SO4^=$							1	-0,456	-0,509
$HCO3^-$								1	$8{,}10.10^{-2}$
SIO2									1

Como puede observarse la correlación es significativa en las especies mayoritarias K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, $SO4^=$, Cl^- Los $HCO3^-$ y la SiO_2 poseen valores negativos lo que demuestra que la correlación con el resto de las especies iónicas del Sistema Acuífero Termal , no es significativa y su variación puede no relacionarse con las anteriores. En el caso de los $HCO3^-$ una explicación posible es la evolución y diferenciación de las especies iónicas de las aguas, en la dirección del flujo (descarga), un enriquecimiento relativo de Cl^- atendiendo al modelo de evolución regional o diferenciación hidroquímica del agua subterránea en la dirección de flujo o hacia la descarga (Schöeller, 1962;Custodio y Llamas, 1983). Donde se verifica que en la dirección de flujo regional desde las áreas de recarga hacia la descarga tenemos:

$Ca^{2+} \rightarrow Mg^{2+} \rightarrow Na^+$

$HCO3^- \rightarrow SO4^= \rightarrow Cl^-$

El SiO_2 se tratara específicamente en el apartado 5.4.6. El significativo grado de correlación de las especies iónicas permite proponer que en términos generales que los acuíferos constituyentes del Sistema Acuífero Termal posee una hidroquímica significativamente relacionada.

Para comparar el grado de similitud entre las muestras se ha realizado una regresión lineal considerando siete (7) especies iónicas mayoritarias (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, $HCO3^-$, $SO4^=$, Cl^-) utilizando un algoritmo basado en la siguiente expresión:

$$(39)\ d_{ij} = \sum^{n}_{k-1} (x_{jk} - x_{ik}) / n$$

Donde:
d_{ij}: Distancia Euclidiana, a partir de ella se calcula el coeficiente de correlación
x_{jk} : Especie iónica de una primera muestra (i)
x_{ik}: Especie iónica de una segunda muestra (j)
n: Número de muestras

El coeficiente de correlación se relaciona con la tasa de acumulación sobre la base de las distancias euclidianas calculadas, este coeficiente cuanto más cercano a 1 más similares son las muestras entre sí el resultado. Sobre la base de la totalidad de las muestras se presenta según:

Perforación	Muestra-Registro	Coef de Cor.	Puntos de correlación
Colon	1	0,965	7
Va. Elisa	2	0,351	7
Concep. Urg.	3	0,471	7
Guaviyú	4	0,954	5
Daymán	5	1	2
Daymán	6	0,93	7
Guaviyú	7	0,945	7
Dayman	8	0,816	5
Colon	9	0,989	7
Dayman	12	0,919	6
Arapey	13	0,849	7
Concordia	14	0,915	7
Guaviraví	15	0,865	5
Dayman	19	0,966	7
Colon	20	0,989	7
Concordia	21	0,921	7
Federación	22	0,982	7
Gualeguaychú	23	0,344	7
Dayman	24	0,953	7
Arapey	25	0,846	7
Guaviyú	26	0,955	7
Nicanor	27	0,985	7
Federación	38	0,962	7
Arapey	39	0,857	7
Dayman	40	0,89	7
Federación	41	0,855	7
Concordia	42	0,981	7
Almirón	44	0,205	6
Colon	45	1	7
Va. Elisa	46	0,34	7

Algunas muestran no poseen las siete (7) especies iónicas mayoritarias, sin embargo su coeficiente de correlación es alto, nótese que las muestras que presentan un coeficiente de correlación bajo (<0.5) comparan las siete (7) especies iónicas mayoritarias y corresponden las muestras de las perforaciones con conductividad superiores a 10000 µS/cm.

Si se considera válida esta escisión la dispersión de los guarismos de las composiciones químicas medias se reducen significativamente. Los valores de composición química media para las muestras con una conductividad <2000 µS/cm puede verse en la siguiente tabla:

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	1,2	8,2	3,983	2,325
Mg^{2+}	0,5	27	6,295	7,654
Ca^{2+}	1,2	40	13,235	10,007
Na^+	71	312	172,914	79,815
Cl^-	14,2	140	60,644	41,358
$SO4^=$	9,5	159	59,936	43,16
$HCO3^-$	190	549	285,164	81,31
SIO2	12	111	68,889	39,637
pH	7,3	9	8,117	0,503
Cond	499	1549	847,261	300,696

Tabla N°50. Composición Química Media en las muestras con Conductividad < 2000µS/cm

Esta tabla representa la composición química media de las especies iónicas mayoritarias en las captaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1, Guaviraví-1 (tentativamente), Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor. comprendiendo una extensa región definida en el Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal (7.2.14). aproximadamente circunscripta entre los afloramientos de la Formación Botucatú al norte y oeste, el Río Gualeguaychú y el Paralelo 58°30' al este, y el Río Negro (Urg.) y el Río Gualeguaychú al sur. Esta región corresponde a la que se denominará Zona Hidroquímica I. (ZHI)

Los valores de composición química media para las muestras de las perforaciones con una conductividad >10000 µS/cm puede resumirse en la siguiente tabla:

	Min	Max	Promedio	St. Dev.
K^+	0	38	22,18	14,197
Mg^{2+}	1	55	26	23,609
Ca^{2+}	88,2	366	260,992	109,545
Na^+	1290	5120	3836,32	1528,253
Cl^-	1380	5733	4486,2	1769,388
$SO4^=$	705,5	4213	2526,1	1590,269
$HCO3^-$	36	704	193,66	286,499
SIO2	9,6	34	23,867	12,714
pH	7,3	8,11	7,852	0,322
Cond	8900	21500	17645,2	5107,069

Tabla N°51. Composición Química Media en las muestras con Conductividad > 10000µS/cm

Se ha decidió incluir a las muestras provenientes de la perforación Almirón (fuera del área de estudio, con 8900µS/cm de conductividad) que aunque sensiblemente menor, es importante considerarla, por hallarse en la zona de borde de la cuenca acuífera en el sector uruguayo, porque atraviesa la Formación Serra Geral que contienen Argentina al Acuífero Solari. Aunque es probable también que los niveles de aporte se relacionen con pequeñas intercalaciones de arenas en la Formación Yaguarí y/o los Sedimentos Paleozoicos, que suelen comportarse como acuítardos. En el Area de estudio la tabla 51 representa la composición química media de las especies iónicas mayoritarias en las captaciones Villa Elisa -1, Concepción del Uruguay-1 y Gualeguaychú-1 comprendiendo una región definida en el Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal (7.2.14). aproximadamente circunscripta entre los afloramientos de la Formación Serra Geral al norte y noroeste, el Río Gualeguay y Feliciano, o el Paralelo 59° en Entre Ríos al oeste y noroeste, el Sistema deltaico del Paraná al sur, y hacia el este el Río Gualeguaychú y el Paralelo 58°30'. Comprendiendo así

el borde occidental del Sistema Acuífero Termal. Esta región corresponde a la que se denominará Zona Hidroquímica II. (ZHII)

Como se ha expresado previamente (5.2 y 5.3) el Sistema Acuífero Termal se constituye del Acuífero Botucatú y el Acuífero Solari. Este criterio es un concepto hidroestratigráfico, que puede tener base en las condiciones petrofiscas o hidráulicas (ver 5.3) que diferencian sensiblemente estas unidades. Sin embargo, ambos acuíferos comparten un área de recarga, una litología, condiciones estructurales y una ocurrencia en común. Las similitudes a la luz de estos factores, condiciona la composición química e hidroquímica del agua por ellos contenida de forma similar explicando la el elevado grado de correlación entre las muestras provenientes de perforaciones que atraviesan al Acuífero Botucatú aislando la sección interbasáltica, como Concordia-1, y aquellas que atraviesa solo el Acuífero Solari, como Colón-1. Por otro lado considerando lo expuesto en 5.2.6, solo Concordia-1 aísla la secciones acuíferas interbasálticas y en Colón-1 la Formación Botucatú está ausente del registro, el resto de las perforaciones incluyen ambos acuíferos, por lo tanto, las muestras deben considerarse más representativas del Sistema Acuífero Termal. Las implicancias de esta afirmación se discutirán en el apartado 5.4.5., en lo sucesivo para el tratamiento de las especies iónicas mayoritarias se analizarán separadamente las muestras con valores de conductividad inferiores a 2000µS/cm o Zona Hidroquímica I y las que superan los 10000 µS/cm o Zona Hidroquímica II (incluyendo la perforación Almirón)

5.4.3 Especies Catiónicas Mayoritarias

Las especies catiónicas mayoritarias del Sistema Acuífero Termal en conjunto, presentan una distribución bimodal que favoreció la interpretación sobre la base de dos zonas Hidroquímicas bien diferenciadas (Zona I y II) propuesta previamente.

La distribución para los cationes alcalinos (grupo Ia) se observa en el gráfico 33 y presenta una tendencia bimodal, donde la variación de la frecuencia se relaciona con la menor intensidad de muestreo (dado que las perforaciones correspondientes han sido las más recientes). El gráfico 34 presenta una tendencia similar para los cationes mayoritarios del grupo IIa, (Ca^{2+} y Mg^{2+}) aunque en el caso del Mg^{2+} parece menos diferenciada. Los rangos de oscilación de las especies iónicas no son suficientes para definir claramente las zonas hidroquímicas.

Para definir mejor las Zonas Hidroquímicas propuestas, se ha considerado conveniente calcular las relaciones de concentración de cationes mayoritarios con el objeto de caracterizar la hidroquímica del Sistema Acuífero Termal. Las relaciones de concentración propuestas aquí, son de frecuente uso en estudios hidrogeoquímicos (Custodio llamas, 1983) que pueden guardar relación con la litología que atraviesan u otros factores modificadores. Las relaciones son las siguientes:

Mg^{2+}/Ca^{2+}

K^{+}/Na^{+}

Na^{+}/Ca^{2+}

$Na^{+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$

Zona Hidroquímica I (Conductividad<2000µS/cm)

Posee valores de Na^{+} que oscilan entre 71 – 312 mg/dm^3 , de K^{+} entre 5 – 9 mg/dm^3, de Ca^{2+} entre 1,2 – 77 mg/dm^3 y de Mg^{2+} entre 0.5 – 10 mg/dm^3. La correlación lineal efectuada entre las concentraciones de Na^{+} y Ca^{2+} evidencian una relación inversa de las concentraciones (gráfico 35), Este enriquecimiento en Na^{+} a expensas del Ca^{2+} indica un cierto grado de diferenciación de las aguas del Sistema Acuífero Termal. La correlación entre Na^{+} y Mg^{2+} (gráfico 36) muestra igual tendencia a una relación inversa de concentraciones. Solo las concentraciones de $Mg2^{+}$ y Ca^{2+} (gráfico 37) muestran una correlación directa. Se observa que el aumento de Na^{+} y disminución de Ca^{2+} y Mg^{2+} es progresivo hacia las perforaciones del Oeste-Suroeste, es decir las del Sector Argentino. Esta característica se verifica en la distribución y gradiente de estas especies iónicas en los mapas de isoconcentración respectivos (ver 7.2.7 al 7.2.13).

Los valores medios de las relaciones de concentración entre cationes se presentan a continuación:

Relación	Promedio
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.550
K^{+}/Na^{+}	0.029
Na^{+}/Ca^{2+}	33.88
$Na^{+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$	23.11

La relación Mg^{2+}/Ca^{2+} varia frecuentemente entre 0,3 y 1,5, valores cercanos a 1 indican contacto con litologías dolomíticas y valores superiores indicarían relación con silicatos magnésicos típicos de basaltos o gabros (Custodio y Llamas, 1983) si se considera que no ha habido precipitación de $HCO3^{=}$ los elevados valores de esta relación pueden atribuirse al aporte consecuente de la infiltración en las litologías de composición basáltica (Formación Serra Geral) ampliamente extendidas y nivel confinante del Sistema Acuífero Termal y en particular continente del Acuífero Solari. El gráfico 38 muestra la correlación entre los cocientes Mg^{2+}/Ca^{2} y K^{+}/Na^{+} observándose que los valores elevados de Mg^{2+}/Ca^{2} se encuentran en las captaciones Arapey y Colón, esta última solo atraviesa el Acuífero Solari y la Perforación de Concordia cuyas aguas provienen exclusivamente del Acuífero Botucatú presenta valores inferiores (0,11-0,18). La dispersión se produce porque en general las muestras, son una mezcla de las aguas de estos niveles acuíferos que aportan en mayor o menor proporción. Es posible, entonces considerar un probable aporte por infiltración de la Formación Serra Geral. En el mismo gráfico 38 el cociente Mg^{2+}/Ca^{2} disminuye a expensas del aumento de el cociente K^{+}/Na^{+} hacia el oeste-suroeste en clara concordancia con los mapas de isoconcentración respectivos (ver 7.2.7 al 7.2.13). En litologías volcánicas Custodio, (1974) ha determinado que al relación K^{+}/Na^{+} decrece cuando aumenta la conductividad (relación inversa). Esta relación para esta zona del Sistema Acuífero Termal se verifica en el gráfico 40 como otro criterio hidroquímicos para suponer la participación de la Formación Serra Geral en la infiltración y recarga del Sistema Acuífero Termal.

El gráfico 39 muestra la evolución y variación del cociente $Na^{+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$ en función de la dirección Este Oeste. El margen derecho corresponde a las perforaciones cercanas a la zona de recarga (Uruguay) y el margen izquierdo a las perforaciones del sector argentino, el aumento del cociente $Na^{+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$ en dirección Este-Oeste es una mediada del enriquecimiento en Na^{+} a expensas de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} (grupo IIa) por diferenciación de la composición del agua en al dirección del flujo (descarga).

Zona Hidroquímica II (Conductividad>10000µS/cm)

Esta zona posee una menor densidad de muestreo, sin embargo para su caracterización se considerará que los valores de Na^{+} oscilan entre 1290 – 5120 mg/dm^3, de K^{+} entre 15 – 40 mg/dm^3, de Ca^{2+} entre 88 – 366 mg/dm^3 y de Mg^{2+} entre 2.4 – 55 mg/dm^3. La correlación lineal efectuada entre las concentraciones de Na^{+} y Ca^{2+} evidencian una relación directa de las concentraciones (gráfico 41), Este enriquecimiento simultaneo de Na^{+} y Ca^{2+} indica un cambio hidroquímicos abrupto en la composición de las aguas del Sistema Acuífero Termal, que también tiene traducción regional con un elevado gradiente hidroquímicos como es visible en los mapas de Isoconcentración respectivos (ver 7.2.7 al 7.2.13). La correlación entre Na^{+} y Mg^{2+} por un lado y $Mg2^{+}$ y Ca^{2+} por otro (gráficos 42 y 43) muestra igual tendencia a una relación directa de concentraciones. Se observa que el aumento de Na^{+}, Ca^{2+} y Mg^{2+} es progresivo hacia las perforaciones del Oeste-Suroeste, es decir las ubicadas en al provincia de Entre Ríos. Esta característica se verifica en la distribución y gradiente de estas especies iónicas en los mapas de Isoconcentración respectivos (ver 7.2.7 al 7.2.13) y debe considerarse que la perforación Nogoyá ERN-1x (YPF, 1962) informa valores de concentración salina de 7900mg/dm^3.

Debido al reducido volumen de muestreo la siguiente relación debe considerarse solo de forma orientativa. Se presentan en el cuadro siguiente los valores medios de las relaciones de concentración entre cationes :

Relación	Promedio
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.097
K^{+}/Na^{+}	0.006
Na^{+}/Ca^{2+}	37.55
$Na^{+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$	13.92

La relación Mg^{2+}/Ca^{2+} varia frecuentemente entre 0,3 y 1 indican contacto con litologías clasticas en general (Custodio y Llamas, 1983) si se considera que no ha habido precipitación de $HCO3^{=}$ los bajos valores de esta relación no pueden atribuirse al aporte consecuente de las litologías de composición basáltica (Formación Serra Geral) como en el caso anterior. Otra explicación posible, es suponer que las aguas han recibido aporte por infiltración de otras unidades hidrogeológicas de diferente litología o una variación de facies que modifique la hidroquímica de las aguas connatas.

5.4.4 Especies Aniónicas Mayoritarias

Las especies aniónicas mayoritarias del Sistema Acuífero Termal en conjunto son consecuentes con la distribución bimodal de las especies catiónicas (5.4.3), por lo que sigue considerándose válida la interpretación sobre la base de dos zonas Hidroquímicas bien diferenciadas (Zona I y II).

La distribución de los aniones mayoritarios (Cl^{-}, HCO_3^{-}, $SO_4^{=}$ y SiO_2) se observa en el gráfico 44 y 45 presenta una tendencia bimodal donde la variación de la frecuencia se relaciona con la menor intensidad de muestreo. El gráfico 44 presenta una tendencia hacia una distribución normal para los HCO_3^{-}, probablemente debido a que la concentración esta especie ocurre en las áreas de recarga con poco enriquecimiento en la dirección del flujo. Al igual que las especies catiónicas (5.4.3.) los rangos de oscilación de las especies iónicas no son suficientes para definir claramente las zonas hidroquímicas.

Para definir mejor las Zonas Hidroquímicas, también se ha considerado conveniente calcular las relaciones de concentración de aniones mayoritarios, a excepción de los valores de concentación de SiO_2 que se interpretaran en el apartado 5.4.6. por sus posibilidades de emplearlos como geotermómetros. Las relaciones de concentración propuestas aquí, son de frecuente uso en estudios hidrogeoquímicos (Custodio llamas, 1983). Pueden guardar relación con la diferenciación y origen de las aguas u otros factores modificadores. Las relaciones son las siguientes:

Cl^{-}/HCO_3^{-}

SO_4^{2-}/Cl^{-}

Zona Hidroquímica I (Conductividad<2000µS/cm)

Posee valores de Cl^{-} que oscilan entre 14 – 176mg/dm^3, de SO_4^{+} entre 9,5 – 159 mg/dm^3, de HCO_3^{-} entre 190 – 549 mg/dm^3 y de SiO_2 entre 29 – 111 mg/dm^3. El gradual aumento de la concentración o enriquecimiento de Cl^{-} y $SO4_2^{-}$, (aunque con menor gradiente hidroquímicos) hacia el oeste –sudoeste a expensas de la disminución paulatina de HCO_3^{-} puede observarse en los mapas de Isoconcentración respectivos (ver 7.2.7, 7.2.8, y 7.2.9). a pesar del escaso gradiente hidroquímico de estas especies iónicas.

Para facilitar la interpretación es conveniente el empleo de los valores de las relaciones de concentración entre aniones que se presentan a continuación:

Relación	**Promedio**
Cl^{-}/HCO_3^{-}	0.236
SO_4^{2-}/Cl^{-}	0.95

La relación Cl^{-}/HCO_3^{-} varia frecuentemente entre 0,1 y 5, para aguas continentales y valores entre 20 - 70 indican aguas de origen marino o mezcla a consecuencia de cuñas de intrusión salina (Custodio y Llamas, 1983) si se considera que no ha habido precipitación de $HCO3^{=}$ los valores de esta

relación pueden atribuirse a aguas continentales que no presentan mezcla con aguas de origen marino o connatas de elevada salinidad. Los gráficos 46 y 47 muestra la correlación entre los cocientes Cl^-/HCO_3^- en las direcciones ortogonales Este –Oeste y Norte-Sur, observándose que los valores de Cl^-/HCO_3^- aumentan desde las captaciones Arapey hacia Colón-1, atribuyéndose la variación al progresivo enriquecimiento en Cl^- a expensas del $HCO3^-$, es decir, en dirección recarga –descarga (Custodio y Llamas, 1983). La dispersión, casi excepcional, se produce a consecuencia de posibles cambios físicos durante la conservación de alguna muestra.

Los gráficos 48 y 49 muestran la evolución y variación del cociente SO_4^{2-}/Cl^- en las direcciones ortogonales Este–Oeste y Norte-Sur observándose que los valores de SO_4^{2-}/Cl^- prácticamente permanecen constantes entre las captaciones Arapey y hacia Colón-1, el valor de estar relación suele mantenerse constante durante al concentración del agua a bajas salinidades, (Custodio, 1974), situación que se verifica en las perforaciones de la Zona Hidroquímica I.

Zona Hidroquímica II (Conductividad<10000µS/cm)

Posee valores de Cl^- que oscilan entre 1380 – 5733mg/dm^3, de SO_4^{+} entre 705 – 4213 mg/dm^3, de HCO_3^- entre 36 – 309 mg/dm^3 y de SiO_2 entre 29 – 111 mg/dm^3. El aumento de la concentración de Cl^- y SO_4^{2-} hacia el oeste –sudoeste se produce con un gradiente mucho mayor que en la Zona hidroquímica I observándose una disminución paulatina de HCO_3^-. Los mapas de isoconcentración respectivos (ver 7.2.7, 7.2.8, y 7.2.9). muestran un aumento del gradiente hidroquímico de estas especies iónicas. y debe considerarse que la perforación Nogoyá ERN-1x (YPF, 1962) informa valores de concentración salina de 7900mg/dm^3 lo que caracteriza a toda la región

Solo con fines comparativos a los efectos de realizar una mejor aproximación se presentan a continuación las relaciones de concentración entre aniones.

Relación	Promedio
Cl^-/HCO_3^-	63.9
SO_4^{2-}/Cl^-	0.61

La relación Cl^-/HCO_3 con valores entre 20 - 70 indican aguas de origen marino o mezcla a consecuencia de cuñas de intrusión salina (Custodio y Llamas, 1983) si se considera que no ha habido precipitación de $HCO3^=$ y considerando que no ha habido en al región cambios recientes del nivel de base, la variación de esta relación en al zona hidroquímica II con respecto a la zona hidroquímica I puede debería a dos alternativas:

- Aguas de mezcla entre la recarga y las aguas connatas
- Aguas de mezcla entre las recarga y otro acuífero que contenga aguas de origen marino que puede en la región tener o haber tenido algún grado de conexión hidráulica.

El gráfico 50 muestra la correlación entre los cocientes Cl^-/HCO_3^- en las direcciones ortogonales Este –Oeste observándose que los valores de Cl^-/HCO_3^- aumentan desde la perforación Concepción del Uruguay-1 hacia Gualeguaychú-1,. La perforación Concepción del Uruguay-1 debe considerarse con precaución dentro de este análisis por al baja representatividad de la muestra y su dudosa proveniencia a causa de los inconvenientes durante y después de la perforación.

El gráfico 51 muestra la evolución y variación del cociente SO_4^{2-}/Cl^- en las direcciones ortogonales Este–Oeste observándose que los valores de SO_4^{2-}/Cl^- prácticamente permanecen constantes entre las perforaciones Villa Elisa-1 y Gualeguaychú-1, el valor de estar relación suele mantenerse constante durante al concentración del agua a bajas salinidades, (Custodio, 1974).

5.4.5 Especies Iónicas Minoritarias

Las especies iónicas minoritarias, que en este análisis incluirán también los cationes traza, comprenden al conjunto de especies F, As, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Cr, con concentraciones

inferiores a los 1,5 mg/dm^3. El análisis de las especies minoritarias queda limitado a la magnitud del muestreo que ha sido escaso. Deben considerarse los aspectos tratados aquí como una primera aproximación quedando propuesta una nueva línea de investigación al respecto.

Los valores más elevado de concentración corresponden al F entre 1,46 –0,01 mg/dm^3, As entre 0,045 –0,002 mg/dm^3, Fe entre 0.55 –0,01 mg/dm^{3}y Mn entre 0,08 –0,01 mg/dm^3 . Las trazas analizadas poseen valores de concentración, para el Zn entre 0.072 –0,001 mg/dm^3, el Cu entre 0,022 – 0,002 mg/dm^3, el Cr entre 0.056 –0,002 mg/dm^3 , el Hg, Pb y Cd se encuentran por debajo del límite de detección del instrumental de laboratorio.

Se realizó una matriz de correlación lineal, con el objeto de determinar sus coeficientes y analizar sus posibles relaciones. La misma se presenta según:

	Cond	F	As	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr
Cond	1	-0,221	$-7{,}4010^{-2}$	0,817	0,675	0,667	0,762	-0,561
F		1	0,831	-0,243	0,179	-0,253	$6{,}2010^{-2}$	$8{,}1010^{-2}$
As			1	-0,19	$2{,}1010^{-2}$	-0,19	0,111	-0,242
Fe				1	0,797	0,873	0,54	-0,426
Mn					1	0,858	0,713	-0,411
Zn						1	0,549	-0,26
Cu							1	-0,411
Cr								1

Considerando una factor de correlación (r) significativo entre 0,95-0,75 (Nicoli et.al., 1985) los resultados observan dos grupos de signos opuestos. Se ha incluido la conductividad por que se relacionan con las especies mayoritarias o la salinidad total y en alguna medida con la evolución hidroquímica de las mimas. De esta forma queda determinado un grupo con una correlación significativa caracterizando por el F y As y un segundo grupo también con una correlación significativa integrado por el Fe, Mn, Zn, Cu y la conductividad. El Cr no presenta correlación con ningún grupo y por lo poca frecuencia con que aparece en las aguas subterráneas y la escasez del muestreo se lo considerará como producto de algún tipo de contaminación de las muestras.

En cuanto al primer grupo, las relaciones de correlación entre As, F suelen ser significativas en los acuíferos más someros de la Cuenca Chacoparanense Occidental. En el Acuífero Pampeano de las Llanuras sudorientales de la provincia de Córdoba se han medido índices de correlación, para estas especies de r=0,78 atribuyéndose al vidrio volcánico de los Sedimentos Pampeanos e incluso entre F y HCO_3^- del orden de r=0,56. (Nicoli et. al, 1985). Estas características se verifican también en el Acuífero Pampeano, más al sur, en la región central de la Provincia de La Pampa (Castex-Monte Nievas) con índices de magnitud similar y valores de correlación entre F, As y HCO_3^- de 0,7 (Santa Cruz, Silva, Alvarez Díaz, 1998). En el Sistema Acuífero Termal el valor de correlación entre F y As es r=0,831 considerándose significativo, sin embargo su correlación con los HCO_3^- es poco significativa (es de r=0,21). Razón por la cual no se incluirá es este análisis. La verificación de estos índices de correlación permite inferir como posible origen geoquímico los basaltos de la Formación Serra Geral y/o su probable participación en la recarga. Permitiendo en parte, la circulación de flujo subterráneo del Sistema Acuífero Termal.

El segundo grupo es de más compleja interpretación debido a que no existen estudios hidrogeoquímicos específicos al respecto. Es frecuente que los análisis químicos de las aguas del Acuífero Ituizangó en la Sección Suprabasaltica de la Provincia de Entre Ríos se encuentren valores de Fe y Mn, de hasta 0,5 y 0,02 mg/dm^{3}respectivamente, incluso se han detectado efectos corrosivos y formación de fangos ferrosos e incluso manganíferos en captaciones realizadas sobre dicho acuífero (Bertolini, 1989). Dichos cationes suelen atribuirse a diversos orígenes, pueden tener un origen litológico, provenir formaciones de origen fluvial o marino, ralacionarse con procesos de oxido-reducción o a condiciones climáticas semihúmedas a húmedas en ambiente fluviales (Custodio y Llamas, 1983). La correlación entre Fe y Mn es de r=0,797 considerada como significativa, y aunque la diversidad de su origen y génesis dificulte la interpretación , en el capítulo 4 se hace referencia a la

presencia de pátinas de óxidos de Fe en el cemento de las areniscas de la Formación Botucatú que llegan incluso a cubrir los partículas de cuarzo. Esta interpretación asignaría un origen litológico característico de la Formación Botucatú como predominante sobre otros posibles orígenes.

Los gráficos 54 y 55 presentan los diagramas triangulares de las proporciones relativas de Fe, Mn y As (gráfico 54) y Fe, Mn, F (gráfico 55). En ambos casos las muestras que han presentado índices cercanos al F y As, o sea, que dominan en proporción sobre el Fe y Mn corresponden a las perforaciones donde el Acuífero Solari, intercalado en las vulcanitas de la Formación Serra Geral, tiene un aporte importante o es el único nivel productor. Por eta razón las perforaciones Colón-1 y Concepción del Uruguay-1 donde el Acuífero Solari es la única unidad de aporte tienen índices porcentuales elevados de As y F. En el extremo de Fe se encuentran las perforaciones de Concordia-1, Villa Elisa-1 y Nicanor; donde la primera obtiene aguas que solo provienen del Acuífero Botucatú ya que el Acuífero Solari ha sido aislado. Las demás perforaciones poseen índices que gradan en composiciones intermedias y debe considerarse siempre que las perforaciones poseen aguas de mezcla de ambos acuíferos. De verificarse esta relación de los componentes minoritarios con las litologías la relación entre ellos puede indicar, al menos en este caso, el grado de aporte de agua de los diferentes acuíferos en las perforaciones. La relación entre rF/Fe tendría relación con las diferentes litologías consideradas dado que el F sería característico de las litologías volcánicas de la formación Serra Geral, y el Fe con las areniscas de la Formación Botucatú. Podrían proponerse otras relaciones de similar interpretación entre As y Mn, con mayor densidad de muestreo. De todas formas la correlación entre las especies es los suficientemente significativa, como para analizar una de estas relaciones, optándose por rF/Fe porque ha sido determinada en mayor número de muestras. La relación rF/Fe promedio para las perforaciones del área de estudio se presenta según:

Perforación	F/Fe
Colon-1	164,54
Guaviyú	132,45
Concep. Urg.-1	105
Daymán	93,72
Federacion-1	53,18
Arapey-1	39,45
Nicanor-1	17,26
Concordia-1	16,8
Guleguaychú-1	2,53
Va. Elisa-1	0,02

Considerando Colón-1 como representativa del Acuífero Solari y Concordia-1 como representativa del Acuífero Botucatú, se verifica una relación inferior a un orden de magnitud de la primera con respecto a la segunda. Esta relación es elevada para valores de F elevados o pobres en Fe y de verificarse esta relación en lo sucesivo como característica de las unidades acuíferas apoyaría la interpretación de que, para el área de estudio, la litología continente o vinculada con las unidades acuíferas tiene relación con la concentración de estas especies minoritarias. Fraga (1992), propone que el acuífero contenido por la Formación Botucatú en Brasil posee altas concentraciones de F , entre 3,6 –12 mg/dm^3, en áreas donde el flujo es restringido y el tiempo de permanencia de las aguas es largo. Si bien las concentraciones aquí determinadas no son tan elevadas y a pesar de no poseer aislados en las perforaciones los diferentes acuíferos del Sistema Acuífero Termal (excepto Colón-1 y Concordia-1), se presentan en el gráfico 56 la relación rF/Fe en función de la distancia E-O (dirección recarga-descarga). Donde se aprecia una disminución de la relación hacia el oeste (descarga). La dispersión (consecuente de valores elevados de rF/Fe) en algunas muestras de Colón-1 y Concepción del Uruguay-1 son a causa de que la Formación Botucatú está ausente del registro. Las perforaciones de Gualeguachú-1 y Villa Elisa-1 poseen valores muy bajos pudiendo inferirse que obedecen a variaciones litológicas laterales (recuérdese que corresponden a la Zona Hidroquímica II).

El gráfico 57 vincula la rF/Fe con la profundidad del techo de los acuíferos observándose una disminución de la relación en profundidad consecuente de que el Acuífero Solari (Sección Interbasaltica) esa a profundidades más someras que al Acuífero Botucatú (Sección Infrabasaltica).

En síntesis, sobre la base de lo expuesto y lo observado por Fraga (1992) en Brasil se puede concluir que en área de estudio es más clara la relación con la litología que con las condiciones de flujo, al menos, para valores de F no muy elevados:

La relación del Zn y Cu que parecería correlacionarse con la conductividad o sea con el contenido salino total, pero la densidad de muestreo no ofrece garantías suficientes, para una correcta interpretación y queda indicado para futuros estudios.

5.4.5 Clasificación e Interpretación

La clasificación de las aguas subterráneas, en general tiene como objeto realizar una caracterización simplificada de las mismas sobre la base de su composición química. Las clasificaciones más simples en base diagramas de estrella, barras, circulares o conceptos como alcalinidad, dureza y residuo seco, permiten resaltar las especies iónicas dominantes y proporcionan información con referencia al uso del agua (agrícola, industrial, etc).

Las clasificaciones más complejas o hidroquímicas consideran la relación de las especies iónicas dominantes o mayoritarias que permiten definir diferenciación o enriquecimiento de aguas, mezclas de aguas, origen de las mismas entre otras.

El Sistema Acuífero Termal, sobre la base de sus especies iónicas dominantes, se presenta en el gráfico 58 los diagramas triangulares de Piper, (1953). Las perforaciones aparecen indicadas sobre los índices calculados para las muestras. Se observa que las perforaciones más cercanas a las áreas de recarga que son Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor muestran una composición de tipo Bicarbonatada sódica que evoluciona hacia el tipo Clorurada o Sulfatada Sódica para las perforaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1 hasta Cloruradas sódicas en las perfecciones Concepción del Uruguay-1, Villa Elisa-1 y Gauleguaychú-1.Esta evolución o diferenciación indica una mineralización en la dirección y sentido de la circulación del flujo regional, es decir de Este a Oeste, o más exactamente, de Noreste a Sudoeste.

El diagrama triangular del gráfico 59, muestra la evolución de las especies catiónicas de Cálcicas o Calcosódicas a Sódicas, en la dirección de la circulación regional, desde la recarga donde las aguas son de composición cálcica (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998) hacia las perforaciones y finalmente en las perforaciones más al oeste donde las aguas son de composición sódica.

El diagrama triangular del gráfico 60, muestra la evolución de las especies aniónicas de Bicarbonatadas a Cloruro-Sulfatadas hasta Cloruradas, también en la dirección de la circulación regional; desde la recarga donde las aguas son Bicarbonatadas (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998) hacia las perforaciones Cloruro-Sulfatadas y finalmente la perforaciones más al oeste donde las aguas son de composición Clorurada. El diagrama de Schöeller (1962) permite diferenciar la composición química de cada Zona Hidroquímica.

Las curvas inferiores presentan sus "picos" más elevados en las concentraciones de Na^+ y HCO_3^- que coinciden con las muestras de las perforaciones de la Zona Hidroquímica I y las curvas superiores que presentan sus "picos" más elevados en las concentraciones de Na^+, Cl^- y SO_4^- y coinciden con las muestras de las perforaciones de la Zona Hidroquímica II.

Las especies iónicas en equilibrio termoquímico con las minerales quedan definidas a partir de la expresión que define la relación entre el producto de solubilidad, la concentración de las especies iónicas a temperatura y presión constante. Como expresión general puede considerarse

$$\mathbf{(40)\ Kp = (A)^n\ (B)^n/(AB)}$$

Donde:
Kp: Producto de Solubilidad
A: Catión
B: Anión
AB: Mineral
n: carga del catión o anión

El producto de solubilidad no es más que una constante de equilibrio, que se relaciona con la energía libre de Gibbs de una reacción determinada la que se define según:

(41) $\Delta G_R^0 = -R\ T\ \ln Kp$

en la que:

(42) $\Delta G_R^0 = (\Delta G_d^0 - \Delta G_m^0)$

Donde:
ΔG_R^0 *: Variación Total de la Energía libre de Gibbs*
ΔG_d^0 *:Variación de la Energía libre de Gibbs (especies disociadas)*
ΔG_m^0 *: Variación de la Energía libre de Gibbs (mineral)*
R : Cte de los gases
T : Temperatura

Si se considera como ΔH la entalpía o calor asociado a la precipitación o disolución a presión constante tenemos la expresión de Van't Hoff que expresaría al relación entre las constantes de los productos de solubilidad con la temperatura según:

(42) $\ln Kp/T = (\Delta H/RT^2)$

Las rutinas de calculo empleadas utilizan la actividad, es decir la corrección de la molaridad por un factor que contempla las fuerzas iónicas entre especies y su incompleta hidrólisis. Para facilitar el análisis de las relaciones entre las especies iónicas y los minerales ha sido calculado el índice de saturación (**SI**) de cada especie mineral en relación con el producto de las actividades de las especies disueltas según la expresión:

(43) $SI = (\log AP - \log Kt).$

Donde:
SI: Indice de saturación
AP: Actividad de los Producto (especies iónicas en solución)
Kt:: Producto de solubilidad a temperatura cte.

Cuando el producto de la concertación o actividad de las especies iónicas disociadas de un mineral determinado, a una temperatura dada, posee un valor de **SI=0** Se la considera saturada, valores positivos indican que la solución está sobre saturada en dicha especie y valores negativos que esta insaturada. La interpretación de gráficos AP vs. Temperatura y SI vs. Temperatura, permite un análisis preliminar de su significado, no solo hidroquímicos, sino hidrogeológico. Con este propósito las gráficos 62 y 63 presentan la variación de la **AP** y **SI** con al temperatura de muestra en boca de pozo con la **K** ajustada a 25°C. La agresividad a calizas e incrustabilidad tiene relación con el producto de solubilidades especies consideradas, la presión de CO_2 y el pH en boca de pozo, dado que el **SI** también puede calcularse a partir de la diferencia entre el pH medido y el pH de equilibrio de CO_2 – $CaCO_3$ que cuando poseen valores positivos se considera incrustante (sobresaturadas) y con valores negativos agresiva a las calizas (insaturadas), (Custodio y Llamas, 1983). La curva en los gráficos 62 y

63 corresponde al equilibrio de especies o la línea de saturación, por lo tanto se desprende de los gráficos, que las muestras por encima de la curva están sobresaturadas, o sea, son incrustantes y podría precipitar $CaCO_3$, aunque no necesariamente (Custodio y Llamas, 1983). Como se observa en los gráficos 62 y 63 esta situación es común a todas las muestras del Sistema Acuífero Termal (excepto Almirón) que por lo tanto estaría sobresaturado en $CaCO_3$

Los gráficos 64 y 65 muestran las relaciones de AP y SI vs. temperatura, pero en equilibrio con la Aragonita, una variedad cristalina del $CaCO_3$ con un producto de solubilidad menor, o sea que necesita menor entalpía para precipitar, aún así presenta índices positivos en casi todas las captaciones del Sistema Acuífero Termal, a excepción de algunas muestras de Concordia-1, Daymán y Federación-1 que están ligeramente por debajo de la línea de saturación. Almirón posee una composición insaturada en ambas especies minerales.

Los gráficos 70 y 71 muestran las relaciones de AP y SI vs. temperatura, pero en equilibrio con la Siderita o $FeCO_3$. Se opto por emplear los valores de las constantes de equilibrio de este mineral por ser de estequiometría más estable y por tratarse de aguas bicarbonatadas en lugar de los óxidos de hierro de compleja estequiometría que suele modificar sustancialmente las constantes de equilibrio. El Fe suele asociarse a las calizas. Incluso suele valorarse junto con la dureza, cuando su concentración es elevada reemplazando al calcio por semejante de radio iónico. Se incluye aquí porque su concentración en las aguas subterráneas parece indicar cierta relación con al litología de la Formación Botucatú (ver 5.4.4), La dispersión del **SI** es elevada consecuente de la mezcla de aguas de los diferentes niveles de aporte. A excepción de Colón-1, presenta índices positivos en las captaciones de la Zona Hidroquímica I del Sistema Acuífero Termal, mientras que en las de la Zona Hidroquímica II, al igual que Colón-1, están por debajo de la línea de saturación.

Los gráficos 66 y 67 muestran las relaciones de **AP** y **SI** vs. temperatura, pero en equilibrio con una variedad de cristalina de Sílice, la Calcedonia. Los valores del **SI** son positivos en las muestras de las perforaciones más cercanas al área de recarga (Arapey, Daymán y Guaviyú y Nicanor) estas estarían sobresaturadas. Las perforaciones Colón,-1, Concepción del Uruguay-1 y Gualegaychú-1 que solo atraviesan el Acuífero Solari podría ser el principal acuífero de aporte, estarían sobre el límite de saturación o ligeramente sobresaturadas. Los índices negativos aparecen en las perforaciones de Federación-1, Concordia-1 y Villa Elisa -1 cuyas aguas provendrían del Acuífero Botucatú, en mayor proporción, las dos primeras poseen muestras ligeramente insaturadas y la última es insaturada. Pareciera tender a relacionarse con al distancia al área de recarga. Si se consideran los gráficos 68 y 69 muestran las relaciones de AP y SI vs. temperatura, pero en equilibrio con otra variedad de cristalina de Sílice, el Cuarzo. Los valores del **SI** son positivos en casi todas las muestras provenientes de las perforaciones del Sistema Acuífero Termal por lo que estaría sobre saturado en esta relación. Los índices negativos aparecen en las perforación Villa Elisa -1 cuyas aguas estarían insaturadas.

La litología de composición cuarzosa (ver 4.1, 4.2 y 4.3) de la Formación Botucatú y Miembro Solari en la zona de estudio presenta una débil reacción con HCl. Las muestras son friables y poco cementadas. El cemento es de composición carbonático y ferruginoso. En las áreas de afloramiento se observan moderadamente cementadas, con cemento de composición carbonática. Montaño y Collazo Caraballo, (1998) le asignan los elevados valores de Ca^{2+} al cemento carbonático de estas unidades en afloramiento. Si se considera que a temperaturas inferiores a las del Sistema Acuífero Termal los carbonatos aumentan la solubilidad, una interpretación posible es considerar que los carbonatos que forman parte del cemento han precipitado en el área de recarga quedando el agua como una solución insaturada. Si se mantienen relativamente constante o con poca disminución su concentación en la dirección del flujo, el gradual aumento de la temperatura disminuye su solubilidad pero la concentración es la proveniente desde las áreas recarga manteniendo un equilibrio metaestable en profundidad. En superficie, luego de la descarga de las perforaciones, la solución vuelve a estar a menor temperatura y por lo tanto insaturada, razón por la cual no precipita carbonatos al enfriarse en superficie.

El equilibrio con el Fe es más complejo, con los carbonatos puede ocurrir algo similar considerando que los valores de la constantes de equilibrio y entalpías de la Siderita son intermedias entre la Calcita y la Aragonita. La disponibilidad de Fe puede ser una limitante del equilibrio en profundidad. La identificación de los óxidos y sus constantes de equilibrio podría en futuros trabajos mejorar la interpretación.

La SiO_2 presenta condiciones de saturación que varía con la especie mineral considerada. Pudiendo estar en las aguas de las perforaciones captaciones, por ejemplo saturadas cuando se trata del equilibrio con el Cuarzo e insaturadas para el equilibrio con la Calcedonia, como el caso de las perforaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1, Concepción del Uruguay-1 y Gualeguaychú –1. Solo la perforación Villa Elisa posee aguas insaturadas con respecto a ambas especies minerales y las perforaciones Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor poseen aguas sobresaturadas con respecto a ambas especies minerales.

Una interpretación posible es que estas variaciones se relacionen con la circulación del flujo de agua en profundidad, el tiempo de permanencia o la distancias al área de recarga. Estas variaciones en la condición de saturación de la SiO_2 con sus minerales, tiene implicancias sobre su aplicación como geotermómetros como se verá en 5.4.6

De acuerdo a lo expuesto y con el fin de complementar el Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal (7.2.14) se caracterizarán y clasificarán las Zonas Hidroquímicas propuestas en 5.4.1 según:

Zona Hidroquímica I:

Se caracteriza por aguas dulces (TDS<1500mg/dm3), Blandas a Semiduras, de alta alcalinidad, tipo Bicarbonatada Sódica a Cloruro-Sulfatada Sódica (Piper, 1953). En general potables (Código Alimentario Nacional, 1997) restringida por la concentración de F que puede exceder la norma. La aptitud para riego es limitada con índices de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) entre 3 –44 y un promedio de 12, un RAS ajustado entre 6 – 46 y un promedio de 17.

Presenta aguas sobresaturadas en carbonatos (Calcita y Aragonita) y con grados de saturación variable para las diversas variedades cristalinas de SiO_2 (Calcedonia y Cuarzo). Las relaciones de cationes y aniones (5.4.2 y 5.4.3) son comparables con el área de recarga hacia el oeste de la zona de estudio donde afloran estas unidades.

Los gráficos 72, 73 y 74 muestran las relaciones de especies mayoritarias de muestras promedio en gráficos de Piper (1953) y triangulares de aniones y cationes de los principales acuíferos de la Sección Suprabasaltica. Nótese que las muestras representativas de los Acuíferos más someros como los Acuíferos Arapey probablemente relacionado con en el área de recarga, el Acuífero Salto en Uruguay, ya en áreas de confinamiento (e incluso Ituizangó en el área de estudio), tienden hacia una relación de especies mayoritarias ricas en HCO_3^- y Ca^{2+} semejante a las que podrán suponerse en las áreas de afloramiento y recarga de las Formaciones geológicas continentes del Sistema Acuífero Termal en profundidad.

Zona Hidroquímica II:

Se caracteriza por aguas salobres a saladas (TDS<15000mg/dm3), Duras, de alta alcalinidad, tipo Clorurada Sódica (Piper, 1953). Excede en varios parámetros los límites de potabilidad (Código Alimentario Nacional, 1997). Totalmente inapta para riego con índices de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) entre 37 –69 y un promedio de 60, un RAS ajustado entre 72 – 194 y un promedio de 150.

Presenta aguas sobresaturadas en carbonatos (Calcita y Aragonita) e insaturadas variable para las diversas variedades cristalinas de SiO_2 (Calcedonia y Cuarzo). Las relaciones de cationes y aniones (5.4.2 y 5.4.3), permiten suponerlas como aguas de mezcla con cierto grado de conexión con las aguas provenientes del área de recarga y cierta participación en al composición de aguas connatas o por poseer (o haber poseído) conexión hidráulica lateral y/o vertical a través de discontinuidades o

lineamientos estructurales con los acuíferos de la Sección Suprabasaltica, en particular el Acuífero de la Formación Paraná de origen marino cuya aparición en el registro geológico de profundidad comienza casi a la misma latitud en la que se encuentra el límite entre la Zona Hidroquímica I y II. Téngase en cuenta que el gradiente hidroquímico entre Colón-1 y Villa Elisa-1 es aproximadamente de 420 mg/dm^3 de Sales Totales por Kilómetro, mientras que entre Colón-1 y Arapey es de 2 mg/dm3 por kilómetro (cerca de 200 veces menor).

Los gráficos 72, 73 y 74 muestran las relaciones de especies mayoritarias de muestras promedio en gráficos de Piper (1953) y triangulares de aniones y cationes de los principales acuíferos de la Sección Suprabasaltica. Nótese la proximidad de las muestras representativas de los Acuíferos Paraná, Arapey (en Argentina) y Puerto Yeruá que se sobreimponen inmediatamente a la Sección Interbasaltica que tienden hacia una relación de especies mayoritarias, semejantes a las determinadas para las muestras de las captaciones del Sistema Acuífero Termal en la Zona Hidroquímica II.. Esta última inferencia, está limitada por la falta de una adecuada densidad de muestreo y la necesidad de extrapolar muestras muy alejadas entre sí.

5.4.6 Geotermómetros

La relación entre la litología y mineralogía de las rocas continentes de un acuífero y su relación con la composición del agua contenida en equilibrio, es función de la temperatura, como se ha visto en 5.4.5. Esta relación puede definir el grado de saturación entre el mineral y sus especies disociadas, pero además el estudio de dichos relación puede informarnos sobre la temperatura de las aguas. Un geotermómetro químico utiliza valores anómalos de concentraciones de determinadas especies disueltas como indicador de la temperatura máxima alcanzada por las agua (Fournier, 1977). Existen indicadores cualitativos de relaciones como Cl/F y Cl/SO_4 que indican elevadas temperaturas en sistemas hidrotermales, (Mahon, 1970) e indicadores cuantitativos que suelen ser de mayor interés. Dentro de estos últimos diversos autores (White, 1970; Fournier et.al., 1974; Fournier, 1977; Custodio y Llamas , 1983) aseguran que deben cumplirse determinadas condiciones, para considerar válido un geotermómetro a saber:

- Existencia de relaciones que dependen de la temperatura con un adecuado suministro de productos.
- Equilibrio agua-roca con un conjunto de minerales, específicos de altas temperaturas
- Asención rápida del agua hasta la superficie
- Alteraciones mínimas al pasar el agua temperaturas inferiores
- Ausencia de dilución o mezcla con otras aguas

A estas condiciones generales hay que sumarle otro conjunto de condiciones características del Sistema Acuífero Termal aquí en estudio a saber:

- Los gradientes geotérmicos son conocidos (ver 5.2.8) y las aguas reciben calor a consecuencia del mismo.
- Es una región que puede considerarse tectónicamente estable o al menos sin vulcanismo, desde fines del Mesozoico
- Las aguas son en parte de origen continental (Zona Hidroquímica I) o mezcla con aguas connatas que pueden ser marinas (Zona Hidroquímica II).
- Las profundidades del acuífero están en relación con el piso de las unidades Formacionales continentes, estas rara vez superan los 1500m.b.b.p.., lo que condiciona una temperatura máxima posible definida a partir del gradiente regional de 58,5°C.
- El proceso de calentamiento es gradual y de baja entalpía

Estas condiciones de ocurrencia no son muy favorables al análisis de geotermómetros, sin embargo, se aplicaron las posibles relaciones de concentración de especies iónicas para evaluar sus posibilidades de uso: El rango de temperaturas es una condicionante importante en la elección del geotermómetro adecuado, considerando aguas que se calientan a consecuencia del gradiente geotérmico y que la temperatura de las mismas esta condicionada por al profundidad de los acuíferos se han empleado relaciones sugeridas para los siguientes rangos de temperatura:

- Geotermómetros de SiO_2, entre 0 – 250°C (Fournier, 1977)
- Relaciones de K/Mg, sin rango específico de temperatura (Giggenbach, 1981)
- Relación $SO_4^{=}$, F^-, HCO_3^- cualitativo y sin rango específico de temperatura
- Relación $Na^+/100$, $K^+/100$, $(Mg^{2+})^{1/2}$ cualitativo y sin rango específico de temperatura

El gráfico 75 presenta la variación de la concentración de SiO_2 obtenida de las muestras provenientes de las perforaciones del área de estudio. La existencia de cierto grado de incremento de la concentración de SiO2 en función de la temperatura de las aguas en boca de pozo permite emplear los geotermómetros de SiO2 basados en al solubilidad de diferentes variedades cristalinas de cuarzo en el agua que ha estado en equilibrio. (Fournier, 1977;). El resultado se presenta en el gráfico 76 donde se observa una distribución de las muestras sobre las curvas de diversas variedades de sílice. Debe considerarse que los geotermómetros de sílice se basan en al saturación de las muestras con respecto a las variedades de SiO_2 (Fournier y Truesdell, 1979; I, Henley et.al., 1984) y como se ha explicado en 5.4.5 las condiciones de saturación en relación con diversas variedades de sílice varían en las aguas provenientes de las diferentes perforaciones. Las temperaturas calculadas a continuación corresponden a los geotermómetros de Calcedonia y Cuarzo (cristobalita) corregidos (Forurnier, 1977, 1981) presentadas en el gráfico 76 para cada perforación y su relación con los acuíferos del Sistema Acuífero Termal. Las ecuaciones empleadas son:
Calcedonia

$$\mathbf{(44)\ Tg = 1032/(4.69 - \log SiO_2) - 273}$$

Cuarzo (Cristobalita)

$$\mathbf{(45)\ Tg = 1000/(4.78 - \log SiO_2) - 273}$$

Donde:
Tg: Temperatura calculada
SiO_2: Concentración de Silice

Perforación	Temp °C Calcedonia	Temp °C Cuarzo	Unidad Acuífera
Colón-1	45		Solari
Concep. del Uruguay-1	42		Solari
Gualeguaychú-1	34		Solari (ZHII)
Federación-1		66	Botucatú
Concordia-1		67	Botucatú
Arapey		65	Botucatú
Daymán		72	Botucatú
Guaviyú		66	Botucatú
Nicanor		68	Botucatú
Villa Elisa		39	Botucatú (ZHII)

Tabla N°52. Temperaturas máximas calculada a partir de los geotermómetros de SiO2 Calcedonia y Cuarzo (Cristobalita) y su relación con las unidades acuíferas del Sistema Acuífero Termal

En el Sistemas Hidrotermales de San Giuliano, en Pisa Italia, Grassi et.al.,(1994) emplea los mismos geotermómetros de calcedonia y cuarzo en una sistema hidrotermal de bajas temperaturas o baja entalpía. Estos autores, para una área con perforaciones con aguas surgentes con temperaturas entre 20-40°C, determinan valores de temperaturas comprendidos entre 50° (calcedonia) y 80°C (cuarzo) para el sistema acuífero de San Giuliano. Atribuyen esta variación a un re-equilibrio de la concentración de SiO_2 del flujo durante el ascenso y posible mezcla con aguas meteóricas. Considerando los índices de saturación de diferentes especies con la temperatura indican un modelo de circulación de flujo (Grassi et. al., 1994).

El Sistema Acuífero Termal presenta esta diferenciación en perforaciones con aguas provenientes de sus diferentes acuíferos, las perforaciones Colón-1, Concepción del Uruguay-1 y Gualehuaychú-1 atraviesan el Acuífero Solari cuyos niveles productores se encuentran a profundidades más someras que el Acuífero Botucatú y por lo tanto a menor temperatura. Una interpretación posible es que el geotermómetro de calcedonia sea un indicador de la temperatura máxima alcanzada por las aguas contenidas que oscilaría entre 34-45°C. Si se considera para estas captaciones una profundidad media del piso de la Formación Serra Geral de 700 m.b.b.p. y una temperatura media a partir del geotermómetro de 39,5°C, el gradiente geotérmico calculado a partir de la expresión **(3)** presentada en 5.2.8 tenemos un gradiente geotérmico de 0,024°C/m muy próximo al calculado a partir de la mediciones en la perforación Colón-1 (ver 5.2.8).

Las perforaciones Federación-1, Villa Elisa-1, Arapey, Daymán, Guaviyú y Nicanor atraviesan el Acuífero Botucatú y Solari, por lo que es posible esperar una concentración de mezcla. Solo en Concordia-1 el único nivel de aporte es el Acuífero Botucatú y en Colón-1 el Acuífero Solari. Si se lo considera como paramétrico el resto de las perforaciones presentan temperaturas simialres. Es posible que los niveles de mayor aporte se encuentran a las profundidades del Acuífero Botucatú y por lo tanto a mayor temperatura. Una interpretación posible es que el geotermómetro de cuarzo sea un indicador de la temperatura máxima alcanzada por las aguas contenidas que oscilaría entre 65-72°C.

Si se considera para estas captaciones una profundidad media del piso de los niveles mesozoicos de 2020m.b.b.p.. (dato tomado de Daymán) y una temperatura media a partir del geotermómetro de 68,5°C, el gradiente geotérmico calculado a partir de la expresión **(3)** presentada en 5.2.8 tenemos un gradiente geotérmico de 0,022°C/m muy próximo al calculado a partir de la mediciones en la perforación Concordia-1 y Federación-1 (ver 5.2.8).

Se ha verificado, como se ve en el gráfico 79, que las relaciones de Giggenbach, (1981) dan como resultado temperaturas elevadas (de más de 75°C) en todas las muestras de las perforaciones de la zona de estudio, por lo tanto no se recomienda su utilización como geotermómetro. Debe considerarse que el geotermómetro de Giggenbach, (1981) han sido estudiados en zonas de vulcanismo activo y las características del Sistema Acuífero Termal difieren en gran medida de las consideradas en dichos ambientes. Algo similar ocurre con las relaciones cualitativas: no permiten determinar una temperatura, la relación $SO_4^{=}$ - F^- - HCO_3 (gráfico 78) no indica una agrupamiento de muestras de igual temperatura, sino y en su lugar, nos muestra la correspondencia entre acuíferos. Las muestras con mayor concentración de F^- no corresponden con las aguas que hayan estado ha temperaturas mayores sino con aguas provenientes del Acuífero Solari, y lo mismo para las restantes muestras cuya baja concentración de F^- indica su procedencia del Acuífero Botucatú. En este caso la relación podría emplearse como un indicador hidrogeoquímico.

La Relación $Na^+/100$, $K^+/100$, $(Mg^{2+})^{1/2}$, del gráfico 77, tampoco ofrece resultados satisfactorios, dando como resultado temperaturas inferiores a las medidas en boca de pozo probablemente racionado con el elevado contenido de Na^+ y bajos contenidos de Mg^{2+} de las aguas del Sistema Acuífero Termal, algo similar podría afectar la relación de Giggenbach (1981).

5.5. Isotopos del Agua en el Sistema Acuífero Termal

5.5.1. Introducción y generalidades

El empleo de isótopos estables como trazadores naturales para determinar el tiempo desde su infiltración, distancia y condiciones de recarga, posibilidades de mezcla y en cierta medida el grado de conexión con el ciclo hidrológico superficial tiene una fundamental importancia en interpretación y elaboración de una adecuado modelo hidrogeológico.

El principio general de la datación a partir de isótopos, cualquiera sean los mismos, parte del principio de que el agua que contiene una concentración, denominada c_o, de un isótopo considerado durante su infiltración y posee una concentración del mismo isótopo, denominada c_t, en el momento de su extracción, se establece la siguiente expresión general (Custodio y Llamas, 1983):

$$(46)\ t = T/0{,}0.693 \ln (c_o/c_t)$$

Donde:
t = edad del agua
T = Período de desintegración radiactiva del isótopo considerado
c_o = concentración inicial
c_t = concentración en al extracción

Para que se considera válida esta relación las aguas del acuífero no deben presentar entradas u salidas del isótopo considerado durante su recorrido. Los isótopos, como cualquier trazador, pueden sufrir retención y fijación en las litologías del acuífero y están sometidos a fenómenos de dispersión micro y megascópica (Custodio y Llamas, 1983). El valor de c_o es difícil de determinar y depende de la naturaleza del isótopo considerado.

Entre los isótopos más frecuentemente empleados en aguas subterráneas se incluye el ^{18}O, $^{2}H^{2}$ o D (Deuterio) y $^{3}H^{3}$ o T (Tritio) constituyentes de la molécula del agua y eventualmente el ^{13}C y ^{14}C relacionado con las especies carbonáticas en general producto de la incorporación de estas durante la recarga.

La relación isotópica para cada isótopo, por ejemplo, del agua se define como la relación de concentración entre las especies livianas y pesadas y se utiliza como patrón la relación media de la agua del océano o SMOW. Para una muestra determinada los valores se expresan como una desviación isotópica (δ) positiva o negativa de dicho valor, expresada en (‰) de acuerdo a las siguiente expresión:

$$(47)\ \delta‰ = (Ri_m - R_{smow}/R_{smow})*1000$$

Donde :
δ‰ : desviación isotópica
Ri_m : Relación Isotópica de la muestra
R_{smow} : Relación Isotópica patrón

Los cambios físico-químicas o ambientales, principalmente durante la evaporación y condensación, provocan el fraccionamiento de las moléculas, En general durante la evaporación de cuerpos de agua se produce un enriquecimiento de los isótopos pesados en la fase líquida y un empobrecimiento en al fase vapor (Panarello y Parica, 1984).

La composición media isotópica anual de las precipitaciones es constante en una región a pesar de las variaciones estacionales, sin embargo, los cambios estacionales durante diversos periodos geológicos en aguas subterráneas puede tener influencia. Cuando se produce la evaporación en los cuerpos de agua superficiales el fraccionamiento isotópico es mayor para el ^{18}O que para el D, enriqueciendo la fasc líquida en $H_2{}^{18}O$. De esta forma se puede graficar la relación entre $\delta^{18}O$ y δD denominada línea de evaporación. De igual forma se expresa la línea de precipitación cuya expresión es cercana a $\delta D = 8.\delta^{18}O$ y también consecuente del fraccionamiento durante la condensación.

En resumen el contenido de $\delta^{18}O$ y δD están influidos por los siguientes factores (Custodio y Llamas, 1983):

- Distancia al mar, lluvia generada en más ligera cuanto más lejos del mar
- Temperatura, en zonas frías se produce un enriquecimiento en la fracción ligera de la fase vapor
- Altitud, consecuente de la disminución de la temperatura tiene un efecto similar a las zonas frías.
- Intercambio isotópico, en regiones húmedas puede sufrir intercambio con al humedad ambiente modificando por enriquecimiento o empobrecimiento su composición original.

5.5.2 Metodología y Toma de muestra

En el área de estudio se tomaron muestras destinadas a análisis isotópicos solo en algunas perforaciones que se consideran representativas de laos diferentes acuíferos del sistema Acuífero Termal, su Zonación Hidroquímica y se incluyó una muestra del acuífero freático en la Zona Hidroquímica I. El objetivo del muestreo es caracterizarlas y correlacionarlas con los resultados del estudio de Dellepere, (1992) en las perforaciones del litoral Uruguayo. Es evidente la necesidad de un futuro muestreo de todas las perforaciones en la zona de estudio incluyendo las uruguayas.

La técnica de toma de muestra se ajusta al criterio expresado en el apartado 5.4.1 e incluye la determinación de la concentración de $\delta^{18}O$ y δD de las captaciones Colón-1, Federación-1, Villa Elisa-1 y el Acuífero Mercedes en la localidad de Colón considerado el acuífero libre en dicha región. Solo se modifico el volumen de muestra que fue de $5dm^3$ y se omitió el empleo de la celda de aislación.

En lo referido a la representatividad de las muestras la elección de los puntos de muestro se baso en los siguientes criterios:

- Acuífero productivo en al perforación escogida
- Ubicación de la perforación en las diferentes Zonas Hidroquímicas definidas para el acuífero.

Sobre la base de estos criterios, la muestra de la perforación Federación-1 correspondería a aguas cuyo principal aporte proviene del Acuífero Botucatú, la muestra de la perforación Colón-1 proviene de aguas del Acuífero Solari, ambos en al Zona Hidroquímica I.. La muestra de la perforación Villa Elisa-1 proviene de aguas de probable mezcla de ambos acuíferos en la Zona Hidroquímica II y la muestra del acuífero libre esta tomada en la Zona Hidroquímica I.

Dellepere (1992), muestreó las perforaciones profundas Arapey , Daymán, Guaviyú y en afloramiento o zonas de recarga las perforaciones en Artigas, Rivera, Colonia Viñas, Curtina y Tacuarembó que representarían en este estudio la Zona Hidroquímica I y las condiciones de recarga del Sistema Acuífero Termal.

5.5.3 Resultados del análisis de Oxigeno 18 y Deuterio

Los análisis isotópicos fueron realizados en el INGEIS (Argentina) se presentan en el siguiente cuadro en el que se han incluido las determinaciones de Dellepere, (1992) único antecedente sobre la isotopía del Sistema Acuífero Termal en el área de estudio:

Determinación en las captaciones Argentinas

Perforación	$\delta^{18}O$‰ +/-0,1	δD‰ +/-1
Federación-1	-6.1	-32
Colón-1	-4.9	-32
Villa Elisa-1	-3.9	-27
Colón (freática)	-5.4	-32

Determinaciones de Tritio en las capataciones Argentinas

Perforación	Tritio U.T.	Factor TU/cpm	Relación de Enriquecimiento
Colón-1	1.8+/-0.4	72	13
Villa Elisa-1	1.1+/-0.5	72	13
Colón (freática)	2.5+/-0.5	72	13

Determinación en las captaciones Uruguayas (Dellepere, 1992)

Perforación	δO^{18} ‰	δD‰
Arapey	-6.1	S/D
Daymán	-6.1	S/D
Guaviyú	-5.7	S/D
Col. Viñas	-6.2	S/D
Artigas	-5.7	S/D
C. Tacuarembó	-5.1	S/D
Rivera	-5.7	S/D

El muestreo realizado por Dellepere, (1992) no incluyó δD‰, esto complica la interpretación regional de las aguas en cuanto a su origen, tiempo de tránsito y áreas de recarga. El tiempo de transito se realizo sobre la base de análisis de la relación ^{13}Cy ^{14}Cen las aguas de las perforaciones Arapey, Daymán y Guaviyú. Dellepere, (1992) propone edades de 12000 años para las aguas de Guaviyú y 24000 para las aguas de la perforación Arapey sobre la base de la relación de Carbono.

El orden de magnitud de la edad es compatible con la velocidad real horizontal del Acuífero Botucatú determinada en 5.1.8 y la distancia hasta las posibles áreas de recarga, si bien es recomendable realizar un muestreo sistemático de isótopos estables de oxigeno y carbono en todas las perforaciones para ajustar esta determinación

El muestreo realizado tiene poca representatividad y solo debe considerarse para orientar un futuro estudio isotópico de las aguas más detallado. Es evidente de la observación de los resultados que la concentración de δD‰ disminuye en la Zona Hidroquímica II con respecto a la Zona Hidroquímica I y el Acuífero libre. Considerando que esta variación toma lugar con aguas de mayor concentación de Cl^- se pueden sugerir las siguientes posibilidades:

- Aguas de mezcla entre la recarga actual del acuífero y aguas connatas o de otros niveles acuíferos superiores que pueden tener algún grado de conexión vertical.

- Condiciones de recarga en condiciones de evaporación más elevadas que las actuales (ocurridas en climas más tórridos o áridos)

A pesar de la falta de información al respecto es esperable un alto grado de correlación entre la isotopía de las aguas de las captaciones Argentinas y Uruguayas lo que ayudaría caracterizar la Zona Hidroquímica I.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES GENERALES

"Hoy, pues, nadie duda que existen aguas artesianas surgentes, ¡y surgentes a cinco varas del piso!"
Adolfo Sourdeaux, 1862

6.1 Limitaciones y Alcances del Modelo Hidrogeológico Conceptual

En los sucesivos capítulos sobre los diversos aspectos tratados en este estudio se han presentado los antecedentes, resultados, análisis y conclusiones parciales de las características geológicas e hidrogeológicas del Sistema Acuífero Termal. Es necesario, sin embargo, contribuir al conocimiento del mismo resumiendo en una interpretación más abarcativa las características Geológicas e Hidrogeológicas del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental con miras a proponer un Modelo Hidrogeológico conceptual que permita en el futuro la adecuación de un correcto plan de gestión, control y preservación el recurso.

Las limitaciones de la interpretación son las mismas que se han enumerado previamente durante el tratamiento de los temas en particular. En conjunto pueden citarse según:

- La falta de una mayor densidad de información geológica en profundidad y la dispersión de la misma en diversas entidades.
- La ausencia (salvo el caso de contadas excepciones) de una sistemática exploración del recursos que involucre entre sus objetivos la recopilación de información hidrogeológica durante las perforaciones. Debido en muchos casos al echo de que las perforaciones tuvieron como objetivo la exploración petrolera que no considera técnicas analíticas relacionadas con el recurso agua subterránea y aún menos como agua termal.
- La falta de un adecuado diseño de captación para la perforaciones de la región que limita el análisis diferencial de los diferentes acuíferos que constituyen el Sistema Termal, modificando la representatividad de los muestreos
- En el sector Argentino de la zona de estudio las perforaciones se sucedieron rápidamente considerando que las actuales se completaron entre 1994-1999 pasando directamente a la etapa de explotación de recurso. La explotación y evaluación de sus posibilidades no fue consecuente de dicho proceso.

Los posibles alcances generales de este estudio quedan enumerados en las siguientes puntos:

- Compila y analiza un conjunto de información geológica e hidrogeológica que de otra forma o bien se perdería, o se dispersaría en estudios parciales.
- Contribuye al conocimiento y correlación de las unidades del subsuelo de la Cuenca Chacoparanense y propone un marco geológico e hidroestratigráfico adecuado para la interpretación hidrogeológica.
- Puede considerarse como orientativo de futuras exploraciones y posibilidades de explotación del recursos subterráneo del Sistema Acuífero Termal.
- Propone un Modelo Hidrogeológico Conceptual producto de la información más actualizada perfectible en futuras investigaciones.
- Contribuye al Conocimiento local de uno de los Sistemas Acuíferos más importantes de la región. Caracterizándolo dentro de un conjunto más regional representado por las mismas (o correlacionables) unidades geológicas en Brasil y en Paraguay.

6.2 Extensión Regional, Estratigrafía e Hidroestratigrafía

En los apartados finales el capítulo 4 (4.5 y 4.6) se expuso que las secuencias basálticas y las areniscas infrabasálticas descriptas poseen características litológicas comparables con las perforaciones y afloramientos en Uruguay determinando una continuidad litológica y disposición estratigráfica en profundidad similar a las descriptas en las perforaciones de la Provincia de Entre Ríos.

Este estudio no tiene como fin la estratigrafía en detalle de la zona de estudio sino su caracterización y actualización sobre la base de al información disponible como base del análisis

hidrogeológico posterior. En resumen la contribución de esta obra a la estratigrafía del subsuelo de la zona de estudio (y probablemente el subsuelo mesopotámico) consiste fundamentalmente en:

- Describe la litología de las unidades atravesadas por las perforaciones Federación-1, Concordia-1, Colón-1, Villa Elisa-1, Concepción del Uruguay –1 y Gualeguaychú-1 correlacionando las mismas con las perforaciones precedentes en Argentina y Uruguay.
- Contribuye con una propuesta estratigráfica para el Mesozoico de la zona de estudio ordenándola y caracterizando las Formaciones Serra Geral (M. Posadas y Solari), Botucatú y Piramboiá comprendidas en el registro del subsuelo del área de estudio y dentro del marco regional propuesto por diversos autores en las regiones más occidentales de la Cuenca Chacoparanense (Stappemberg, 1926; CFI, 1962; Harrintong, 1950; Padula y Mingramm, 1968; Gentile y Rimoldi, 1979; Fernández Garrasino, 1989, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998 y1999, entre otros) y en el área de afloramiento de la Formaciones consideradas (Hausen, 1919; Walther, 1931; Keidel, 1934; Falconer, 1931; Bigarello y Salamuni, 1961, 1964 y 1967; Bossi, 1966; Bossi y Heide, 1970; Soares, 1981; Herbst y Ferrando, 1985, Ferrando y Herbst, 1988; Andreis et.al., 1991, entre otros). Sobre la estratigrafía se discute a lo largo del Capítulo 4 y con especial énfasis en los apartados 4.4, 4.5 y 4.6 y se presenta en el Anexo I el cuadro estratigráfico propuesto.
- Aporta nuevos elementos que con al información obtenida pueden interpretarse sobre la base de la hipótesis estructural relacionada con una tectónica de bloques controlada por fallamientos (distensivos y trascurrentes) para el subsuelo entrerriano (mesopotámico) propuestas por diversos autores (Stappemberg, 1926; CFI, 1962; Padula y Mingramm, 1968; Tujchneider y Filí, 1981; Chebli et.al., 1987; Araujo et.al., 1995; Gómez Rifas et.al., 1996, entre otros). Aspectos revisados en los apartados 4.5 y 4.6 y se complementa con los cortes y bloques 3D en el Anexo II.
- Se propone, sobre la base de la expuesto en el capítulo 4, una hidroestratigrafía que permite definir tres Secciones Acuíferas que determinan la ocurrencia y características de los acuíferos del región, la Sección Acuífera Suprabasáltica, Interbasaltica e Infrabasaltica. En ese contexto se caracterizan los acuíferos conocidos y se identifican y definen los niveles acuíferos de la Sección Interbasáltica e Infrabasáltica constituyentes del Sistema Acuífero Termal en el área de estudio y su correlato con los Sistemas Acuíferos relacionados en Uruguay (DINAMIGE, 1980; Montaño y Pessi, 1985; TAHAL, 1986, HIDORSUD, 1988;.cattaneo, 1992; Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998) y en Brasil (Silva, 1992; Mente, 1993; Roboucas, 1994; Araujo et.al., 1995) Se trata en detalle en el capítulo 5 apartados 5.1 y se propone un cuadro hidroestratigráfico en el Anexo II.

La extensión regional del Sistema Acuífero Termal se relaciona con la geología de subsuelo y se definen a la luz de la información disponible los siguientes límites geográficos aproximados:

- Hacia el norte hasta al menos el pozo Guaviraví -1 en Corrientes se han identificando las sedimentitas prebasálticas consideradas aquí como atribuibles a las Formaciones Botucatú y Piramboiá. El espesor de la Formación Serra Geral disminuye notoriamente hacia el norte (visible en Guaviraví-1) donde se supone que existe a través de diversos estudios un sistema de fallas que lo controlan (Padula y Mingramm, 1968, Chebli et.al., 1989; Fernández Garrasino, 1989, 1990).
- Al oeste tomaremos como limite probable el meridiano de 58°30′ que atraviesa la Provincia de Entre Ríos (a pocos kilómetros al oeste del pozo Villa Elisa-1). Considerando la estratigrafía propuesta para la perforación Nogoyá ERNes-1x (ver apartados 4.4, 4.5 y 4.6).
- Limita en el Este con los aforamientos de las Formaciones infrabasálticas continentes del Sistema Acuífero Termal.

- Hacia el Sudoeste constituye una subcuenca local que evidencia una profundización en dicha dirección en de la provincia de Entre Ríos cuyo depocentro puede relacionarse con la subcuenca de Rosario. (Padula y Mingramm, 1968; Fernández Garrasino, 1991,1992,1993,1994,1995).
- En el Sur podemos inferir un posible control de la sedimentación por parte del basamento al sur de la provincia relacionado con el " Alto del Río de l Plata", (Fernández Garrasino, 1999) para las edades Triásico - Jurásico en esta zona de la cuenca. Esto puede inferirse por la variación de los espesores de basalto y areniscas hacia el sur de Entre Ríos, si bien hacia el oeste y sudoeste la situación es más compleja para definir el alcance de este control del basamento.

Considerando los lineamientos expuestos en el apartado 4.5 y 4.6. se supone la existencia un sistema de bloques relacionados a antiguos fallamientos observándose una profundización de la cuenca en la perforación Nogoya-1 y Gualeguaychú - 1. Hacia el oeste, más allá del Río Gualeguay las variaciones laterales de la geología en profundidad ofrecen pocas posibilidades de contener los acuíferos del Sistema Acuífero Termal. Si bien la Formación Serra Geral se extiende arealmente en el subsuelo de la provincia de Entre Ríos y Corrientes e incluso llega a Santa Fe intercalando niveles de areniscas bien diferenciadas correspondientes al Miembro Solari (Herbst, Santa Cruz, 1984) de la Formación Serra Geral. esto no garantiza la ocurrencia del acuífero termal más allá de la región definida en el mapa hidrogeológico (ver 7.2.14). Las consideraciones estructurales se tratan con más detalle en el capítulo 4 pero puede concluirse en una interpretación general (sobre la base de los cortes y diagrama 3D) que la zona de estudio dentro de la cuenca presenta una profundización en dirección Noreste - Sudoeste en el sentido de las perforaciones Guaviraví -1 hacia Nogoyá -1 constituyendo una subcuenca, interpretación que coincide con las realizadas por Padula y Mingramm, (1968). En esa región de la cuenca las estructuras de bloques en profundidad consecuentes del evento tecto-efusivo que originó las vulcanitas de la Formación Serra Geral tienen expresión, al menos, en los niveles mesozoicos infrabasálticos y muy posiblemente haya condicionado los procesos de sedimentación de gran parte de los depósitos suprabasálticos hasta los más recientes.

Sobre la base de esta interpretación se aceptaran como probables los siguiente criterios como base para la geometría de los acuíferos contenidos en las Formaciones Serra Geral y Botucatú. Considerándose este como el modelo estructural ya citado en 4.5 como posible para el Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina.

- Las unidades geológicas definidas sobre la base de los afloramientos y perforaciones de la República Oriental del Uruguay poseen continuidad litológica y estratigráfica en las perforaciones realizadas hacia el oeste sobre el sector Argentino, al menos para la región de la Mesopotamia. En el área de estudio en Entre Ríos este criterio puede precisarse al menos hasta la cuenca del Río Gualeguay en el centro y sur de la provincia y hasta las localidades de San Salvador -Chajarí - Guaviraví (Corrientes) en el norte. Este área puede considerarse en profundidad y para edades mesozoicas como dominio de las Formaciones Serra Geral, Botucatú y Piramboiá tomando y recomendando la nomenclatura empleada en Brasil, por ser estos los primeros en definir los estratos tipo de estas unidades en la Cuenca Chacoparanense, (ver mapa 7.1.1).
- Las unidades geológicas definidas en las perforaciones de Nogoyá y Gualeguay al sur y al este de la zona de estudio en la provincia de Entre Ríos poseen una posición estratigráfica similar con variaciones litológicas que permiten una adecuada identificación de las unidades y es conveniente considerarlas como correlacionables con las unidades definidas en el Uruguay y Brasil.. La captación Gualeguay–1 posee niveles que representan litológica y estratigraficamente a ambas unidades y en el caso particular de la perforación Nogoyá ENR-1x dada la ausencia de términos comparables a las eolianitas se consideraran estos niveles correlacionables con la Formación Piramboiá (Herbst y Zabert, 1990).
- Atendiendo al concepto definido por Fernández Garrasino, (1996) para la Formación Misiones en Argentina, se considerará también dentro de esta unidad estratigráfica a los niveles atravesados para

estas edades en las perforaciones al oeste de la cuenca a saber Firmat-1, Las Mochas-1, Mariano Boedo FMB-1X, Ordoñez CO-1x, Camilo Aldao CCA-1x, Ceres, San Cristobal - 1 y 2, (ver mapa 7.1.1).

- Las perforaciones de la región norte y este de la Cuenca Chacoparanense denominadas Arbol Blanco SEAB-1x, Pirané FP-1x, Charata ChCH-1x, Las Brenias Y y II ChLB-1x/2x, Las Breñas Oriental, El Caburé SEEC-1x y Campo Gallo SECG-1x, no permiten una adecuada identificación de las unidades a causa de las variaciones litológicas, su distancia a las áreas donde fueron identificados los estratos tipo y la altura y relación estratigráfica con las unidades infra y suprayacentes. Por ello se sugiere preservar la denominación de Grupo Aluhampa (Padula y Mingramm, 1968) para el conjunto sedimentario de posible correlación con las unidades clasticas mesozoicas de la cuenca en las perforaciones donde la ausencia del complejo tecto-efusivo no permite una adecuada correlación.
- En la Provincia de Entre Ríos existe cierto grado de traducción de las estructuras extensionales del complejo tecto-efusivo que origino las vulcanitas de la denominada Formación Serra Geral. Estas estructuras de profundidad que puede tener influencia sobre los niveles geológicos más recientes y en ocasiones llegando incluso al cuaternario (ver apartados 4.5 y 4.6) determinando cierto control sobre las características geomorfológicas de la región. Por ser la zona de estudio un área donde los procesos fluviales son de mayor importancia en la modelación del paisaje estos pueden considerarse una expresión superficial de los lineamientos estructurales en profundidad.
- Sobre la base de lo anterior la región se vería afectada por al menos tres sistemas de lineamientos (posibles fallas); uno transcurrente de rumbo NO-SE; uno normal de rumbo NE-SO y uno normal de rumbo N-S. Este control estructural controla la estratigrafía y es la base para una adecuada interpretación de la geología mesozoica de profundidad en la región y en el área de estudio.
- En función de la historia geológica de la región y los fenómenos tectónicos sobrepuestos es posible suponer que también pudo actuar como un control estructural de los distintos procesos deposicionales. Coincidiendo con la interpretación propuesta por Padula y Mingramm (1968); Chebli et.al., (1989); Fernández Garrasino, (1996) la cuenca en el área de estudio muestra una profundización NE-SO hacia la perforación Nogoyá ERN-1x posiblemente controlada por estructura de bloques con fracturas NE-SO correspondientes a los lineamientos NE. de Chebli et.al., (1989), regionales y de falla única y los de rumbo NO-SE., consecuentes de la reactivación tectónica durante la separación de Godwana de fallas existentes e incluso generando nuevas familias de fallas que favorecieron la intrusión ígnea en profundidad (Zalán, et.al., 1987; Chebli, Tófalo y Turazzini, 1989), estas nuevas familias pueden adquirir rumbo N-S como ya se ha indicado Este control de profundidad puede involucrar el Basamento cristalino de la misma (como se observa en las perforaciones de Nogoyá ERN-1x, Concepción del Uruguay -1, Gualeguaychú -1 y Gualeguay-4) que hacia el este pareciera elevarse altimetricamente constituyendo un "alto" denominado por Fernández Garrasino (1999) "Alto Río de la Plata". Este aumento altimétrico del basamento hacia el este ha sido identificado por Introcaso, (1996) en la carta gravimétrica del I.F.I.R. e incluido en el mapa de lineamientos estructurales (ver 7.1.3)
- Esta compleja estructura propuesta en ese estudio constituye los límites estratigráfico y estructurales, geometría de las unidades geológicas, áreas de carga y descarga, direcciones de flujo, relación de presiones e hidroquímica del Sistema Acuífero Termal en el área de estudio, con probable influencia sobre los acuíferos contenidos en las unidades Suprabasálticas.
- La estratigrafía y geología estructural de la cuenca en Brasil son comparables con las del área de estudio en Argentina y Uruguay originadas de un conjunto de procesos tecto-efusivos y tecto-sedimentarios en común que ocurrieron durante el mesozoico. Los acuíferos de las Formaciones Serra Geral y Botucatú están controlados por las estructuras mencionadas, aunque, como se verá en el capítulo 5, las características hidrogeológicas de cada Sistema Acuífero definido en Brasil y Argentina-Uruguay se relacionan con la disposición de los depocentros y altos existentes que controlan a cada uno de ellos localmente. Esto particulariza los acuíferos contenidos en el noreste de la cuenca en Brasil, de los acuíferos del Sistema Termal en Argentina-Uruguay.

Se puede proponer al área de estudio comprendida y limitada estructural y estratigraficamente del resto de la cuenca en Brasil, permitiendo adoptar un criterio de estudio considerándola como una subcuenca hidrogeológica independiente. Los factores citados para comprender al Sistema Acuífero Termal contenido en una subcuenca hidrogeológica particular, e independiente de otros acuíferos termales en la región se resumen en las siguientes:

- El mapa geológico e hidrogeológico de la región (ver mapas7.1.2 y 7.2.14) presenta en la zona de estudio los afloramientos de la Formación Serra Geral sobre la banda oriental del río Uruguay, sobre el Estado de Rio Grande do Sul y el norte de la República del Uruguay y en Argentina en la provincia de Misiones (al norte) región central de la provincia de Corrientes al (Noreste). Otros afloramiento en el área de estudio son restringidos y relacionados al Río Uruguay, como en Salto Grande en Entre Ríos (Bertolini, 1994). Toda la región de afloramiento puede describirse como una faja de clara orientación NNE-SSO. En el Sur de Corrientes y la Provincia de Entre Ríos la Formación Serra Geral solo ha sido hallada en profundidad con una altimetría descendiente en dirección NE-SO y E-O controlada por las estructuras de profundidad hasta aproximadamente los 34° de latitud acuñando contra el Basamento cristalino de la cuenca o "Alto de Asunción" (Fernández Garrasino, 1989).Hacia el norte, el Arco de Rio Grande (Araujo et.al., 1995) aproximadamente hasta la latitud de localidad de Itacurubí en Rio Grande do Sul, Brasil o el pozo Guaviraví-1 en la localidad homónima en la Provincia de Corrientes, Argentina el espesor de la Formación Serra Geral se profundiza considerablemente limitando la cuenca hidrogeológica. Hacia el noroeste el alto de Pay Ubre en Corrientes (Chebli, Tófalo y Turazzini, 1989) racionado con el alto de Asunción (Fernández Garrasino, 1989) permite el afloramiento de estas unidades. Al este del Río Paraná, la Formación Serra Geral se profundiza altimetricamente hasta que ya no es reconocida en la estratigrafía de profundidad en los pozos al oeste de la región central de la Provincia de Santa Fe. Hacia el Sudeste, su extensión es mayor y es reconocida en la perforación de Firamt-1 en Santa Fe, Ordoñez y Camilo Aldao en Córdoba aflorando en las cercanías de Río Cuarto al sur de Sierras Pampeanas. Estos dos últimos corresponden a la extensión de la Formación Serra Geral y no del Sistema Acuífero Termal que queda restringido al área de estudio ya definida, de igual forma que los acuíferos al norte del Arco de Rio Grande hacia Brasil y Paraguay.
- La Formación Botucatú y Piramboiá o Formación Rivera y Tacuarembó en Uruguay que constituyen la unidades geológicas que contienen los mejores niveles productores del Sistema Acuífero Termal afloran exclusivamente en territorio Uruguayo y Brasileño. Se disponen formando un cordón paralelo a los afloramientos de la Formación Serra Geral hacia el este de la misma, con orientación N-S. En el área de estudio han sido definidas en profundidad a partir de las perforaciones realizadas y ya interpretadas en el capítulo 4. De acuerdo a lo expuesto estas Formaciones también en profundidad se extienden en sentido N-S, de hecho son las captaciones de la margen occidental del Río Uruguay entre Villa Elisa-1 y Guaviraví-1 las que presentan una litología correlacionable con las captaciones y afloramientos al oriente del Río Uruguay. Las variaciones laterales de estas Formaciones constituyen el límite de estos niveles productores por ellos contenidos. Hacia el sur de la provincia de Entre Ríos, el aumento altimétrico del Basamento verificado en las perforaciones de Concepción del Uruguay-1, Gualeguaychú-1, Gualeguay-4 y la reducción de espesores de la Formación Serra Geral constituyen un borde de cuenca para edades Mesozoicas que controla la potencia de las Formaciones Botucatú y Piramboiá reduciendo su espesor y acuñando en la dirección Norte-Sur. Eventualmente la estructura de bloques supuesta para la región permitió que facies de litología más fina (Formación Piramboiá) se preserven en el registro geológico, como en Gualeguaychú-1 y Nogoyá-1. En Colón-1 la situación es más compleja debido a cercanía de la chimenea volcánica definida en 1 de Mayo (Vila, 1962; Introcaso y Gerster, 1985, Guspi, 1993) provocando un apilamiento de coladas representada en un aumento del espesor de la Formación Serra Geral en su zona de influencia que disminuye gradualmente hacia el ENE. Razón que podría

explicar la ausencia de la Formación Botucatú/Piramboiá en el registro geológico de Colón -1 donde los niveles productores corresponden al Acuífero Solari que es interbasáltico. Hacia el Sudoeste de Entre Ríos el pozo Nogoyá ERN-1x constituye el más representativo de las variaciones laterales de los niveles clásticos mesozoicos en el área de estudio representado en ese caso por la Formación Piramboiá, (limo arcillosa-arenosa) y ausencia en el registro de la Formación Botucatú (fundamentalmente arenas con limo-arcilla intercalado). Según Fernández Garrasino, (1996), que asigna la denominación de Formación Misiones a los niveles clásticos correlacionables con las Formaciones Botucatú/Piramboiá o Formaciones Rivera/Tacuarembó a estos niveles (capítulo 4) las perforaciones al oeste del área de estudio varían litológicamente de estos en que dichos niveles predomina la fracción clástica Limo-arcilla por sobre la fracción arena fina-media característica de los niveles eólicos de la Formación Botucatú. Esta variación litológica de sus facies puede ser tema de discusión estratigráfica hacia el oeste del área de estudio pero es indudable que modifica deteriorando las condiciones hidráulicas de las Formaciones consideradas, perdiendo la capacidad de comportarse como acuíferos por la dificultad que presentan a la extracción del agua contenida (de acuerdo al informe de perforación original de la EX-YPF, el pozo Nogoya-1 con un tapón en 725m.b.b.p. extrajo 5 m^3/día con 7,9 g/dm^3 de concentración salina total).

- El Basamento Cristalino no aflora en el área de estudio, más al sur aflora en Isla Martín García, Juncal y San Gabriel, pero en el área al norte de las Islas del Ibicuy se ha tocado a diferentes profundidades en las captaciones Gauleguay-4, Concepción del Uruguay-1, Gualeguaychú-1 en el sector entreriano y en Guaviyú y Arapey en el sector Uruguayo. La altimetría de los contactos aumenta en profundidad en dirección NO-SE coincidiendo con la dirección en la cual se profundiza el Mesozoico. Chebli, Tófalo y Turazzini, (1989) proponen el control de la sedimentación por el Basamento al menos para los niveles de edad anterior al Cretácico inferior (Ciclos II y III), señalando el alto de Martín García al sur del área de estudio y el Alto de Pay Ubre. El control estratigráfico se traduce en un control hidrogeológico del acuífero al sur, sudoeste y al noroeste del área de estudio probablemente interrumpiendo la dirección de flujo.

Como se expresó en el capítulo 5, la extensión de los acuíferos del Sistema Acuífero Termal no necesariamente debe coincidir con la extensión regional de las unidades formacionales que los contienen. El concepto de acuífero involucra, demás de la litología y sus estructuras, los parámetros físicos que los caracterizan, como alturas piezométricas del área de recarga, zona de descarga, hidroquímica de sus aguas, fases de equilibrio agua-mineralogía, dirección de la red de flujo subterráneo, Isotopía de sus aguas, entre otras que permiten limitar su extensión y estudiarlo como una unidad acuífera característica.. En el caso del Sistema Acuífero Termal se suma además la condición expresada por Schöeller, (1962), pero significa que el termino Sistema Acuífero Termal no queda cerrado o limitado solamente por un determinado conjunto de Formaciones, sino por aquellas que además contienen acuíferos capaces de cumplir con la condición T(acuífero)>T (media) + 4°C (Hipertermas o termales). En el área de estudio queda representado por los Acuíferos Solari y Botucatú (eventualmente algún nivel acuífero intercalado en Piramboiá), sin excluir niveles acuíferos que, en futuras investigaciones, podrían considerarse incluidos en el Sistema Acuífero Termal. En consecuencia, se desprende de este concepto, que el "Sistema Acuífero Guaraní" por ser definido en afloramiento no cumple la condición termométrica de Schöeller (1962), por lo tanto para evitar confusión al respecto, si bien se entiende que posee acuíferos en común (Botucatú-Rivera y Tacuarembó –Piramboiá) que caracterizan el área de recarga en profundidad no comprenden el mismo "Sistema" por lo que se propone evitar su correlación con los niveles en profundidad hasta que futuros estudios, más detallados, permitan hacerlo. La estratigrafía presentada en el capítulo 4 limita la extensión regional de la unidades formacionales y su variaciones laterales hacia el oeste de la Cuenca Chacoparanense y presenta un modelo estructural que condiciona la extensión y geometría de los acuíferos. Los depocentros mencionados y la profundización de las unidades en área de estudio en rumbo NE-SO tiene control sobre la dirección de flujo subterráneo. Se debe considerar que en el área de estudio presenta un

depocentro que se profundiza NE-SO separado de los depocentros definidos en Brasil por el Arco de Rio Grande (Araujo, Franca y Potter, 1995) que eleva la altimetría del Basamento y las Formaciones suprayacentes. Más detalladamente, la geometría de los acuíferos puede considerarse caracterizada sobre la base de las siguientes consideraciones:

- La geometría de las unidades productivas, es decir de los niveles de areniscas medias-finas de buena selección que caracterizan a las Formaciones Botucatú y el M. Solari, deben considerarse de una jerarquía subordinada a la estratigrafía y las estructuras que controlan las Secciones Hidrogeológicas Infrabasaltica e Interbasaltica. La información de las perforaciones no es lo suficientemente detallada para determinar geometría de las unidades productoras de los acuíferos. Los datos de afloramiento tomados e interpretados por Jalfin, (1987), expuestos en el capítulo 4, distinguen para las eolianitas en general tres superficies limitantes. Los límites 1° orden corresponden a superficies que generalmente subyacen a estratos con estratificación horizontal y tabular pertenecientes a la facies PB, los de 2° orden corresponden a los límites entre los sets de un mismo coset, y los de 3° orden corresponden a superficies de reactivación dentro de un set. La variabilidad en el espesor de los sets en los contactos de 2° y 3° orden indicaría grandes variaciones de tamaño en las dunas que conforman el depósito. Los estratos cruzados son de geometría linguolide y son entonces en consecuencia limitados dentro de los de 1° orden. Por lo tanto es de suponer que esta geometría tenga influencia sobre los niveles de aporte particulares del acuífero contenido en la Formación Botucatú. En el miembro Solari de la Formación Serra Geral se describen características similares (Jalfin, 1987) que conjuntamente con el grado de cementación de estas unidades condicionaran el aporte de los niveles productores.
- Sobre la base de este criterio la correlación de los horizontes resistivos de los sondeos eléctricos verticales con la estratigrafía en la provincia de Entre Ríos, es posible localmente y con el apoyo de las perforaciones cercanas a los mismos, interpretar sondeos paramétricos aptos para cada zona en particular evitando extrapolarlos a grandes distancias. Reinterpretando la información existente se proponen a continuación tres áreas con correlaciones posibles entre horizontes resistivos y estratigrafía características para cada una de ellas separadamente. Las mismas se denominarán Federación/Concordia, Colón/Concepción del Uruguay y Villa Elisa/ Nogoyá. Estas a su vez pueden considerarse como representativas de las áreas norte y centro y sur-suroeste del área de estudio. Las mismas permiten caracterizar las Secciones Hidroestratigráficas propuestas y en algunos casos cuando el contraste lo permite, como los acuíferos de la Formación Paraná, se identifican unidades acuíferas incluidas en las mismas.

Como se expresó en 5.2.4 Los niveles geológicos continentes del Sistema Acuífero Termal no tienen afloramientos en el área de estudio del Sector Argentino (los afloramientos de posible correlación en la Provincia de Corrientes, Córdoba y Santiago del Estero no forman parte del Sistema Acuífero en este trabajo), se encuentran en el subsuelo a profundidades que superan, al menos, los 700m.b.b.p. El mapa geológico (7.1.1 y 7.1.2) permite observar la distribución de los afloramientos en Uruguay y las consideraciones ya expresadas en 4.5 y 4.6 (ver cortes y Diagrama 3D) permiten definir la cuenca en profundidad, considerando estos dos factores la Formación Serra Geral aflora aproximadamente desde el Río Uruguay y se extiende hacia el este hasta aproximadamente el paralelo 56° hacia el sur hasta el Río Negro, al Norte se extiende sobre Brasil (Rio Grande do Sul). La Formación Botucatú en la región se dispone como una franja norte sur de 10 a 100km de ancho ente los paralelos 56° y 55° aproximadamente. Las cotas topográficas aumentan gradualmente hacia el este de tal forma que los afloramientos de la Formación Serra Geral suelen encontrarse entre los 50–100 m.s.n.m, mientras que los afloramientos de la Formación Botucatú suelen hallarse por encima de los 100m.s.n.m pudiendo llegar a los 200 m.s.n.m.(Rivera).Hacia el Río Negro y hacia el Rio grande do Sul (Brasil) las cotas descienden progresivamente y no llegan a superar los 100 m.s.n.m.

6.3 Geometría, áreas de recarga propuestas y características hidrogeológicas e hidráulicas generales del Sistema Acuífero Termal

La Formación Serra Geral se sobreimpone a la secuencia de areniscas de la Formación Botucatú y hacia el oeste, la primera actúa como nivel confinante de la segunda. De hecho el acuífero en profundidad tiene características hidráulicas de un acuífero confinado en Uruguay (Cattaneo, 1992) y también en Argentina (ver 5.3.3) y de acuífero libre en afloramiento (Montaño y Carrión, 1990). Aún así, existen algunos factores que deben considerarse al definir con más detalle las áreas de recarga que *pueden incluir* aparte de la región de afloramiento de la Formación Serra Geral, estos factores son:

- Los niveles clásticos intercalados en las vulcanitas poseen características de niveles acuíferos (Acuífero Solari) con índices y parámetros hidráulicos similares al Acuífero Botucatú infrayacente (ver 5.3.3.). esto hace suponer una recarga continua de estas unidades o al menos similar a los acuíferos infrayacentes.
- La intensa fracturación de la Formación Serra Geral con al menos tres juegos de fracturas o diaclasas de distinto rumbo claramente definidos (ver 4.5 y 4.6), las estructuras distensivas previas, las discontinuidades entre coladas (por sobreimposición o disyunción columnar) y las discontinuidades entre las vulcanitas y los niveles clásticos, pueden, al menos en afloramiento y a profundidades someras, formar una red de flujo subterráneo o acuífero fracturado (Acuífero Arapey) con cierto grado de conexión hidráulica con los niveles acuíferos subyacentes
- La piezometría del Sistema Acuífero Termal presenta una altura máxima alcanzada en las perforaciones cercana a 100 m.s.n.m., suponiendo una condición de equilibrio hidrodinámico estable esta sería la cota máxima del área de recarga. La cota de 100 m.s.n.m. en la Rep. Ort. del Uruguay corresponde mayormente a zonas de afloramiento de la Formación Serra Geral, la Formación Botucatú suele aflorar a cotas superiores a los 150 m.s.n.m. Esta diferencia altimétrica corresponde a una área casi tan extensa en el terreno como la superficie de los afloramientos de la Formación Botucatú.
- En conjunto el análisis de la información hidroquímica referente al posible origen del Flúor y Arsénico permite suponer que al menos parte del área de afloramiento de la Formación Serra Geral puede participar de la recarga del Sistema Acuífero Termal.
- De acuerdo con Dellepere, (1992) los isotopos de ^{14}C y ^{13}C de las aguas de las perforaciones uruguayas permite inferir aguas con edades diferentes en las captaciones (entre Arapey y Guaviyú) lo que haría suponer diferentes distancias de circulación del flujo en profundidad. Debe sumarse a los isotopos el resultado del empleo de la SiO_2 como geotermómetro de donde se arriba a conclusiones similares.

El apartado 5.3 (capítulo 5) explica las características y parámetros hidráulicos del Sistema Acuífero Termal y en la medida de los posible y según sea el caso se hace especial referencia a sus unidades acuíferas Solari y Botucatú o bien las perforaciones profundas de la zona de estudio.

No se redundará aquí en la justificación de los parámetros (que ya se ha expresado en 5.3) y solo se presentará un resumen compuesto por las siguientes tablas que sintetizan las características hidráulicas de los acuíferos del Sistema Termal.

Como conclusión general se considera que las unidades acuíferas del Sistema Acuífero Termal tienen magnitudes similares en sus propiedades hidráulicas, razón que refuerza el concepto de considerar a este un Sistema Acuífero. Esta semejanza no impide la determinación de sus parámetros individualmente para cada unidad, por el contrario, es la falta de un adecuado diseño en las captaciones lo que dificulta su caracterización específica. Esto es compatible con el concepto hidroestratigráfico propuesto (ver cuadro hidroestratigráfico) y deben considerarse a el Sistema Acuífero Termal abarcando los acuíferos clásticos de Sección Interbasaltica y la Sección Infrabasaltica (ver 5.1.1).

El Sistema Acuífero Termal presenta las siguientes características hidrogeológicas e hidráulicas generales:

Acuífero	Profundidad de Techo[1] (m.b.b.p.)	Profundidad de la Base[1] (m.b.b.p)	Espesor (m)[1] .	Tempeaturas[2] previstas (°C)	Perforaciones Tipo
Solari	300 - 425[3]	640 – 765[3]	10 - 65[3]	32 – 39[3]	Cl-1, CU-1, Gchu-1
Botucatú	540 - 972	810 – 1185	70 - 313	42 – 47	F-1, C-1, VE-1, (Arapey Daymán Nicanor y Guaviyú)

Tabla N° 53. Variaciones regionales de las Profundidades de techo y base, espesor y temperaturas previstas para los Acuíferos del Sistema Termal sobre la base de las perforaciones existentes.
(1) Media para el área de estudio
(2) A partir del gradiente geotérmico a la profundidad del techo del Acuífero
(3) Rango de profundidades de las intercalaciones más potentes del M. Solari

Acuífero	Presión de carga Kg/cm2	Presión de descarga Kg/cm2	Nivel Estático m.s.n.m.	Nivel Dinámico m.s.n.m.	Caudal Surgente medio m3/h
Solari	0 – 1,86	0 – 0,89	1,3 – 38,21	-25,7 – 28,19	0 – 144
Botucatú	1,21 – 6,4	0,53 – 4,62	44,79 – 104,11	21,65 – 85,72	50 - 300

Tabla N° 54. Variaciones regionales de las Presiones de carga y descarga, niveles estáticos y dinámicos (calculados) y caudales surgentes para los Acuíferos del Sistema Termal sobre la base de las perforaciones existentes.

Acuífero	Porosidad Total %	Porosidad Eficaz %	Factor de retención %	Factor de Formación	Gradiente Hidráulico[4]
Solari	17[1] 20,4 – 21,62 [2] 24 [3]	10,8 – 12,28[1] 16,7 – 17,3 [2] 19,2 [3]	4,7 – 6,2[1]	17,3 – 21,6 [2]	7.10^{-4}
Botucatú	17[1] 17,3 [2] 20 - 24 [3]	12,66[1] 11,22 – 12,5 [2] 15,3 – 19,3 [3]	4,34[1]	27,3 – 28,0 [2]	9.10^{-4}

Tabla N° 55. Variaciones regionales de la Porosidad total, eficaz, factor de retención, factor de Formación y gradiente hidráulico (calculado) para los Acuíferos del Sistema Termal sobre la base de las perforaciones existentes.
(1) Métodos a partir de la granulometría
(2) A partir del perfilaje resistivo
(3) A partir del perfilaje Sónico
(4) Calculado a partir del mapa Piezométrico

Acuífero	Permeabilidad de Darcy m/día	Permeabilidad Intragranular [1] (cm^2)	Caudal Específico $m^3/h.m$	Transmisividad m^2/dia	Coeficiente de Almacenamiento[2]
Solari	8,06[1] 16,94	$9,34.10^{-5}$	5,3 – 14,27	376,38	1.10^{-4}
Botucatú	6,21[1] 13,74	$7,23.10^{-5}$	5,18 – 14,79	367,10 – 555,19	1.10^{-4}

Tabla N° 56. Variaciones regionales de la Permeabilidad de Darcy, Permeabilidad Intragranular, Caudal Específico, Transmisividad y Coeficiente de almacenamiento (inferido) para los Acuíferos del Sistema Termal sobre la base de las perforaciones existentes.
(1) Métodos a partir de la granulometría
(2) Inferido a partir de la ocurrencia del acuífero

Además el Sistema Acuífero Termal en el área de estudio se encuentra sometido a un gradiente geotérmico comprendido entre 0,022 - 0,024 °C/m y se estima una velocidad real de flujo horizontal estimada entre $1,43.10^{-5}$ – $1,79.10^{-5}$ cm/seg varios órdenes de magnitud menor que su velocidad máxima de Darcy estimada en $7,38.10^{-2}$ cm/seg.

6.4 Características Hidroquímicas e Isotópicas del Sistema Acuífero Termal

El rasgo más significativo producto de este estudio, sobre la hidroquímica del Sistema Acuífero Termal es la identificación de dos Zonas Hidroquímicas claramente definidas. Podría considerarse como una tercera zona al área de recarga atendiendo a la clasificación hidroquímica del acuífero libre contenido por la Formación Botucatú en las áreas de afloramiento realizada por Montaño Xavier y Collazo Caraballo, (1998). En esta zona de recarga debería considerarse la hidroquímica del Acuífero Arapey parcial mente tratada en el estudio del MGAP-MTOP, (1995). Se resumen aquí como conclusión, la caracterización de las áreas ya tratadas en el apartado 5.4 y 5.5 incluyendo una reseña a las características de área de recarga

Zona Hidroquímica de Recarga

La caracterización Hidroquímica comprendió a las aguas contenidas por el Acuífero Guaraní (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998), que incluye niveles paleozoicos. En el área aflorante las aguas contenidas por las Formaciones Botucatú (Rivera) y Piramboiá (Tacuarembó) se clasifican como cloruradas cálcias y bicarbonatadas cálcicas, la concentración de Calcio supera la de Sodio, de acuerdo con estos autores, consecuente de la cementación de las unidades en afloramiento.

En la zona de Salto, en la República Oriental del Uruguay, el acuífero Arapey presenta porosidad secundaria por fracturación, diaclasamiento e incluso a nivel vacuolar hay interconexión, (MGAP-MTOP, 1995). Esto permitió definir direcciones de escurrimiento relacionadas a las estructuras de superficie con rumbos noroeste–sureste y norte-sur. Los pozos de la región poseen profundidades diferentes a intervalos diferentes entre 10-20 m.b.b.p., 20-30 m.b.b.p., 30-40 m.b.b.p. y 60 m.b.b.p.

La hidroquímica de esta unidad acuífera en la región de Salto, sobre 10 muestras en la región, fue clasificada como bicarbonatada cálcica, con valores de TDS entre 200-410 mg/dm^3 y conductividades entre 342-759 µS/cm, pH entre 7,0 –7,6 y temperaturas en boca de pozo de 19-23 °C (MGAP-MTOP, 1995).

Zona Hidroquímica I:

Se caracteriza por aguas dulces (TDS<1500mg/dm3), Blandas a Semiduras, de alta alcalinidad, tipo Bicarbonatada Sódica a Cloruro-Sulfatada Sódica (Piper, 1958). En general potables (Código Alimentario Nacional, 1997) restringida por la concentración de F que puede exceder la norma. La aptitud para riego es limitada con índices de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) entre 3 –44 y un promedio de 12, un RAS ajustado entre 6 – 46 y un promedio de 17.

Presenta aguas sobresaturadas en carbonatos (Calcita y Aragonita) y con grados de saturación variable para las diversas variedades cristalinas de SiO_2 (Calcedonia y Cuarzo). Las relaciones de cationes y aniones (5.4.2 y 5.4.3) las relacionan con el área de recarga hacia el oeste de la zona de estudio donde afloran estas unidades.

Los gráficos 72, 73 y 74 muestran las relaciones de especies mayoritarias de muestras promedio en gráficos de Piper (1958) y triangulares de aniones y cationes de los principales acuíferos de la Sección Suprabasaltica. Nótese que las muestras representativas de los Acuíferos más someros como los Acuíferos Arapey probablemente relacionado con en el área de recarga, el Acuífero Salto en Uruguay, ya en áreas de confinamiento (e incluso Ituizangó en el área de estudio), tienden hacia una relación de especies mayoritarias ricas en HCO_3^- y Ca^{2+} semejante a las que podrán suponerse en las áreas de afloramiento y recarga de las Formaciones geológicas continentes del Sistema Acuífero Termal en profundidad.

Zona Hidroquímica II:

Se caracteriza por aguas salobres a saladas (TDS<15000mg/dm3), Duras, de alta alcalinidad, tipo Clorurorada Sódica (Piper, 1958). Excede en varios parámetros los límites de potabilidad (Código

Alimentario Nacional, 1997). Totalmente Inapta para riego con índices de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) entre 37 –69 y un promedio de 60, un RAS ajustado entre 72 – 194 y un promedio de 150.

Presenta aguas sobresaturadas en carbonatos (Calcita y Aragonita) e insaturadas variable para las diversas variedades cristalinas de SiO_2 (Calcedonia y Cuarzo). Las relaciones de cationes y aniones (5.4.2 y 5.4.3) permiten suponerlas como aguas de mezcla con cierto grado de conexión con las aguas provenientes del área de recarga y cierta participación en al composición de aguas connatas o por poseer (o haber poseído) conexión hidráulica lateral y/o vertical.

A través de discontinuidades (lineamientos estructurales) podrían conectarse con los acuíferos de la Sección Suprabasaltica, en particular el Acuífero de la Formación Paraná de origen marino cuya aparición en registro geológico de profundidad comienza casi a la misma latitud en la que se encuentra el límite entre la Zona Hidroquímica I y II. Téngase en cuenta que el gradiente hidroquímico entre Colón-1 y Villa Elisa-1 es aproximadamente de 420 mg/dm^3 de Sales Totales por Kilómetro, mientras que entre Colón-1 y Arapey es de 2 mg/dm3 por kilómetro.

Características Hidroquímicas de los Acuífero Botucatú y Solari

La diferenciación hidroquímica de las aguas de estos acuíferos se relaciona con la diferenciación en los valores de concentración de Flúor y Arsénico del Acuífero Solari que suelen ser superiores a los valores de concentración del Acuífero Botucatú que se caracteriza por el Hierro y Manganeso. Esta diferenciación se ha tratado en el apartado 5.4.5., donde se observa la relación entre dichas especies minoritarias puede emplearse como criterio para diferenciar la proveniencia o magnitud de l aporte de uno u otro acuífero en las perforaciones.

La concentración de SiO_2 posee diferentes condiciones de saturación en ambos acuíferos. Esta diferenciación puede explicarse a partir de que las aguas del Acuífero Solari no superan la temperatura calculada en profundidad a partir del gradiente geotérmico. Se diferencian de las aguas del Acuífero Botucatú porque estas tienen condiciones de sobresaturación con variedades de sílice que determinan temperaturas mayores entre estas y las aguas del Acuífero Solari, sin superar las esperables a esa profundidad por el gradiente geotérmico.

6.5 Evaluación de las Reservas y Recargas. Modelo Hidrogeológico Conceptual

El denominado en este estudio Sistema Acuífero Termal de la cuenca Chacoparanense Oriental Argentina constituye un extenso acuífero regional profundo, confinado (artesiano), con áreas de recarga que distan al menos a 200km de la región de ocurrencia en Argentina.

De los mapas estructurales (ver 7.1.3 al 7.1.6) se observa una profundización de las unidades acuíferas y los niveles confinantes en la dirección NE-SO desde las áreas de afloramiento y recarga hasta la región occidental del Mesopotamia Argentina y acompañado de una gradual reducción de espesor y cambios litológicos que provocan el desmedro de sus características hidráulicas. El Sistema Acuífero Termal se encontraría controlado por estructuras en profundidad que también tienen control sobre la hidráulica e hidroquímica del mismo. Este Sistema Acuífero Termal tendría su ocurrencia en profundidad en la región centro oriental de la provincia de Entre Río y la comarca noroccidental de la R.O del Uruguay. Las presiones de confinamiento se relacionan con la zona de mayor profundización al igual que la temperatura. Esta última depende exclusivamente del gradiente geotérmico calculado entre 0.208-0,024°C/m. La piezometría permitiría inferir el límite teórico del confinamiento, dejando una zona intermedia que puede aumentar el área de recarga tradicionalmente supuesto para estos acuíferos (Pompeu Dos Santos, 1983; Roma, 1983; TAHAL, 1986, HIDROSUD, 1988, Montaño y Carrion, 1990; Cattaneo, 1992, Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998). La dirección de flujo sitúa al sector argentino del Sistema Acuífero Termal en al zona de "descarga" o "aguas abajo" del mismo.

Se identifican tres zonas hidroquímcas una de ellas en superficie que corresponden al área de recarga (Montaño Xavier y Collazo Caraballo, 1998) y dos a las unidades en profundidad, la Zona Hidroquímica I y II. Esta división se fundamenta en las asociaciones hidroquímicas de las especies

mayoritarias y posee cierto grado de vinculación con el control estructural del Sistema Acuífero. Las relaciones de concentración de F, As y Fe indican el grado de conexión con las rocas volcánicas.

A partir del Mapa Hidrogeológico (7.2.14) se ha calculado con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica la superficie total confinada y de recarga con el objetivo de realizar una primera aproximación a la valoración de las reservas totales y recarga anual potencial a partir de las precipitaciones.

Consideraciones previas sobre las reservas del recurso se citan para toda el área de extensión de las unidades Mesozoicas como potenciales acuíferos de la región considerando los Sistemas Acuíferos en Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina en conjunto. Albuquerque Rocha, (1996) calcula valores de reserva total almacenada de 37.000 Km^3, reserva activa de 60 km^3 y reserva explotable de 40Km^3., sin más aclaración.

Filí, et.al. (1998) determinan que de acuerdo a estimaciones preliminares, la reserva de agua dulce (o sea, aquella con menos de 1g/dm^3 de sales totales) sería "suficiente para abastecer a la población mundial actual de 5.500 millones de habitantes, a razón de 100 litros/día por habitante, durante 200 años", esta interpretación parte del supuesto de un volumen cercano a 40.150 Km^3, si bien no se aclara se entiende que se refiere a la extensión de estas unidades en toda América del Sur. Una estimación de reservas de este alcance excede el propósito de esta obra que se limitará a realizar una estimación de las reservas totales y recargas anuales por precipitación en el área de estudio. Dentro del área de estudio, en el área uruguaya de afloramiento de la Formación Botucatú (Tacuarembó) Roma, (1983) realiza una estimación de las recargas estimadas a partir de las precipitaciones con valores comprendidos entre 0.044 – 0.088 Km^3/año.

Se propone aquí para el calculo de las reservas totales del área de estudio considerar al Sistema Acuífero Termal en su conjunto. Ese cálculo es solo una aproximación o estimación sobre la base de la información existente y los criterios expuestos dentro del marco de este estudio. Por tratarse de una evaluación del recurso termal implica que dentro de esta evaluación de reserva existe la limitante de la temperatura del agua contenida en el acuífero que, por depender del gradiente geotérmico, se relaciona con la profundidad. Por lo tanto las aguas deben alcanzar una profundidad mayor a 300m. para alcanzar al condición de termalismo de Schöeller, (1962).

A este criterio debe sumarse un segundo aspecto limitante relacionado con la piezometría del Sistema Acuífero Termal que puede considerarse que no excede los 100 m.s.n.m. que como ya se dijo limita la cota de recarga. Según Mijáilov y Rusánov (1980) se definen en los acuíferos artesianos (en Europa oriental, Ucrania y Siberia Oriental) una zona intermedia con "un intercambio moderado de la aguas meteóricas y obstaculizado por el drenaje subterráneo", es decir, una zona de transición donde el acuífero no es enteramente confinado y puede existir cierta participación de la recarga vertical.

Esta zona intermedia, así considerada, comprendería los afloramiento de la Formación Serra Geral entre las cotas de 100-150 m.s.n.m. A cotas altimétricas inferiores y de acuerdo los mapas estructurales del Sistema Acuífero Termal (ver 7.1.3 al 7.1.6) comienza el incremento en la profundización de las unidades continentes del acuífero que permiten aumentar la temperatura de sus aguas.

A cotas altimétricas superiores suele aflorar la Formación Botucatú entendida por diversos autores como la zona de recarga (Roma, 1983; TAHAL, 1986; Montaño y Carrion, 1990; Cattaneo, 1992). En el calculo de reservas totales se consideraran las siguientes áreas calculadas para este estudio:

Area de Afloramiento de las Formaciones continentes del Sistema Acuífero Termal (Uruguay)

Formación	**Superficie Km^2**
Serra Geral (Arapey)	48500
Botucatú y Piramboiá (Rivera y Tacuarembó)	3850

Area Total en Subsuelo de las Formaciones continentes del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio (Argentina y Uruguay)

Zonas	Superficie Km^2
Zona Hidroquímica I[(1)]	63500
Zona Hidroquímica II	35000
Total	98500

[(1)] Incluye la zona intermedia

Area Total en Subsuelo Argentino de las Formaciones continentes del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio

Zonas	Superficie Km^2
Zona Hidroquímica I	15000
Zona Hidroquímica II	35000
Total	50000

Area Total en Subsuelo Uruguayo de las Formaciones continentes del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio

Zonas	Superficie Km^2
Zona Hidroquímica I[(1)]	48500
Zona Hidroquímica II	0
Total	48500

[(1)] Incluye la zona intermedia

Area de recarga, área de la zona intermedia y área de confinamiento del Sistema Acuífero Termal en la zona de estudio Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14)

Zonas	Superficie Km^2
Area de Recarga [(1)]	3850
Zona intermedia[(2)] (Zona Hidroquímica I)	12100
Area de confinamiento Zona Hidroquímica I	51400
Area de confinamiento Zona Hidroquímica II	35000
Total	102350

[(1)] *Area de afloramiento de la Formación Botucatú y Piramboiá*
[(2)] *Area de afloramiento de la Formación Serra Geral entre cotas 100-150 m.s.n.m.*

Para el calculo de las Reservas totales se considerará un espesor medio productivo para el Sistema Acuífero Termal empleando el espesor medio de la Formación Botucatú en profundidad y el Miembro Solari (ver Capítulo 4) en conjunto de 250 metros y un coeficiente de almacenamiento de 1.10^{-4} en las áreas de confinamiento, se tiene la expresión.

$$\mathbf{(48)}\ R_t = (A.X_{es}.S)$$

Donde
R_t: *Reservas totales*
A: *Area de la unidad considerada*
X_{es}: *Espesor de la unidad considerada*
S: *Coeficiente de almacenamiento*

Reservas Totales del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio

Zonas	**Reservas Totales en Km^3**
Zona intermedia[1] (Zona Hidroquímica I)	0,3025
Area de confinamiento Zona Hidroquímica I	1,285
Area de confinamiento Zona Hidroquímica II	0,875
Total	2,4625

[1] *Area de afloramiento de la Formación Serra Geral entre cotas 100-150 m.s.n.m de considerarse confinada*

Las reservas totales calculadas para el Sistema Acuífero Termal en el área de estudio comprenderían un volumen total de 2,4625 Km^3 si se considera la Zona intermedia como confinada y de 2,1600 Km^3 sin considerarla. Esta zona intermedia correspondería al 12, 3% de las Reservas Totales.

Las reservas de al Zona Hidroquímica I corresponde a aguas dulces (de menos de 1g/dm^3de sales totales) con una Reserva Total de 1,5875Km^3 considerando incluida la zona intermedia, corresponde al 64.46% de la Reserva Total del Sistema Acuífero Termal. La zona intermedia representa el 23,54% de la Zona Hidroquímica I.

La Zona Hidroquímica II corresponde a aguas salobres-saladas (más de 10g/dm^3 de sales totales) aún de importancia por tratarse de un recurso termal tiene una Reserva Total de 0,875Km^3 y corresponde al 35.53% de la reserva total del Sistema Acuífero Termal.

El Sector Argentino del Sistema Acuífero Termal posee las siguientes Reservas Totales en la diferentes Zonas Hidroquímicas:

Reservas Totales en el Sector Argentino del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio

Zonas	**Reservas Totales en Km^3**
Area de confinamiento Zona Hidroquímica I	0,375
Area de confinamiento Zona Hidroquímica II	0,875
Total	1,25

En el Sector Argentino del Sistema Acuífero Termal la Zona Hidroquímica I corresponde a aguas dulces (de menos de 1g/dm^3de sales totales) con una Reserva Total de 0,375Km^3 y corresponde al 30% de la Reserva Total del Sistema Acuífero Termal en dicho sector. La Zona Hidroquímica II corresponde a aguas salobres-saladas (más de 10g/dm^3 de sales totales) tiene una Reserva Total de 1,25Km^3 y corresponde al 70% de la reserva total del Sistema Acuífero Termal.

El Sector Uruguayo del Sistema Acuífero Termal posee las siguientes Reservas Totales en la diferentes Zonas Hidroquímicas:

Reservas Totales en el Sector Uruguayo del Sistema Acuífero Termal considerando las Zonas Hidrogeológicas sobre la base del mapa Hidrogeológico (7.2.14) para el área de estudio

Zonas	**Reservas Totales en Km^3**
Zona intermedia[1] (Zona Hidroquímica I)	0,3025
Area de confinamiento Zona Hidroquímica I	0,910
Total	1,2125

[1] *Area de afloramiento de la Formación Serra Geral entre cotas 100-150 m.s.n.m de considerarse confinada*

En el Sector Uruguayo del Sistema Acuífero Termal se encuentra en la Zona Hidroquímica I que corresponde a aguas dulces (de menos de 1g/dm^{3}de sales totales) con una Reserva Total de 1,5875Km^3. De este análisis se desprende que las reservas totales de agua dulce se estiman en 1,9625Km3 donde el Sector Uruguayo del Sistema Acuífero Termal contiene el 80.89% y el Sector Argentino el 19.11% del mismo. La recarga del sistema ocurre en el Sector Uruguayo, en las zonas de afloramiento y posiblemente con cierto grado de participación de la zona intermedia. esto puede evaluarse a partir de las precipitaciones medias e infiltraciones calculadas a partir de los datos meteorológicos de las estaciones en Uruguay (ver apartado 5.2.4).

Los gráficos 80, 81 y 82 permiten visulizar la distribución de las reservas totales en porcentajes para cada Zona Hidroquímica (gráfico 81) y para Argentina y Uruguay (gráfico 80 y 82). Nótese, que en el Subsuelo Argentino solo el 15% de las reservas totales comrresponden a la Zona Hidroquímica I (aguas con menos de 2000µS/cm). La Zona Hidroquímica II comprende el 36% y se encuentra en el Sector Argentino (aguas con menos de 10000µS/cm).

La fracción más importante de las reservas totlaes considerando la sumatoria de la Zona Hidroquímica I y la intermedia se encuentran en sector uruguayo y comprenden el 49% de las mismas, todas ellas con aguas de buena calidad química.

Se considerará una precipitación media para el área de afloramiento de las Formaciones Piramboiá y Botucatú de 1300 mm/año sobre la base de las series de tiempo históricas de las Estaciones Tacuarembó, Rivera y Artigas (ver 5.2.4) con una infiltración calculada cercana al 3,5% de las precipitaciones. En la zona intermedia se tomará la precipitación media anual de las estaciones Salto, Paso de los Toros y Paysandú cercana 1100mm/año y una infiltración del 1%. Sobre la base de estos valores se obtiene una estimación de la Recarga Anual por precipitaciones a partir de la expresión:

$$\textbf{(49)}\ C_{ap} = A.(I/1.10^6)$$

Donde
C_{ap}: Recarga anual totales
A: Area aflorante de la unidad considerada en Km^2
I: Infiltración en (mm)

Recarga Anual en el Sector Uruguayo considerando las precipitaciones medias y el área de afloramiento.

Zonas	Superficie km^2	Infiltración % de p/p	Precipitaciones medias anuales	Recarga Anual Totales en Km^3
Zona de Recarga F.Botucatú y Piramboiá	3850	3,5	1300 mm	0.1751
Zona intermedia[1] F. Serra Geral	12100	1	1100 mm	0.1331

[1] *Area de afloramiento de la Formación Serra Geral entre cotas 100-150 m.s.n.m de considerarse confinada*

Considerando la zona intermedia la Recarga anual total estimada es de 0.3082Km^3 que sobre la reserva total del Sistema Acuífero Termal estimada en 2,4625Km^3 representa el 12.51%. Es evidente que el volumen de recarga anual es lo suficientemente elevado para saturar el Sistema Acuífero Termal y el agua excedente se drena por la escorrentía superficial, coincidiendo con la interpretación dada por el estudio del TAHAL (1986).

Por otro lado la explotación actual en las diez (10) captaciones del área de estudio (aún considerando un bombeo de 150m3/h en Concepción del Uruguay-1 y Gualeguaychú-1 previstos para el año 2000) es de 0,01778Km^3/año,con un caudal medio de cada una de ellas de 0.001778Km3/año (cercano a 200m^3/h). Esta cifra representa el 5,76% de al Recarga Anual. Esto significa que hipotéticamente se necesitarían alrededor de 130 perforaciones como las existentes para comprometer la Recarga anual.

Regionalmente el recurso termal de la región debe considerarse aún en una etapa de exploración cuya densidad de perforaciones constituyen una explotación limitada del recurso a partir de la cual deberán realizarse los estudios y tomarse las precauciones necesarias para una correcta explotación sustentable y la preservación del medio ambiente.

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

Tesis Doctoral

Autor

Lic. Adrian Angel Silva

Director

Dr. Jorge Néstor Santa Cruz

Codirector

Dr. Cesar Fernández Garrasino

1999

(TOMO II)

CAPITULO 7. CARTOGRAFIA TEMATICA

"Existe en la Naturaleza más orden del que aparece a primera vista, pero ello no se descubre hasta que este orden es representado"
E. Sigwart, 1948

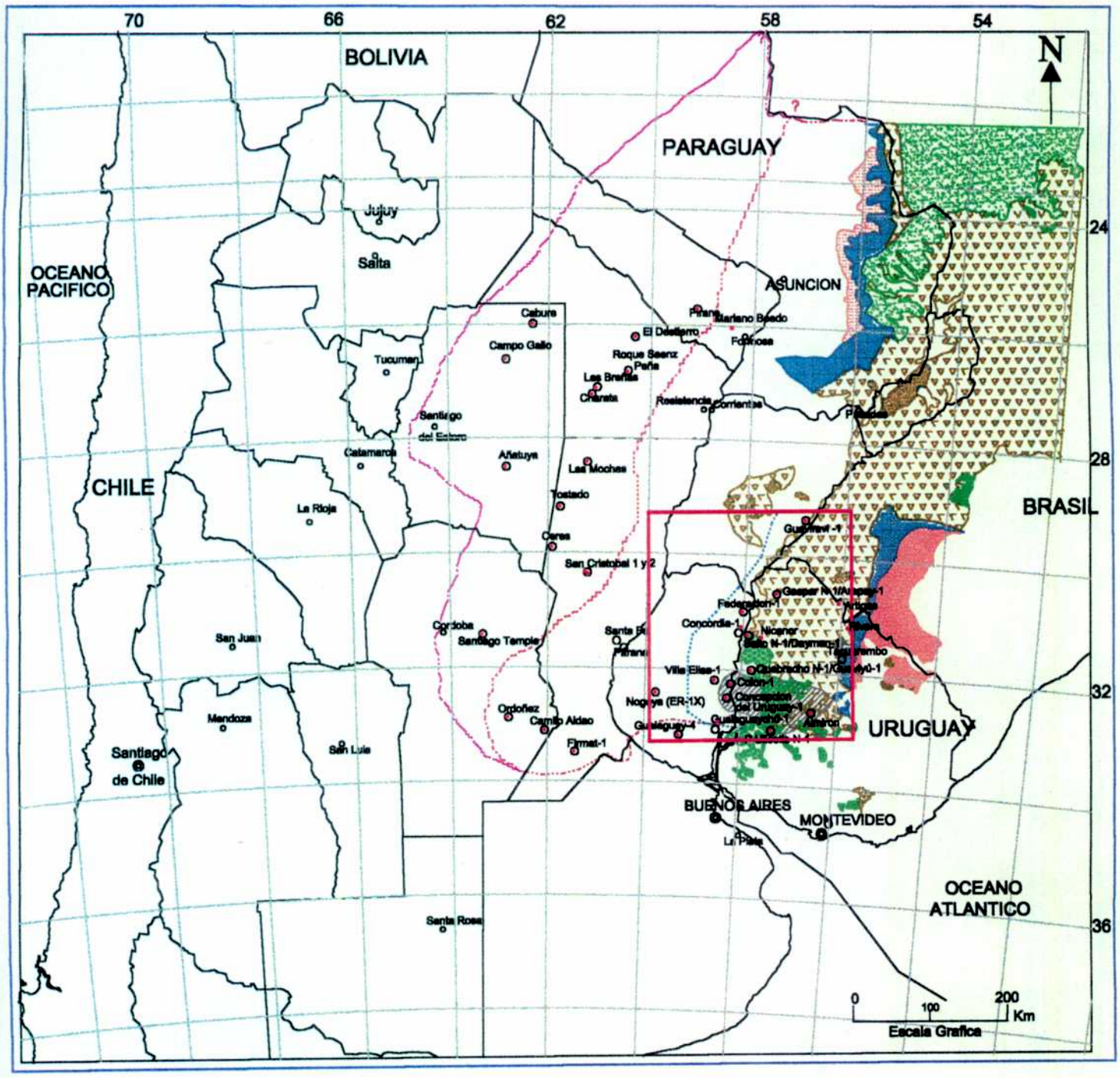
7.1. Geología y Estratigrafía

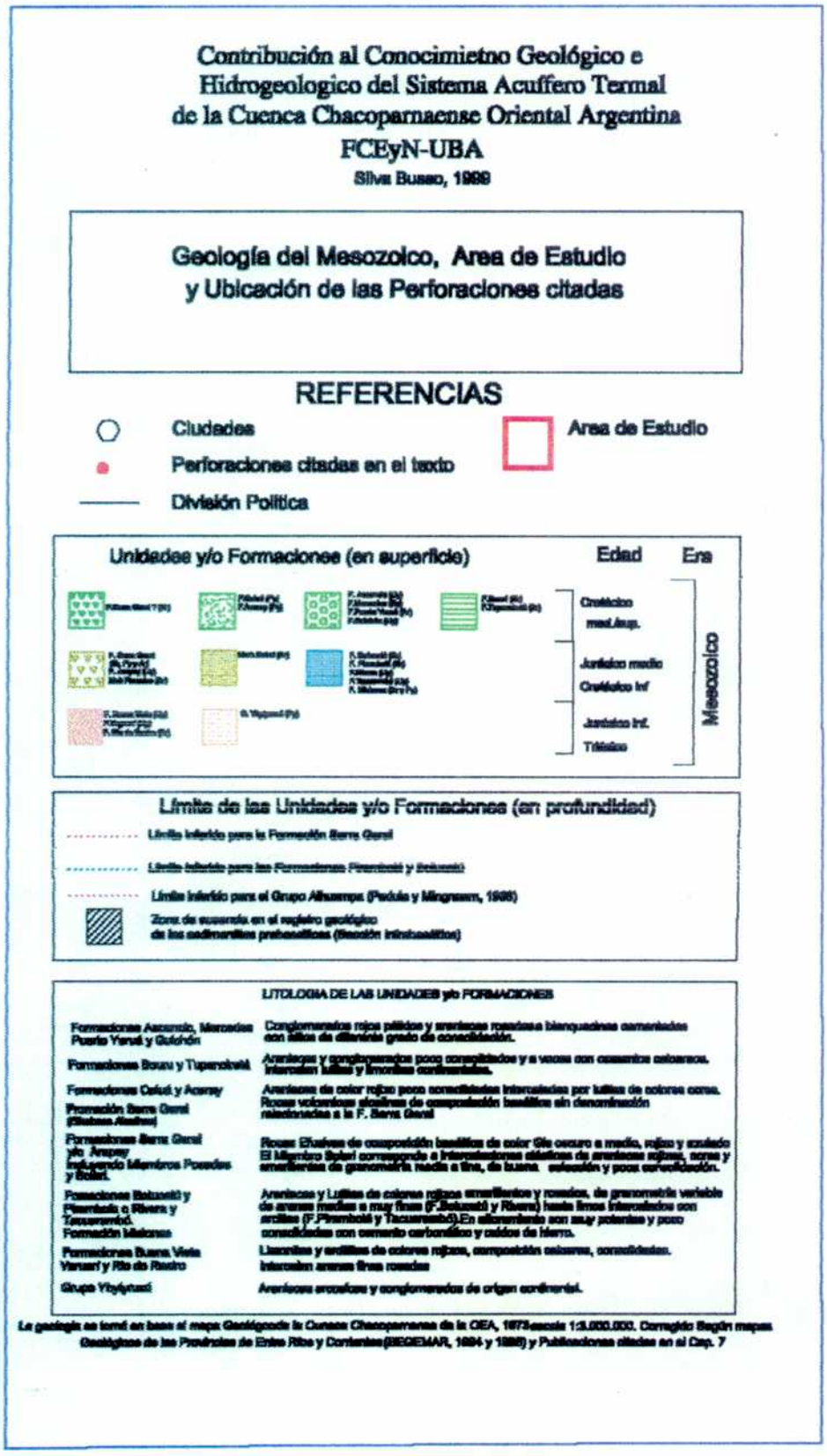
7.1.1 Geología del Mesozoico, Area de Estudio y Ubicación de las perforaciones citadas en la Cuenca Chacoparanense Argentina.

Generalidades:

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en el Mapa geológico de la OEA, (1973) originalmente en escala 1:3.000.000, el Mapa de Cuencas Hídricas (INCyTH, 1989), el mapa Hidrogeológico Nacional (INCyTH-UNESCO, 1991), el Mapa Geológico de Mente, A. (1993) para al región de la Provincia geológica de Paraná, el Mapa de Afloramientos Mesozoicos del Brasil (Sao Pablo, Paraná y Río Grande) por Araujo, Franca y Potter, (1995). El Mapa geológico se presenta a escala 1:10.000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:5.000.000) limita el área de estudio y contiene las perforaciones Argentinas y Uruguayas citadas en el texto. Los límites en profundidad propuestos se ha realizado considerando los antecedentes de Padula y Mingramm, (1968), Pezzi y Mozetic, (1989) Chebli, Tófalo y Turazzini, (1989), Fernández Garrasino (1989, 1992, 1996) y en base a la interpretación propuesta en este estudio. Estos límites deben considerarse sujetos a revisión y/o modificación con el aumento de la densidad de información en la región o nuevas perforaciones.

Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la región oriental con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral)


70
66
62
58
54
N
BOLIVIA
PARAGUAY
Jujuy
Salta
OCEANO PACIFICO
ASUNCION
Cabure
Campo Gallo
Tucuman
El Destierro
Roque Saenz Peña
Las Breñas
Charata
Resistencia
Corrientes
Santiago del Estero
Catamarca
Añatuya
Las Mochas
Tostado
CHILE
La Rioja
Ceres
San Cristobal 1 y 2
BRASIL
Federacion-1
Concordia-1
Nicanor
Villa Elisa-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Almiron
Ordoñez
Camilo Aldao
Firmat-1
Cordoba
Santiago Temple
San Juan
Mendoza
San Luis
Santiago de Chile
URUGUAY
BUENOS AIRES
MONTEVIDEO
La Plata
OCEANO ATLANTICO
Santa Rosa
24
28
32
36
0
100
200
Km
Escala Grafica



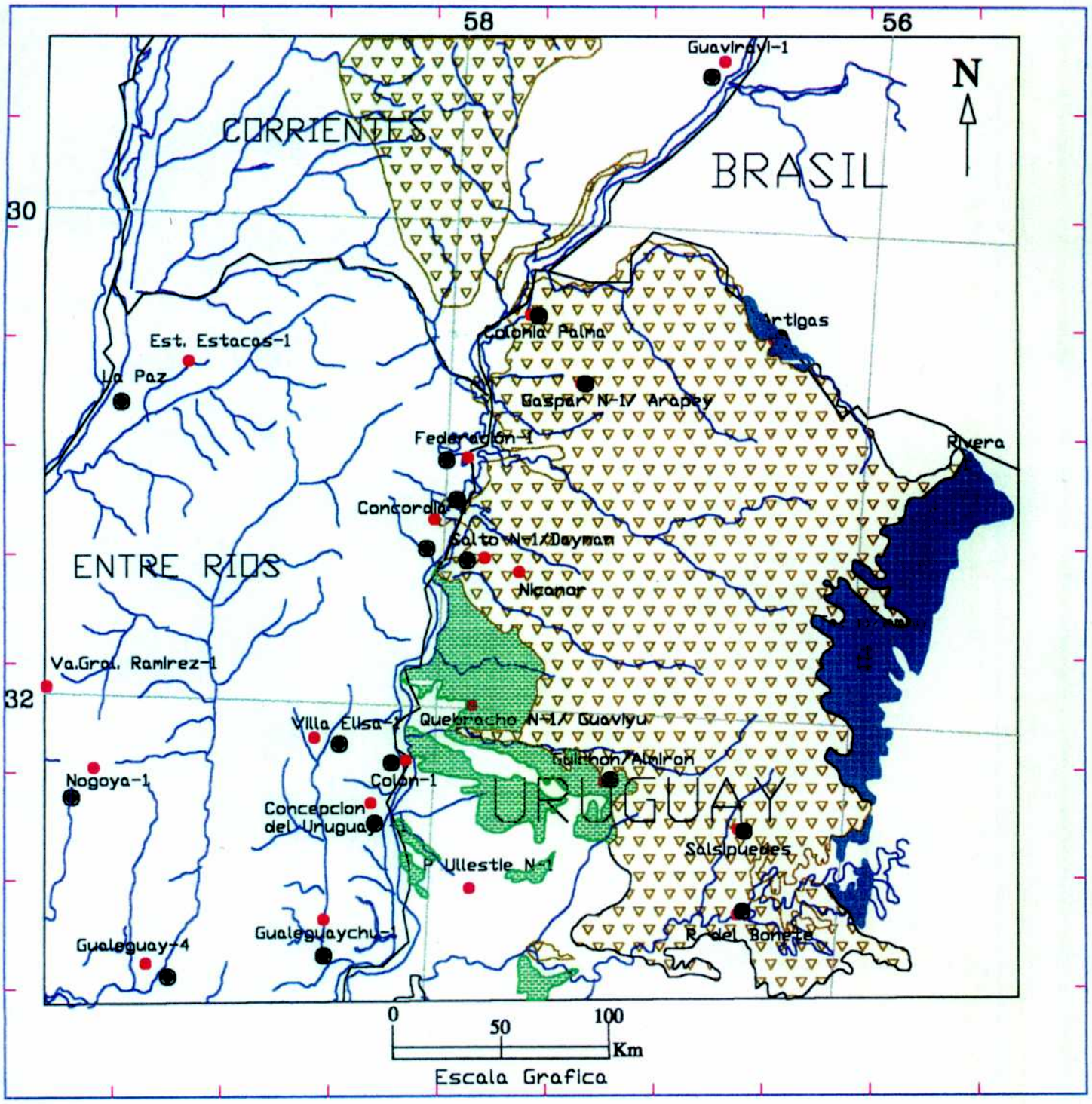
La geología se tomó en base al mapa Geológico de la Cuenca Chacoparanense de la CIEA, 1972-escala 1:3.000.000. Corregido Según mapas Geológicos de las Provincias de Entre Ríos y Corrientes (SEGEMAR, 1994 y 1995) y Publicaciones citadas en el Cap. 7

7.1.2 Mapa Geológico de las Unidades de Interés Hidrogeológico en el área de estudio

Generalidades:

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE., 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se presenta también el límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal en base a la interpretación propuesta en este estudio. Estos límites deben considerarse sujetos a revisión y/o modificación con el aumento de la densidad de información en la región o nuevas perforaciones.

Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviraví-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guithon/Almiron
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay
P. Ullestie N-1
Salsipuedes
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
P. del Bonete
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA
Silva Busso, 1999

Mapa Geológico de las Unidades de Interés Hidrogeológico en el área de Estudio

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Perforaciones
- Red Hidrográfica
- División Política
- Límite en prof.de las Fm. Pirambolá y Botucatú

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

Edad	Era
Cretácico med/sup	MESOZOICO
Cretácico Inf	
Jurásico medio	
Triásico medio	

- F. Mercedes (Uy)
- F. Asencio (Uy)
- F. Guichón (Uy)
- F. Puerto Yeruá (Ar)
- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- Mb. Solari (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Pirambolá (Br y Ar)

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

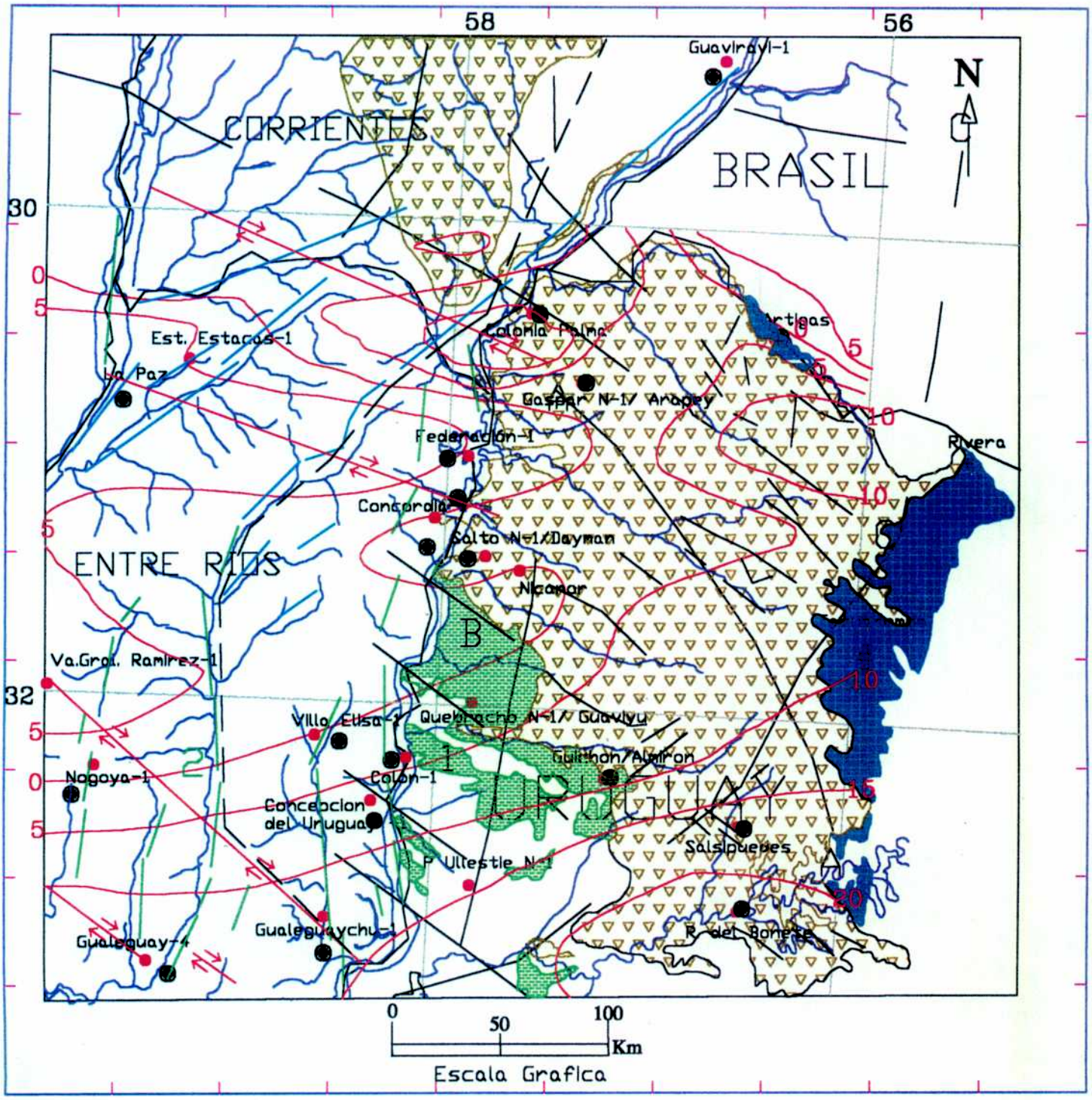
Froamción Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Mienbros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala nivles clásticos de arena fina a media de colores rojizoas, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambolá Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojisos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subanguiosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo. Son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la nisma una fracción caistica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambolá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.1.3 Mapa de Lineamientos Estructurales y Gravimetría en el área de estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa.

La gravimetría se presenta en base a la información de las cartas gravimétricas del IFIR, (inédita). Los lineamientos estructurales propuestos incluyen también los tomados en base a los antecedentes de Padula y Mingramm, (1968) y Gómez Rifas y Arcelus, (1996).


58
56
30
32
CORRIENTES
ENTRE RIOS
BRASIL
N
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Gaspar N-1/ Arapey
Federacion-1
Concordia
Salto N-1/Dayman
Ncamar
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guithon/Almiron
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay
P. Ulliestie N-1
Salsipuedes
Gualeguaychu-1
Gualeguay-1
R. del Bonete
Artigas
Rivera
B
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Mapa de Lineamietnos Estructurales y Gravimetría en el área de Estudio

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Perforaciones
- Red Hidrográfica
- División Política
- Límite en prof.de las Fm. Piramboiá y Botucatú
- 15 Curva Isogalica en mG
- Lineamientos Estructurales (Padula y Mingramm, 1968)
- Lineamientos Estructurales N-S
- Lineamientos Estructurales NO-SE
- Lineamientos Principales Predevónicos (Gómez Rifas y Arcelus, 1996)

A **Sutura de Sarandí de Yí -Las Animas**

B **Sistema de fallas normales del Río Uruguay**

C **Ciza y Falla Normal Carmelo-Masoller**

1 **Graben de Guichón**

2 **Subcuenca Nogoyá-Rosario**

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

F. Mercedes (Uy)
F. Asencio (Uy)
F. Guichón (Uy)
F. Puerto Yeruá (Ar)

F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
F. Arapey (Uy)
Mb. Posadas (Ar)

F. Rivera (Uy)
F. Tacuarembó (Uy)
F. Botucatú (Br y Ar)
F. Piramboiá (Br y Ar)

Mb. Solari (Ar)

Edad	Era
Cretácico med/sup	MESOZOICO
Cretácico inf	
Jurásico medio	
Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

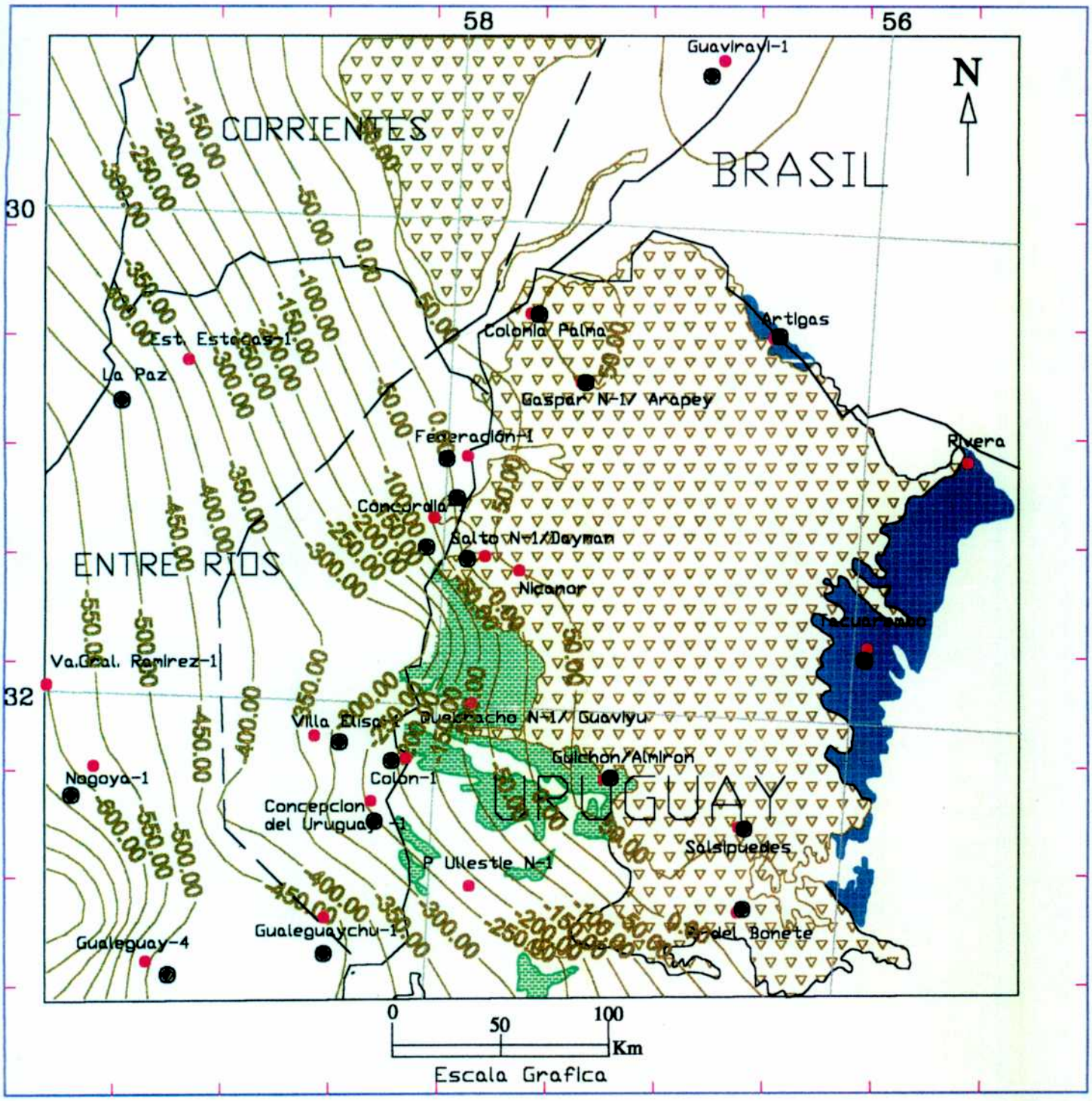
Froamción Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variole con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala nivles clásticos de arena fina a media de colores rojizoas, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojisos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de particulas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo. Son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la nisma una fracción calstica arcillosas dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.1.4 Mapa de Altimetría (cota) del techo de la Formación Serra Geral en el área de estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa

Las curvas están referidas al niveles del mar y han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información geológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 50 a –800 m.s.n.m. La equidistancia es de 50 metros igual para todo el intervalo.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Colonia Palma
Artigas
Est. Estacas-1
La Paz
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guichon/Almiron
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
P Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R. del Bonete
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Altimetría del Techo de la Foramación Serra Geral

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Perforaciones
- Red Hidrográfica
- División Política
- Límite en prof.de las Fm. Pirambóia y Botucatú
- Isocurvas (F. Serra Geral)

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

F. Mercedes (Uy)
F. Asencio (Uy)
F. Guichón (Uy)
F. Puerto Yeruá (Ar)

F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
F. Arapey (Uy)
Mb. Posadas (Ar)

F. Rivera (Uy)
F. Tacuarembó (Uy)
F. Botucatú (Br y Ar)
F. Pirambóia (Br y Ar)

Mb. Solari (Ar)

Edad	Era
Cretácico med/sup	MESOZOICO
Cretácico inf	
Jurásico medio	
Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

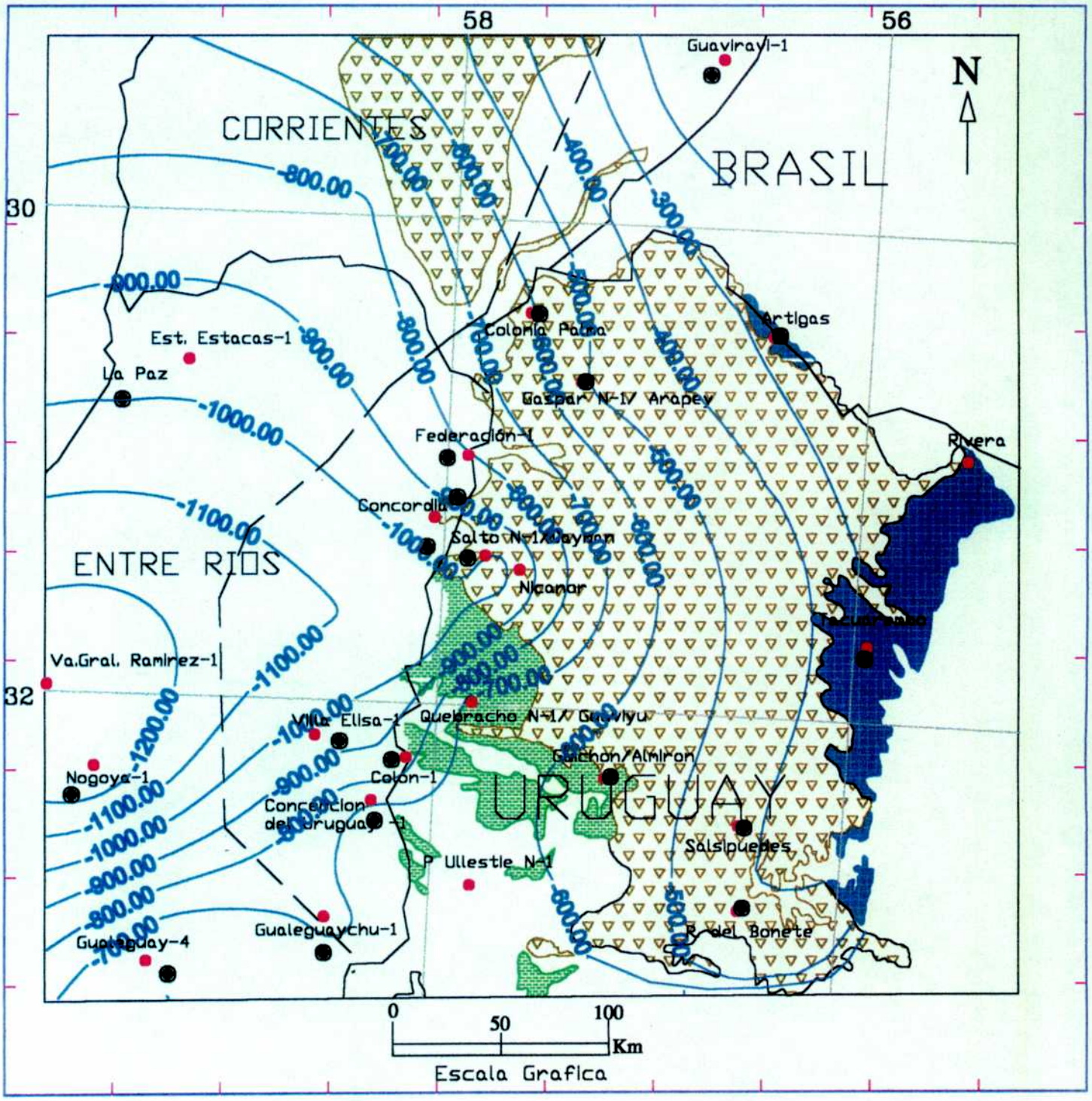
Froamción Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala nivles clásticos de arena fina a media de colores rojizoas, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojisos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de particulas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángula. Son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción calstica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.1.5 Mapa Altimétrico de la Base de la Formación Serra Geral en el área de estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa.

Las curvas están referidas al niveles del mar y han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información geológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre -300 a –1200 m.s.n.m. La equidistancia es de 100 metros igual para todo el intervalo. Debido a que la base de la Formación Serra Geral apoya sobre las Formación Botucatú en al región centro-norte, puede considerarse también representativa del techo de esta última. En la región centro-sur (Colón - Concepción del Uruguay) la Formación Serra Geral apoya sobre el Basamento Cristalino de la Cuenca. La región al SO (Nogoyá) y hacia el SE (Paso Uliestre - Almirón) sobre la Formación Yaguarí.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Daymán
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Nogoya-1
Colon-1
Guichon/Almiron
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
P Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
P. del Bonete
-800.00
-900.00
-1000.00
-1100.00
-1200.00
-700.00
-600.00
-500.00
-400.00
-300.00
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Altimetría de la Base de la Formación Serra Geral

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Perforaciones
- Red Hidrográfica
- División Política
- Límite en prof.de las Fm. Pirambóia y Botucatú
- Isocurvas de Profundidad de la Base (100)

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

F. Mercedes (Uy)
F. Asencio (Uy)
F. Guichón (Uy)
F. Puerto Yeruá (Ar)

F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
F. Arapey (Uy)
Mb. Posadas (Ar)

F. Rivera (Uy)
F. Tacuarembó (Uy)
F. Botucatú (Br y Ar)
F. Pirambóia (Br y Ar)

Mb. Solari (Ar)

Era	Edad
MESOZOICO	Cretácico med/sup
	Cretácico inf
	Jurásico medio
	Triásico medio

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

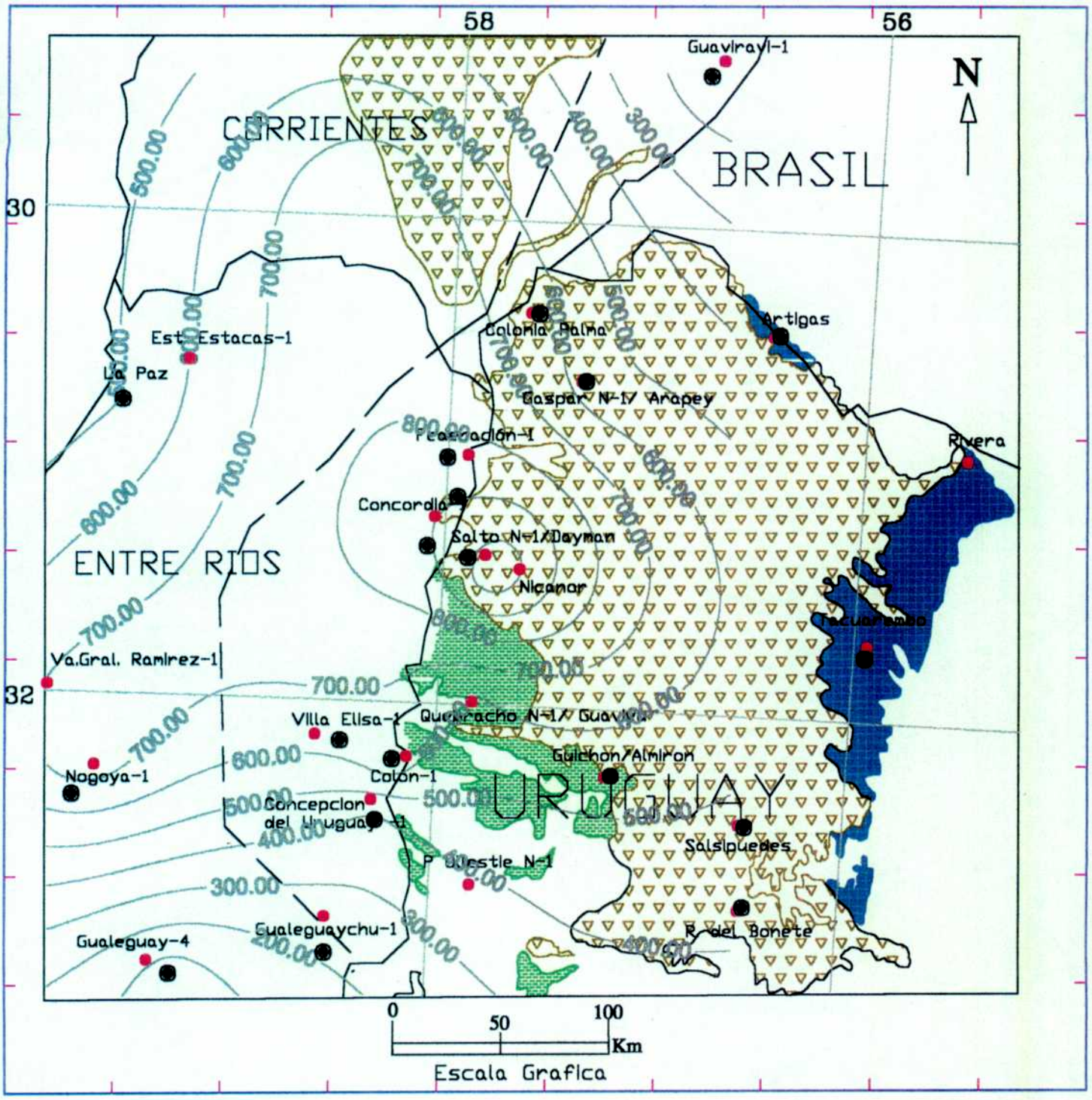
Froanción Mercedes Froanción Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variole con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala nivles clásticos de arena fina a media de colores rojizoas, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Froanción Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojisos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subanguiosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo. Son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción calstica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.1.6. Mapa Isopáquico de las Formación Serra Geral en el área de estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones *citadas en el texto* relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información geológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre -200 a –1000 .metros de espesor. La equidistancia es de 100 metros igual para todo el intervalo. Estas curvas incluyen, en la potencia total, al Acuífero Solari.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Colonia Palma
Artigas
Est. Estacas-1
La Paz
Gaspar N-1/ Arapey
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guichon/Almiron
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
P. Ollestie N-1
R. del Bonete
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isópacas de la Formación Serra Geral

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Perforaciones
- Red Hidrográfica
- División Política
- Límite en prof.de las Fm. Piramboiá y Botucatú
- Curvas isópacas en (m)

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

Edad	Era
Cretácico med/sup	MESOZOICO
Cretácico inf	
Jurásico medio	
Triásico medio	

- F. Mercedes (Uy)
- F. Asencio (Uy)
- F. Guichón (Uy)
- F. Puerto Yeruá (Ar)
- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- Mb. Solari (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Piramboiá (Br y Ar)

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Froamción Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arciliosos de alteración. Intercala nivles clásticos de arena fina a media de colores rojizoas, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojisos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de particulas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo. Son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción calstica arciliosas dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.1.7 Mapa de Síntesis de la información Geológica y Geofísica en el área de estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral), a excepción de los niveles sedimentarios de edad Cretacica que solo se incluyen de forma ilustrativa.

Se incluye de forma gráfica la información disponible detallando la ubicación geográfica de la misma y una breve reseña de sus magnitudes.

58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
URUGUAY
ENTRE RIOS
Guaviravi
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
La Paz
Federacion
Salto N-1/Dayman
Concordia
Nicanor
Tacuarembo
Puerto Yerua
Palmar Savia
Quebracho N-1
Guaviyu
Palmar
Villa Elisa
S. Jose
1 de Mayo
Colón
Nogoya
Guichon/Almiron
Concepcion del Uruguay
P Ulleste N-1
Salsipuedes
R. del Boneto
Gualeguaychu
Gualeguay
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FECEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Mapa de Síntesis de la Información Geológica y Geofísica Perfies litológicos, Prospeciones Geoeléctricas y Líneas Sísmicas en la zona de estudio

REFERENCIAS

Ciudades o Pueblos

Red Hidrográfica

División Política

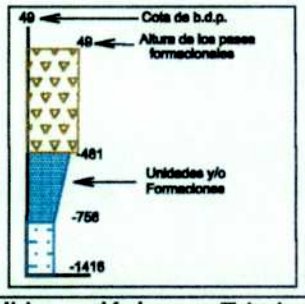
Perforaciones citadas en el texto

Resistividad (ohm.m)
Techo (m) Base (m)
Espesor (m)

Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) (atribuibles a F. Serra Geral)

Punto Número YPF | Altura (m.s.n.m) / Velocidad (m/s)

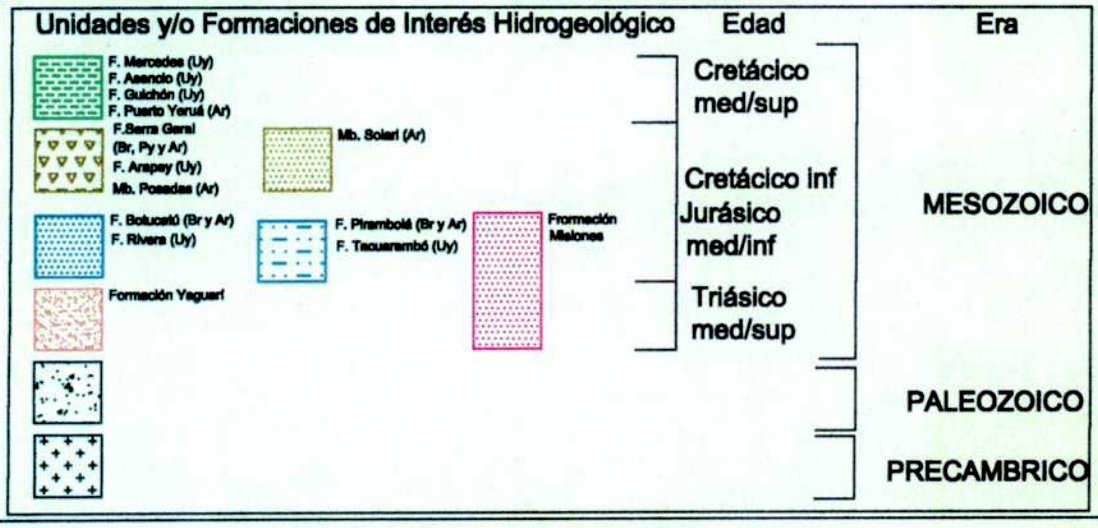
Líneas Sísmicas (YPF)



Techo y Base de las unidades de estudio en los pozos de la región. Profundidades en m.s.n.m.

* Fondo de pozo

** Tramo de interes



LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Froamción Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercla niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros Posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agmidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye tambien las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboia Formación Rivera Formación Tacuarembó Formación Misiones	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosas dominante atribuible a la Formación Piramboia o Tacuarembó

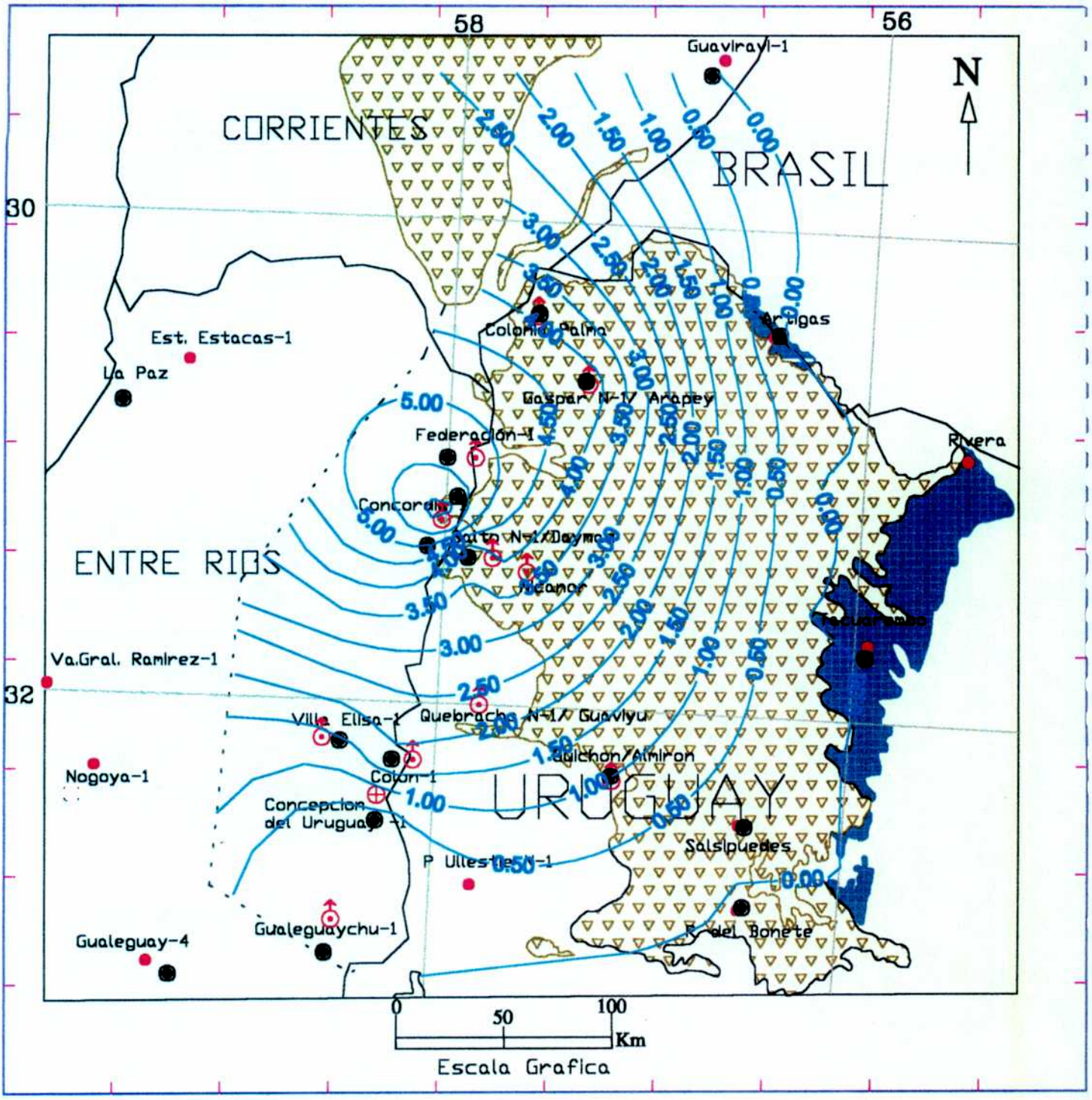
La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2 Hidrogeología, Hidráulica e Hidroquímica

7.2.1 Mapa de Isolíneas de Presión de Confinamiento para el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 0.5 a – 6. kg/cm^2 de presión. La equilínea es de 0,5 Kg/cm^2 igual para todo el intervalo.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Arroyo Palma
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Concordia
Salto N-1/Daymo
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Ville Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
Rivera
Tacuarembo
Salsipuedes
R. del Bonete
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isocurvas de Presión de Confinamiento para el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes
- Isocurvas de Presión de Confinamiento (Kg/cm2)

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Cretácico inf	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)	Jurásico medio	
	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

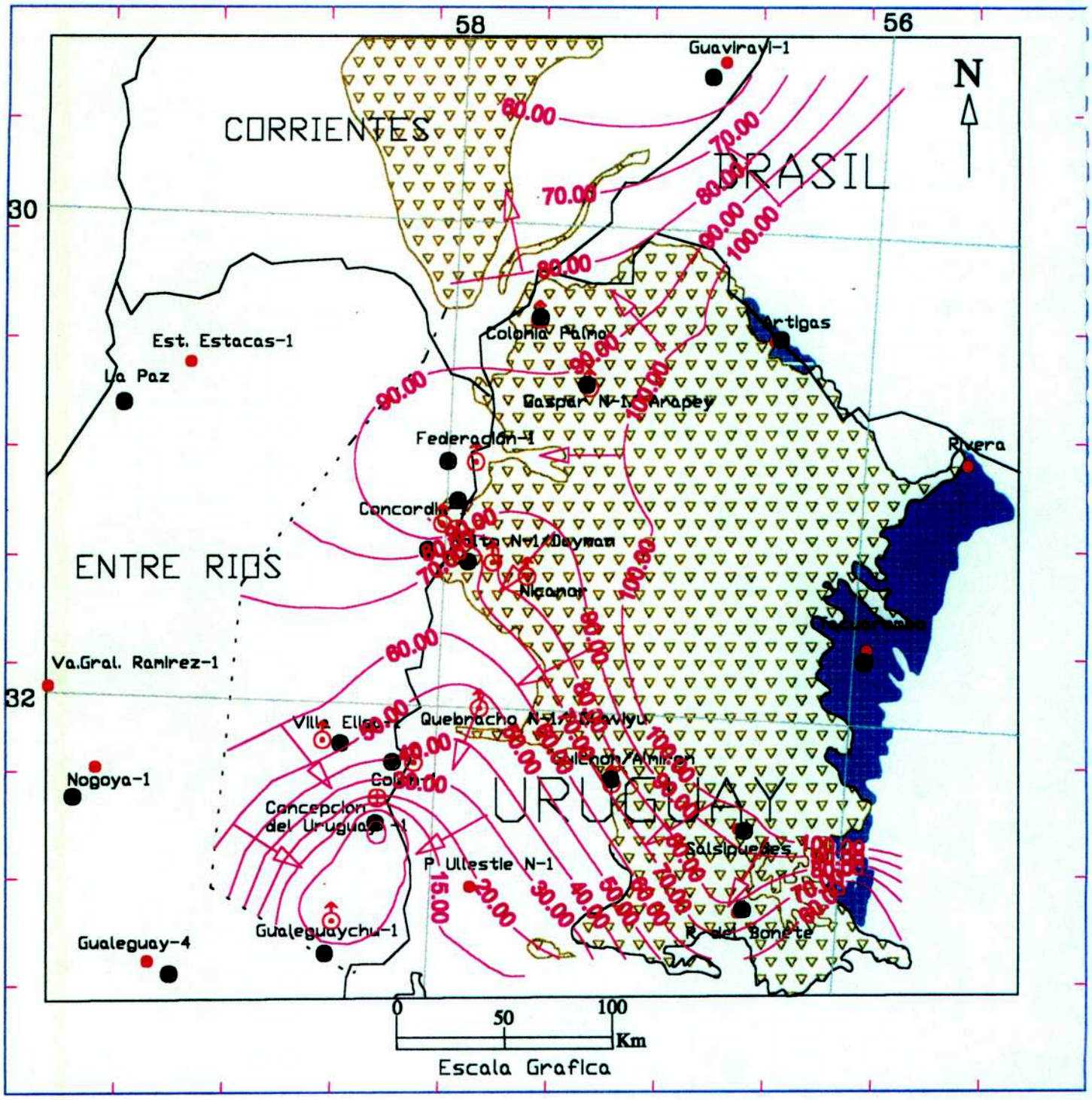
Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados. Intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con nivles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1970) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1995 y 1996) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.2 Mapa Piezométrico para el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 5 a 100. m.s.n.m.. La equidistancia es de 5 m igual para todo el intervalo. Se incluyen las líneas de flujo y el límite inferido para el área de confinamiento.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
ENTRE RIOS
BRASIL
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1
Arapey
Federacion-1
Rivera
Concordia
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Quebracho N-1
Nogoya-1
Colon
Concepcion del Uruguay-1
P Ullestie N-1
Salsipuedes
R. del Bonete
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
60.00
70.00
80.00
90.00
100.00
15.00
20.00
30.00
40.00
50.00
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Piezometría del Sistma Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Curvas Piezometrícas (m.s.n.m.)
- Líneas de flujo
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup Cretácico inf	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Jurásico medio	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

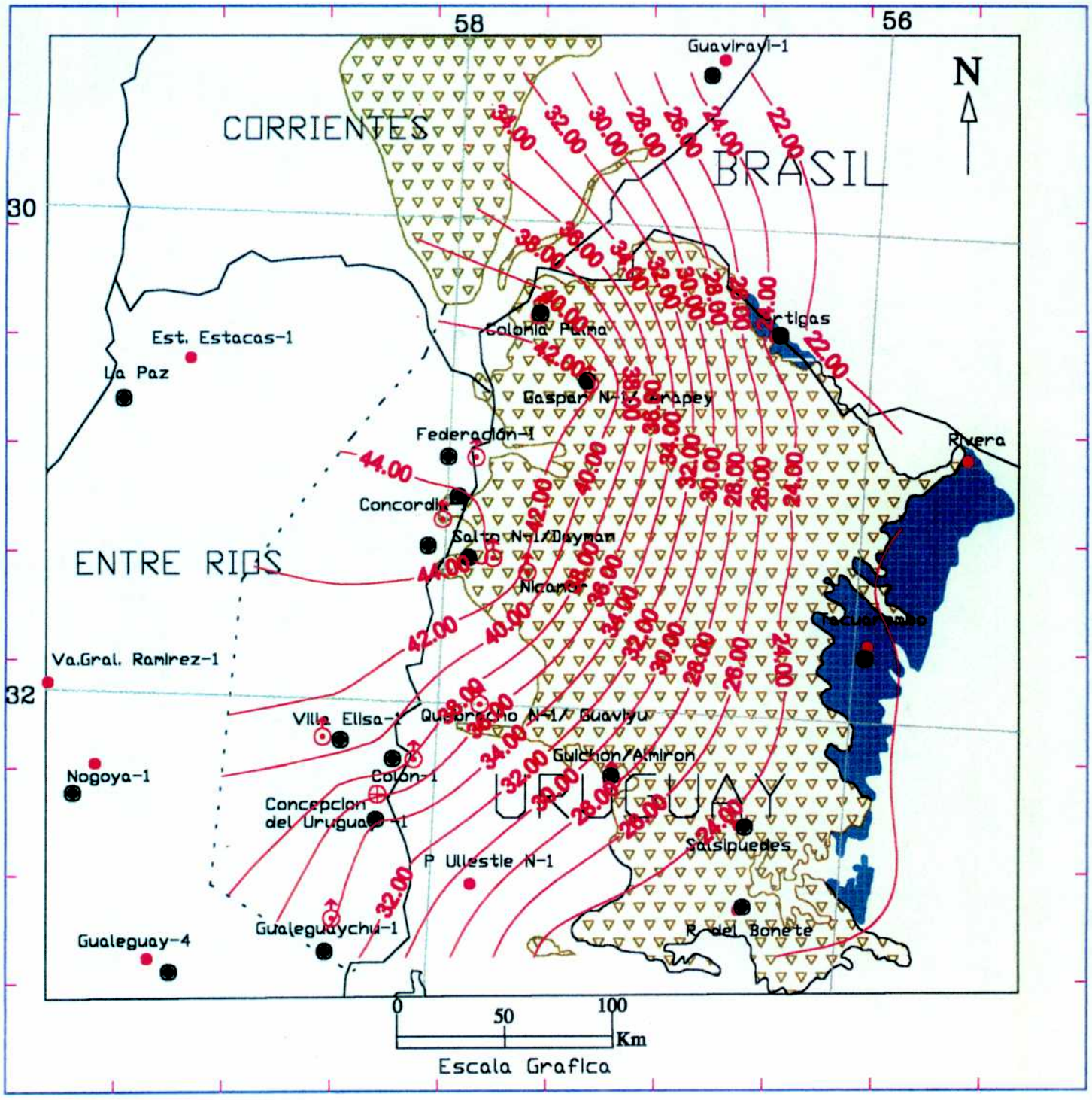
Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados. Intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación varible con nivles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1970) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1995 y 1996) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.3 Mapa de Isotermas en Profundidad para el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 22 a 44 °C. de temperatura. La equilínea de temperatura es de 2°C igual para todo el intervalo. La temperatura se ha calculado para la profundidad el techo del acuífero más productivo en función del gradiente geotérmico propuesto entre 0,022-0,024 °C/m.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Gaspar N-1 / Arapey
Federacion-1
Concordia
Salto N-1 / Dayman
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1 / Guaviyu
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Guichon / Almiron
P Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
Salsipuedes
R del Bonete
Rivera
Tacuarembo
Artigas
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isotermas del Sistema Acuífero Termal

(en base a la profundidad media de los acuíferos)

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isotermas en °C (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- Mb. Solari (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Pirambóia (Br y Ar)

Edad / **Era**

- Cretácico med/sup
- Cretácico inf
- Jurásico medio
- Triásico medio

MESOZOICO

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados. Intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación varible con nivles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosas dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1970) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1995 y 1996) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

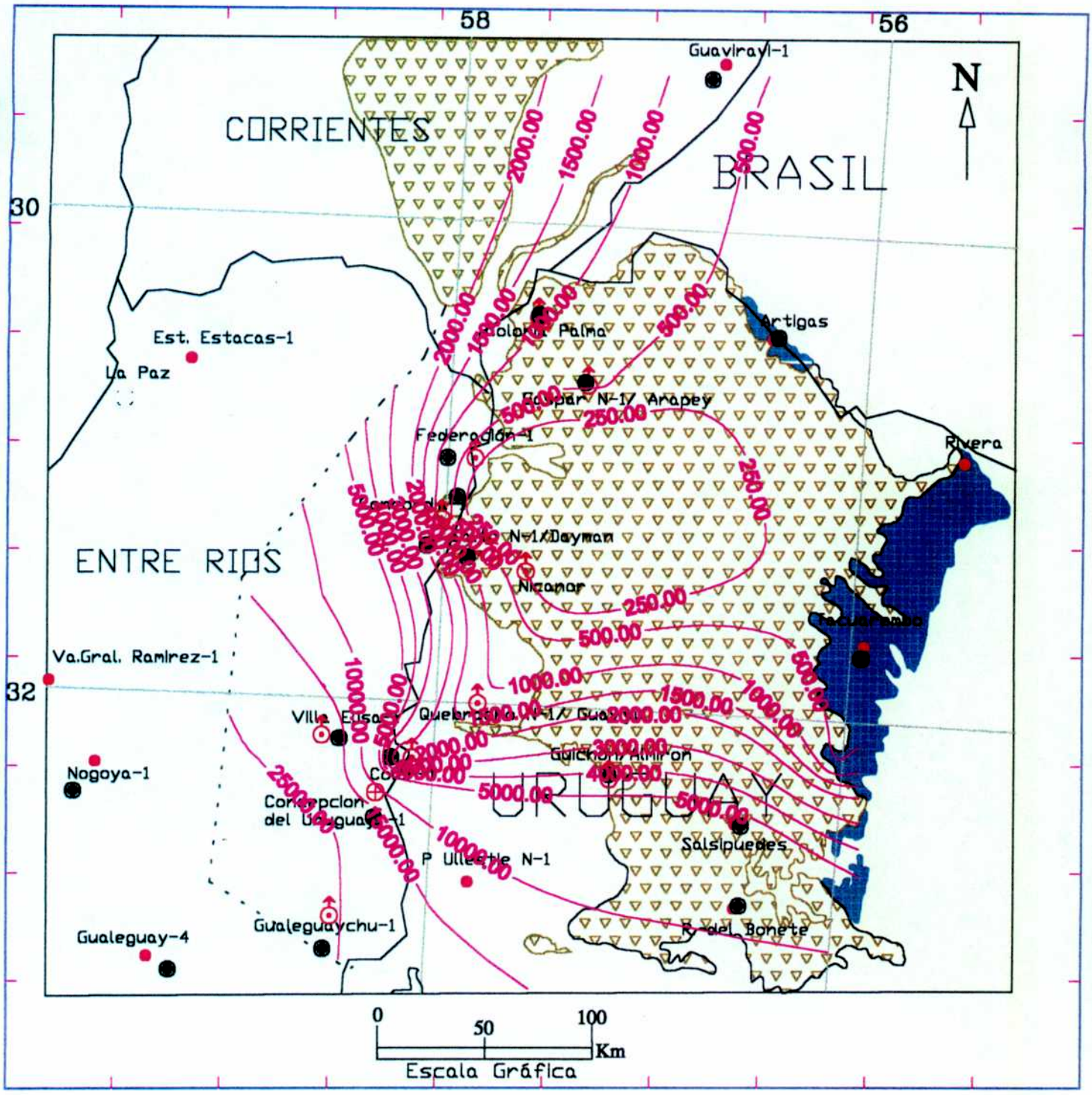
7.2.4 Mapa de Isocurvas de Conductividad del Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 250 a 25000 µS/cm, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (µS/cm)	Equiconcentración (µS/cm)
250 – 1000	250
1000 – 5000	1000
5000-25000	5000

Se ha considerado, (cuando se dispuso de la información) la conductividad medida en boca de pozo.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Federación-1
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Nogoya-1
Concepcion del Uruguay-1
P Ulleate N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
Artigas
Rivera
Tacuarembo
Salsipuedes
R. del Bonete
2000.00
1500.00
1000.00
500.00
250.00
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isocurvas de Conductividad del Sistema Acuífero Termal (medidas en boca de pozo)

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconductividad en µS/cm (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Cretácico inf	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)	Jurásico medio	
	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Froanción Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

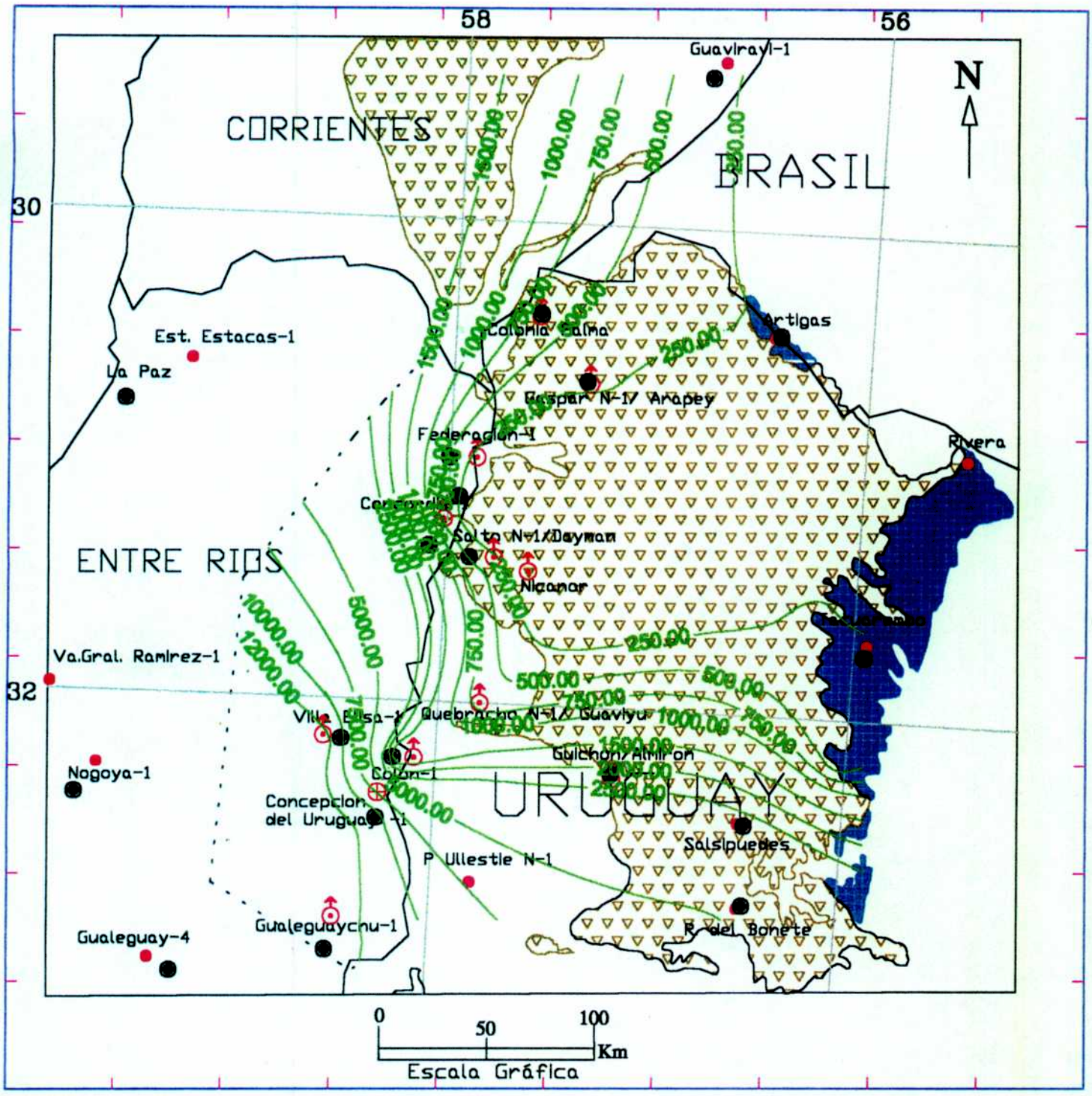
7.2.5 Mapa de Isocurvas de Sales Totales del Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 250 a 12000 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (µS/cm)	Equiconcentración (µS/cm)
250 – 1000	250
1000 – 5000	1000
5000-25000	2500

Se ha considerado, (cuando se dispuso de la información) la conductividad medida en boca de pozo.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federacion-1
Rivera
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Gualchon/Almiron
Colon-1
Nogoya-1
Concepcion del Uruguay-1
P. Ullestie N-1
Salsipuedes
R. del Bonete
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isocurvas de Sales Totales en el Sistema Acuífero Termal (medidas en boca de pozo)

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Sales Totales (mg/dm3)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
	Cretácico med/sup	MESOZOICO
	Cretácico Inf	
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar) Mb. Solari (Ar)	Jurásico medio	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Piramboiá (Br y Ar)	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

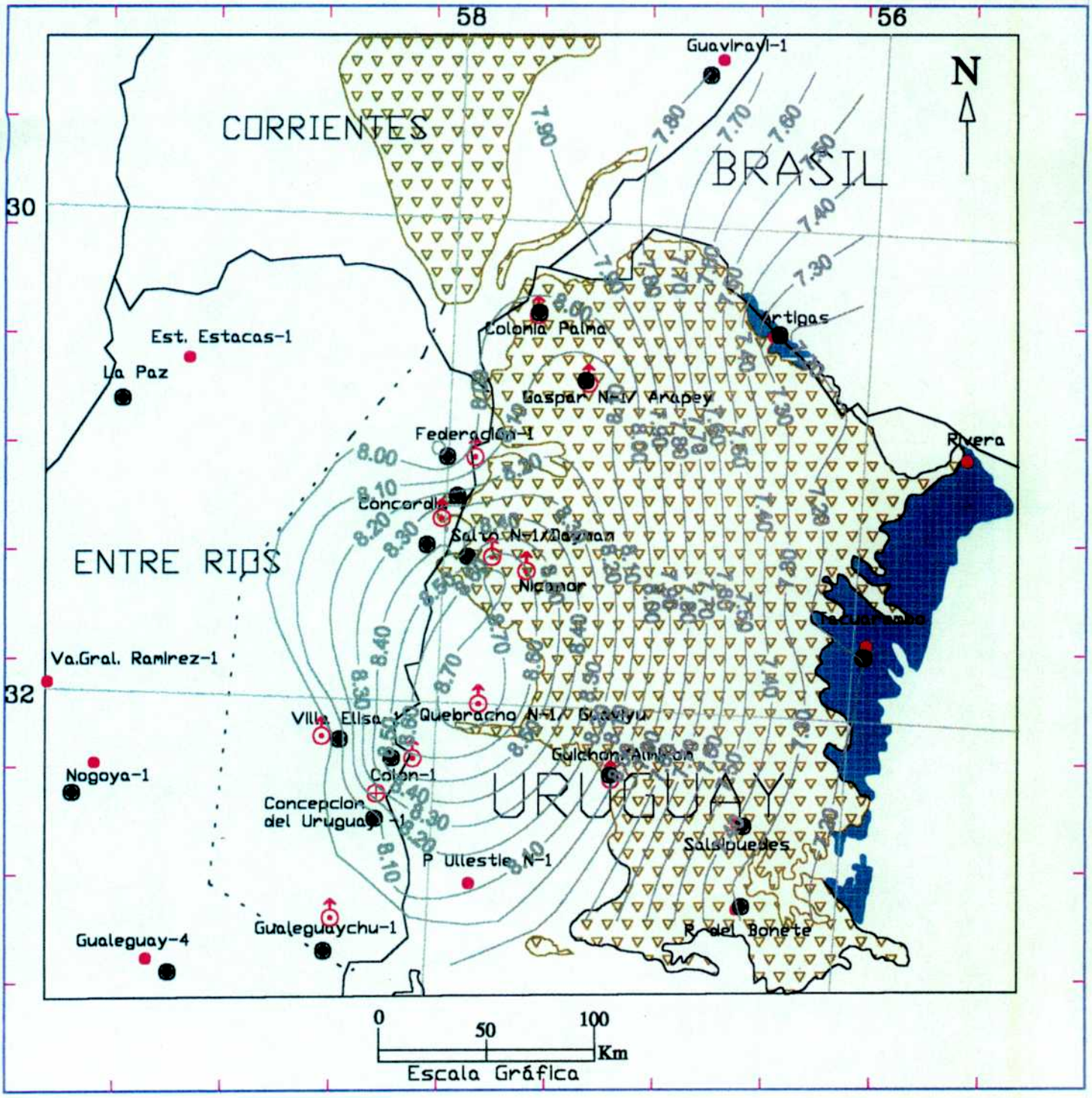
Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercla niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación varible con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agmidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.6 Mapa de Isocurvas de pH del Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 7.2 a 8.7 incluyendo las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Las equilíneas son de 0,1. Se ha considerado, (cuando se dispuso de la información) la conductividad medida en boca de pozo.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Colonia Palma
Artigas
Est. Estacas-1
La Paz
Gaspar N-1/ Arapey
Federacion-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Daymán
Nicanor
Tacuarembó
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guichon/Almirón
Nogoya-1
Colón-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
P Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R. del Bonete
7.90
7.80
7.70
7.60
7.50
7.40
7.30
8.00
8.10
8.20
8.30
8.40
8.50
8.60
8.70
8.80
8.90
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Isocurvas de pH en el Sistma Acuífero Termal

(referidas a la temperatura estimada para el acuífero en profundidad)

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isocurvas de pH (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- Mb. Solari (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Piramboiá (Br y Ar)

Edad / **Era**

- Cretácico med/sup
- Cretácico inf
- Jurásico medio
- Triásico medio

MESOZOICO

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froanción Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

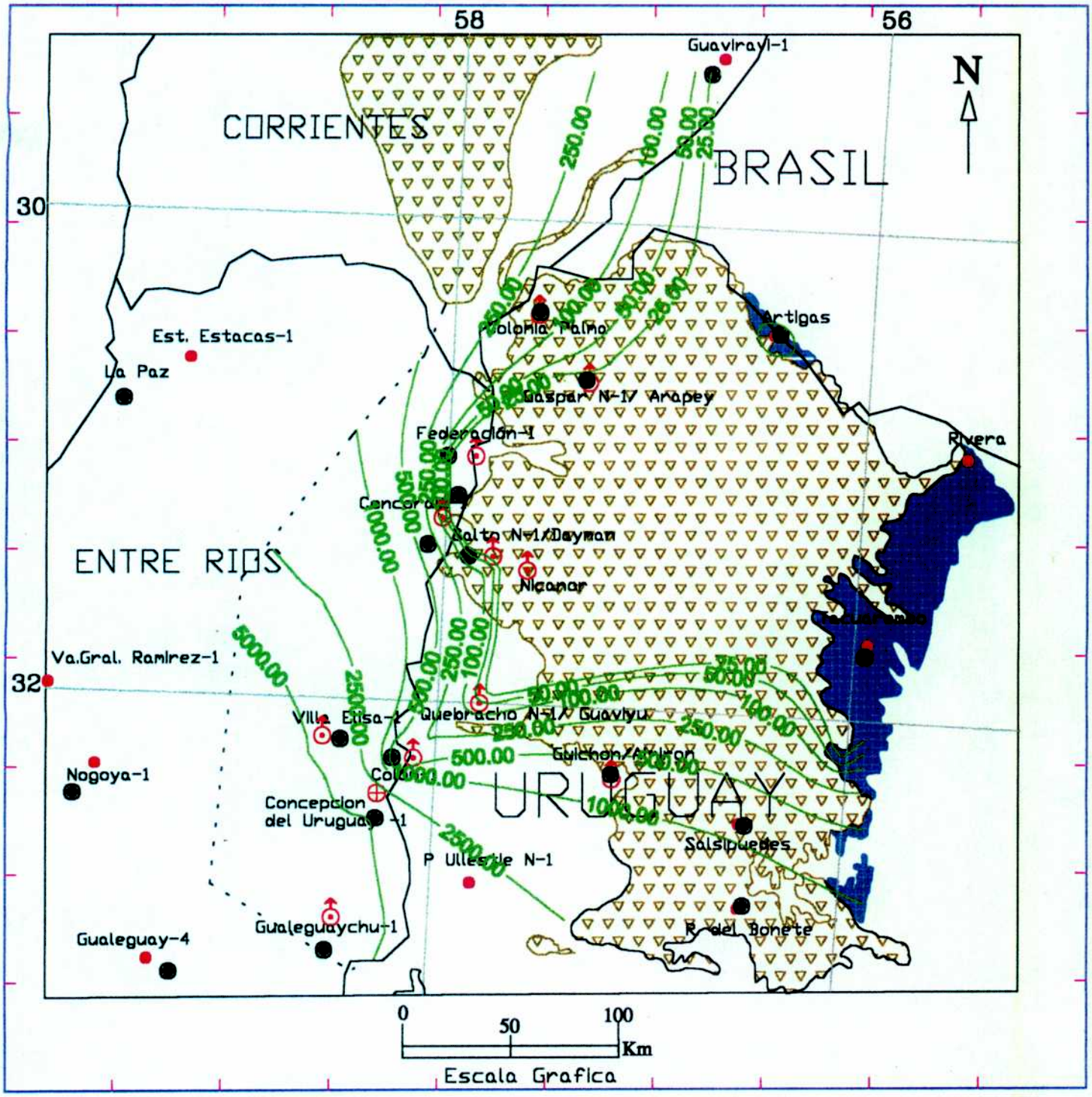
7.2.7 Mapa de Concentración de Cloruros en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 25 a 5000 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (mg/dm^3)	Equiconcentración (mg/dm^3)
25 – 100	25
100 – 1000	250
1000-5000	2500

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guichon/Amiron
Nogoya-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
P Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R. del Bonete
250.00
100.00
50.00
25.00
500.00
1000.00
2500.00
5000.00
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Cloruros (Cl-) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de cloruros (mg/dm3.)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

- F. Mercedes (Uy)
- F. Asencio (Uy)
- F. Guichón (Uy)
- F. Puerto Yeruá (Ar)
- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Piramboiá (Br y Ar)
- Mb. Solari (Ar)

Edad / Era

- Cretácico med/sup
- Cretácico inf
- Jurásico medio
- Triásico medio

MESOZOICO

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable, con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveis arcillos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados. En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froamción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

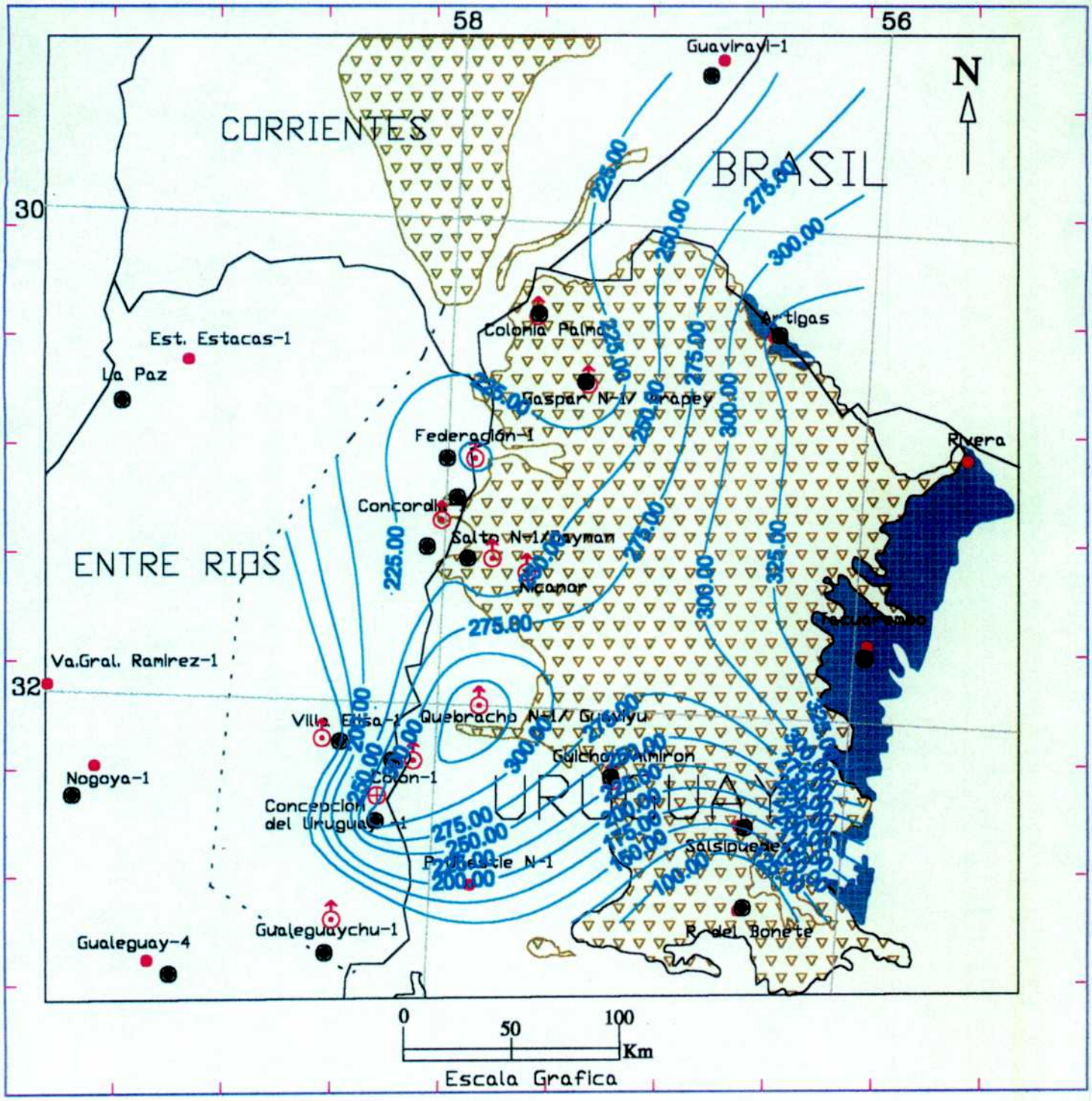
La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.8 Mapa de Concentración de Bicarbonatos en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 100 a 325 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. La equiconcentración se presenta en intervalos de 25 mg/dm^3.

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1 / Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1 / Guayman
Ncanar
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1 / Guaviyu
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R. del Bonete
225.00
250.00
275.00
300.00
325.00
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Bicarbonatos (HCO3-) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes
- Isoconcentración de Bicarbonatos (mg/dm3)

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F. Mercedes (Uy) F. Asencio (Uy) F. Guichón (Uy) F. Puerto Yeruá (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico inf	
Mb. Solari (Ar)	Jurásico medio	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Piramboiá (Br y Ar)	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable, con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveis arcilos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Froanción Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

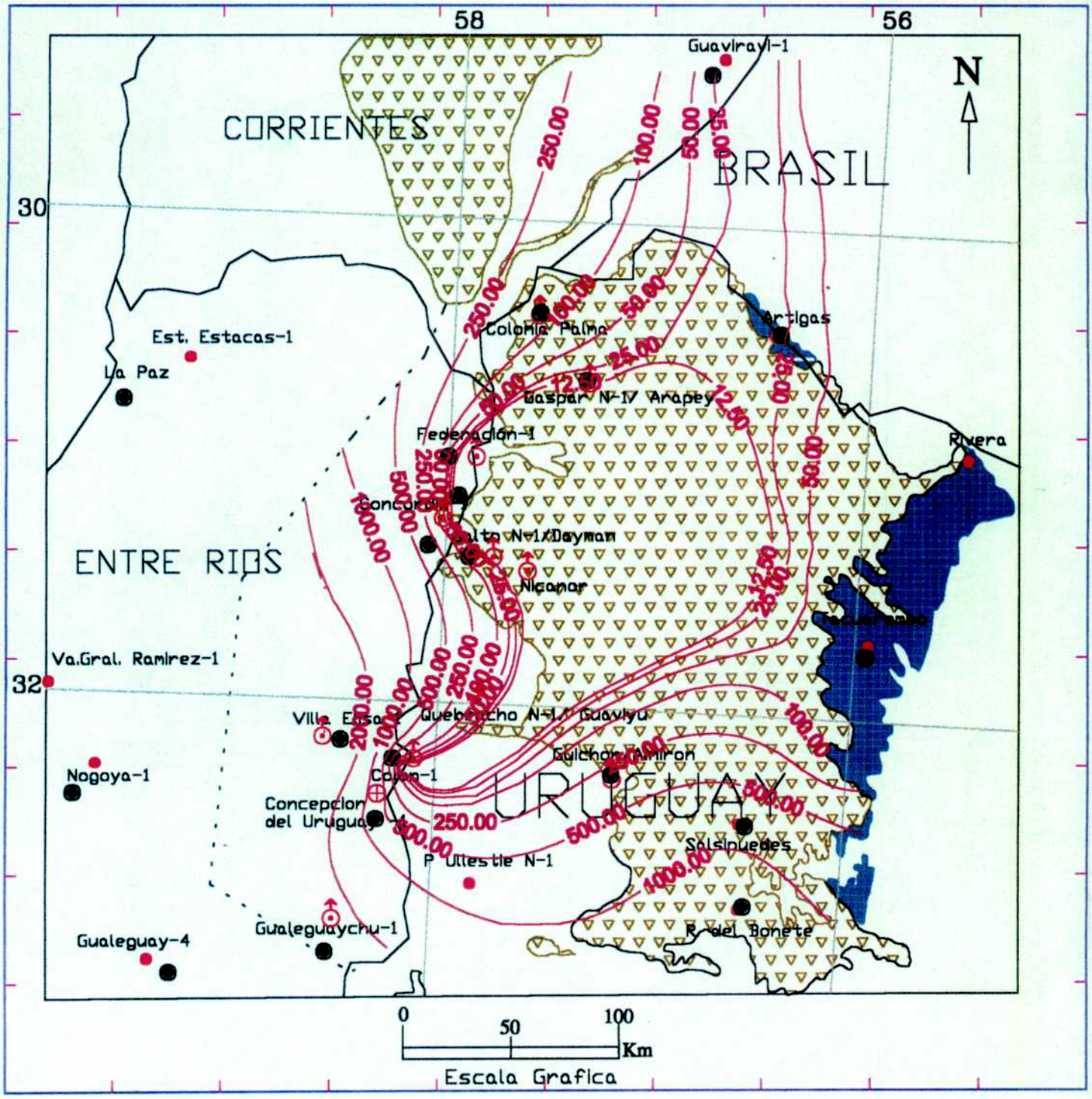
7.2.9 Mapa de Concentración de Sulfatos en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 12.5 a 2000 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (mg/dm3)	Equiconcentración (mg/dm^3)
25 – 100	25
100 – 1000	250
1000-2000	1000

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-IV Arapey
Federacion-1
Rivera
Concordia
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa
Quebracho N-1
Guaviyu
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay
P Ulleste N-1
Salsipuedes
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R del Bonete
250.00
100.00
50.00
25.00
12.50
500.00
1000.00
0
50
100
Km
Escala Grafica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Sulfatos (SO4=) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de Sulfatos (mg/dm3)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico

- F.Serra Geral (Br, Py y Ar)
- F. Arapey (Uy)
- Mb. Posadas (Ar)
- F. Rivera (Uy)
- F. Tacuarembó (Uy)
- F. Botucatú (Br y Ar)
- F. Piramboiá (Br y Ar)
- Mb. Solari (Ar)

Edad	Era
Cretácico med/sup	MESOZOICO
Cretácico inf	
Jurásico medio	
Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable, con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agridaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lavicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveis arcilos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Fromación Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, acres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespato, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

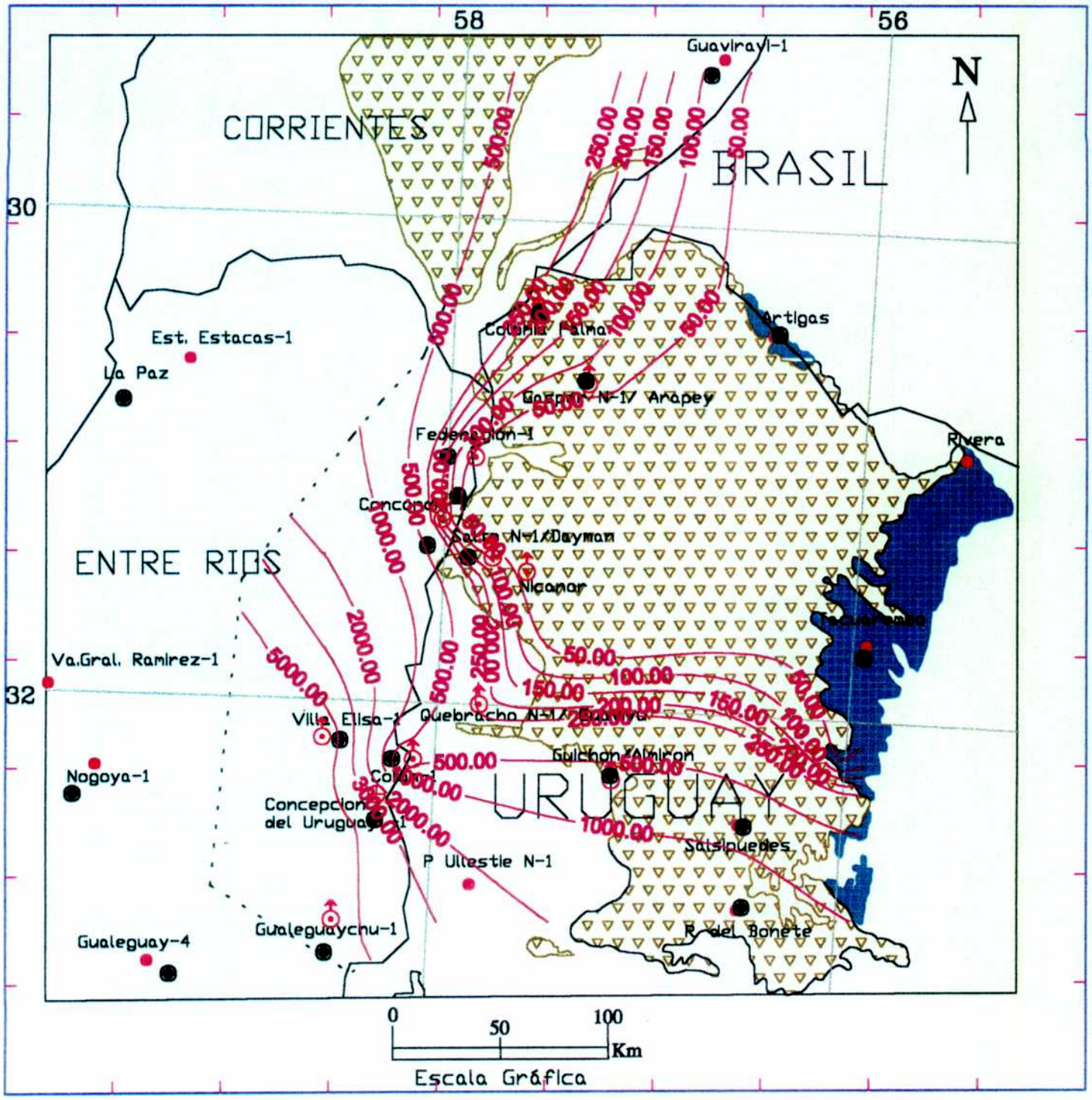
7.2.10 Mapa de Concentración de Sodio en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 50 a 5000 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (mg/dm^3)	Equiconcentración (mg/dm^3)
50 – 250	50
1000 – 1000	2500
1000-5000	1000

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Artigas
Colonia Palma
Arapey N-1
Federacion-1
Rivera
Concepcion
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1A
Nogoya-1
Colon-1
Concepcion del Uruguay-1
Guichon/Almiron
Salsipuedes
P Ulletie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R del Bonete
50.00
100.00
150.00
200.00
250.00
500.00
1000.00
2000.00
5000.00
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Sodio (Na+) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de Sodio (mg/dm3) (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Cretácico inf	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Piramboiá (Br y Ar)	Jurásico medio	
	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Piramboiá Formación Rivera Fromación Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de particulas de cuarzo y feldespat, subanguiosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Piramboiá o Tacuarembó

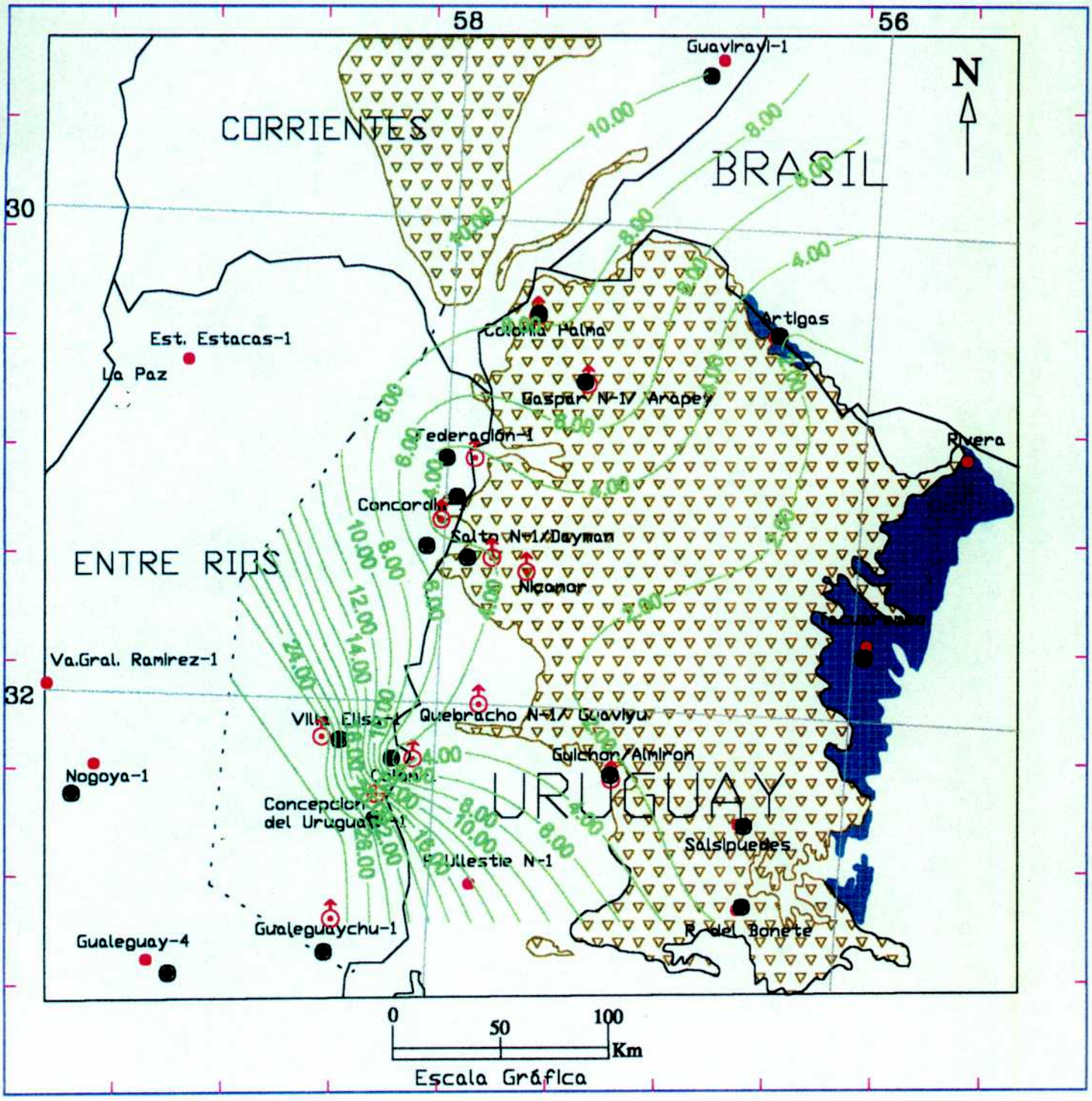
La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.11 Mapa de Concentración de Potasio en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 2 a 30 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. La equiconcentración empleada es de $2mg/dm^3$.

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Guichon/Almiron
Nogoya-1
Concepcion del Uruguay-1
Salsipuedes
F. Ullestie N-1
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R. del Bonete
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
12.00
14.00
24.00
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Potasio (K+) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de Potasio (mg/dm3) (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Cretácico inf	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)	Jurásico medio	
	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespat, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

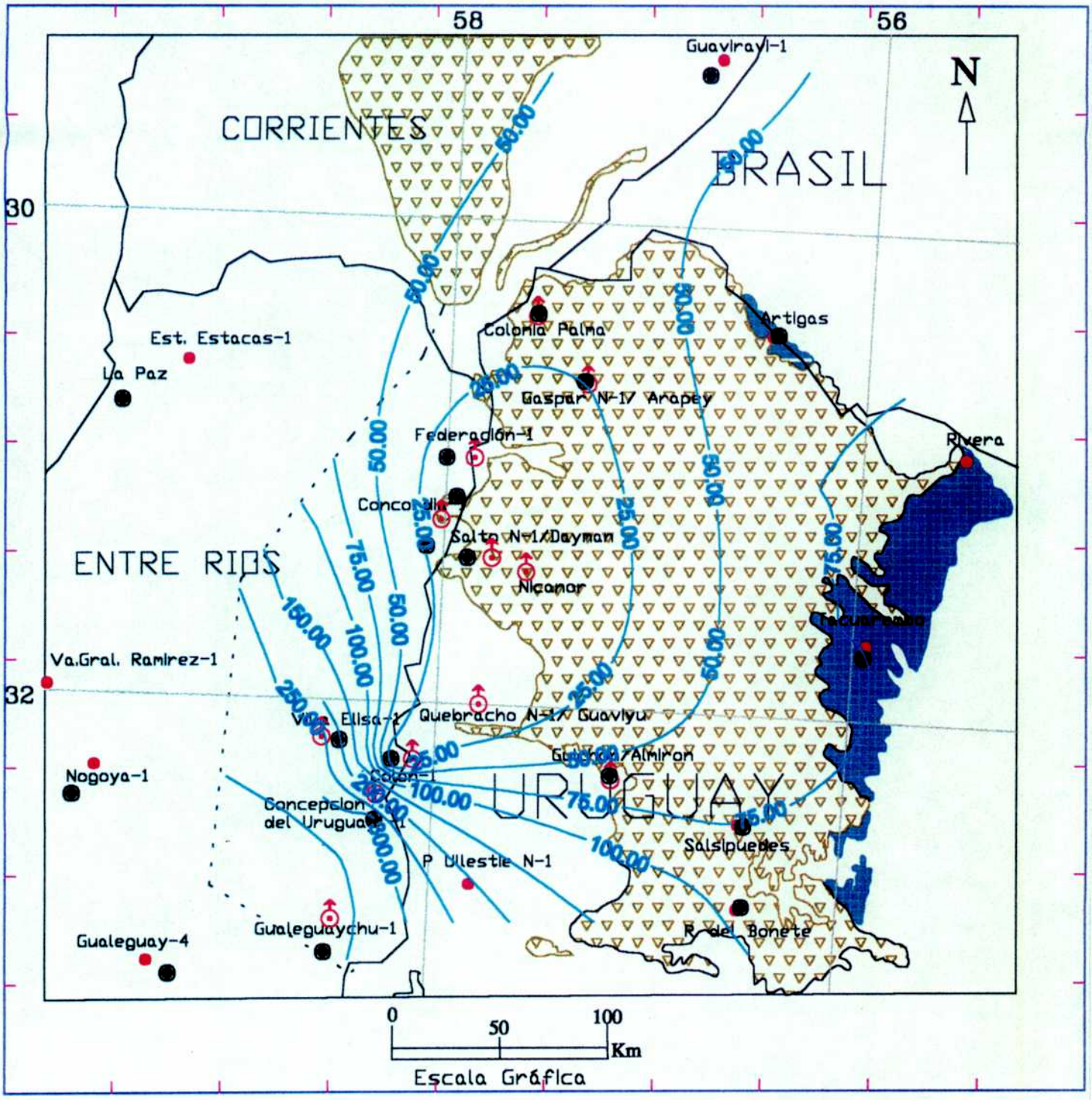
7.2.12 Mapa de Concentración de Calcio en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 25 a 300 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (mg/dm^3)	Equiconcentración (mg/dm^3)
25 – 100	25
100 – 300	50

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-1/ Arapey
Federación-1
Rivera
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Quebracho N-1/ Guaviyu
Nogoya-1
Colón-1
Concepcion del Uruguay-1
P Ulestie N-1
Salsipuedes
R. del Bonete
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
50.00
75.00
100.00
150.00
250.00
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Calcio (Ca2+) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de Calcio (mg/dm3) (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuffero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)	Cretácico inf	
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)	Jurásico medio	
	Triásico medio	

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercia niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tauarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespat, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

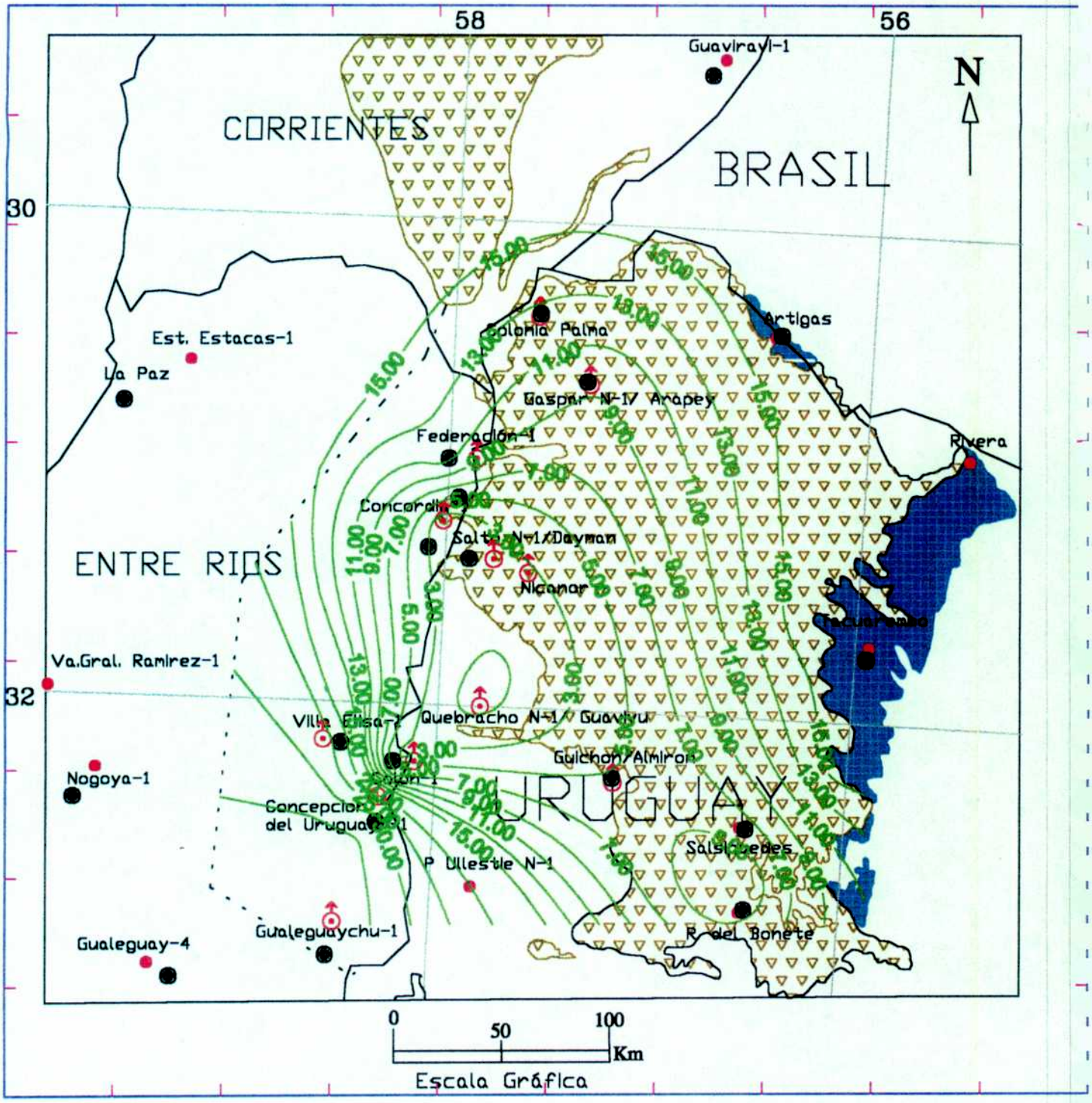
7.2.13 Mapa de Concentración de Magnesio en el Sistema Acuífero Termal

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

Las curvas han sido interpoladas por el método de curvatura mínima y corregidas en base a la información hidrogeológica disponible. El intervalo comprendido contiene valores entre 3 a 30 mg/dm^3, ya que se ha incluido las Zonas Hidroquímicas y el área de recarga. Para mejorar la lectura del mismo, la equiconcentración se ha definido según los siguientes intervalos :

Intervalo (mg/dm^3)	Equiconcentración (mg/dm^3)
3 – 15	2
15 – 30	5

Las curvas se interpolaron en base a la composición química media de la especie iónica considerada, resultante del control periódico durante los años 1994-99.


58
56
30
32
N
CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
Guaviravi-1
Est. Estacas-1
La Paz
Colonia Palma
Artigas
Gaspar N-IV Arapey
Federación-1
Rivera
Concordia
Salto N-1/Dayman
Nicanor
Tacuarembo
Va.Gral. Ramirez-1
Villa Elisa-1
Quebracho N-1
Guaviyu
Colon-1
Guichon/Almiron
Nogoya-1
Concepcion del Uruguay N-1
P Ulleste N-1
Salsipuedes
Gualeguaychu-1
Gualeguay-4
R del Bonete
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Contribución al Conocimietno Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina

FCEyN - UBA

Silva Busso, 1999

Concentración de Magnesio (Mg2+) en el Sistema Acuífero Termal

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Perforaciones
- Isoconcentración de Magnesio (mg/dm3) (100)
- Límite en profundidad del Sistema Acuífero Termal
- Perforaciones Termales
- Perforaciones termales y surgentes

Unidades y/o Formaciones de Interés Hidrogeológico	Edad	Era
F.Serra Geral (Br, Py y Ar) F. Arapey (Uy) Mb. Posadas (Ar)	Cretácico med/sup Cretácico inf Jurásico medio Triásico medio	MESOZOICO
Mb. Solari (Ar)		
F. Rivera (Uy) F. Tacuarembó (Uy) F. Botucatú (Br y Ar) F. Pirambóia (Br y Ar)		

LITOLOGIA DE LAS FORMACIONES

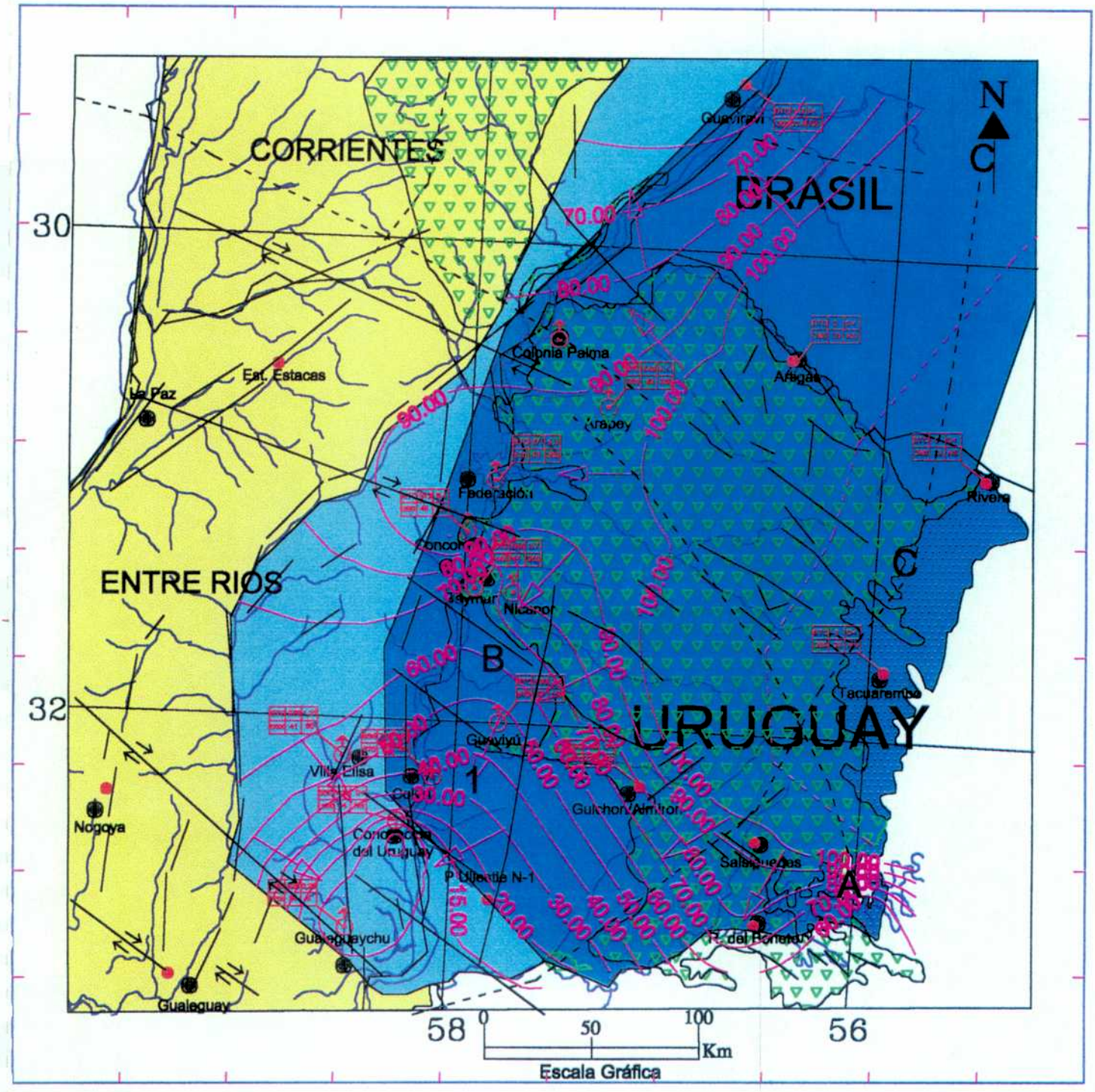
Formación Mercedes Fromación Asencio Formación Guichón Formación Puerto Yeruá	Areniscas medias de colores blanquecinos, amarillentos y rosados, intercla niveles de arenisca fina a muy fina y limo (en Argentina). De cementación variable con niveles bien consolidados y otros poco consolidados. Intercala secuencias de conglomerados (Uruguay).
Formación Serra Geral Formación Arapey (Miembros posadas y Solari)	Roca efusiva de composición basáltica, agnidaloide con vesículas rellenas de carbonatos y zeolitas. Las coladas lávicas pueden presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Intercala niveles clásticos de arena fina a media de colores rojizos, bien seleccionados y poco consolidados En general muy fracturada. Incluye también las intrusiones diabásicas.
Formación Botucatú Formación Pirambóia Formación Rivera Fromación Tacuarembó	Arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesta de partículas de cuarzo y feldespat, subangulosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo y son poco consolidadas y bien seleccionadas. Hacia la base intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela. Subyace a la misma una fracción clástica arcillosa dominante atribuible a la Formación Pirambóia o Tacuarembó

La geología fue tomada del mapa realizado por la DEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1995) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

7.2.14 Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal en el Area de Estudio

La cartografía presentada esta digitalizada a partir de los mapas geológicos para la región. La confección de este mapa se ha realizado sobre la base de la cartografía geológica de la región se detalla en la Carta Geológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1980) originalmente en escala 1:500.000, el Mapa Geológico de Corrientes escala 1:500.000 (SEGEMAR, 1995), el Mapa Geológico de Entre Ríos, (SEGEMAR, 1994), Carta Hidrológica Río Uruguay y Río de la Plata (INCyTH, 1994), Carta Hidrogeológica del Uruguay, (DINAMIGE, 1986). El Mapa geológico se presenta a escala 1:2.5000.000 (aunque puede considerarse representativo al 1:1.000.000). Incluye las perforaciones citadas en el texto relacionadas con el Sistema Acuífero Termal. Se han incluido los afloramientos Mesozoicos de la República Oriental del Uruguay con especial atención a las Formaciones de interés en este estudio (Formaciones Piramboiá, Botucatú y Serra Geral). El área de interpolación comprende al Sistema Acuífero Termal (Acuíferos Solari y Botucatú) hasta su límite inferido en base a la información geológica disponible.

El Mapa Hidrogeológico se ha realizado considerando las recomendaciones sobe rastras y colores de la IAH, (1997) para la construcción de Mapas Hidrogeológicos. Se han realizado algunas modificaciones atendiendo a las características particulares del Sistema Acuífero Termal. Entre otras se menciona que las áreas de afloramiento de las Formaciones continentes se han marcado con rastras y la extensión inferida en profundidad con colores plenos. Se ha incluido la piezometría, la hidrográfica, los lineamientos estructurales y etiquetas señalando los puntos de agua más característicos. Las zonas hidroquímicas se han señalado con diferencias en tonos de azul. Se incluye una versión del mismo a escala 1:1.000.000.


CORRIENTES
BRASIL
ENTRE RIOS
URUGUAY
N
C
B
A
1
30
32
58
56
Colonia Palma
Arapey
Artigas
Rivera
Tacuarembó
Salsipuedes
Gualeguaychu
Gualeguay
Nogoya
La Paz
Est. Estacas
Federación
Concordia
Nicanor
Guaviyú
Gulchon/Almirón
P. Ullestie N-1
0
50
100
Km
Escala Gráfica

Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental FCEyN - UBA

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA ACUIFERO TERMAL EN EL AREA DE ESTUDIO

REFERENCIAS

- Ciudades o Pueblos
- Red Hidrográfica
- División Política
- Lineamientos Estrucurales
- Lineamietnos Estructurales (Padual y Mingramm,1968)
- Lineamientos Predevónicos (Gomez Rifas, et.al.1996)

Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal

Area de Recarga	Acuíferos libres Acuíferos fisurados	Superficie
Acuíferos Fisurados		
Zona Hidroquímica I	Sistema Acuífero Termal	Subsuelo
Zona Hidroquímica II		
Acuitardo y/o Acuícludo	Basamento Hidrogeo.	

Etiquetas

1	2	3
4	5	6

1 Nombre de la principal Unidad Acuífera SSG: Solari y BTU: Botucatú
2 Profundidad del techo del acuífero en m.b.b.p. 0: Afloramiento
3 Presión de confinamiento en kg/cm2 0<: NE bajo boca de pozo
4 Sales totales en mg/dm3
5 Temperaturas del acuífero en profundidad en °C (Inferida a partir del gradiente geotérmico)
6 Caudal de Descarga (surgente) en m3/h NS: sin surgencia

- Perforaciones
- Perforaciones Termales
- Perforaciones Termales y Surgentes
- Curvas Piezometrícas (m.s.n.m.)
- Líneas de flujo
- Límite de confinamiento (probable)

CARACTERISTICAS HDROGEOLOGICAS DE LAS UNIDADES ACUIFERAS

Acuíferos Fisurados

Acuífero Arapey Corresponde al Miembro Posadas de la Formción Serra Geral, acuífero fisurado, discontinuo, con unidades localmente limitadas pero muy extendido en la región. En profundidad es el acífero superior de la Sección intrabasáltica probablemente de mayor extensión. Estas unidades en superficie podrían formar parte de la zoan intermedia y participar de la recarga.
Como acuífero libre puede alcanzar los 60 metros, con aguas dulces, tipo bicarbonatadas cálcicas y caudales específicos de 2m3/h.m
En profundidad (semiconfinado?), posee aguas dulces de tipo bicarbonatada sódica y con caudales específicos de 0,5-1 m3/h.m
Su litología corresponde a una roca efusiva de composición basáltica, eventualmente basáltica-andesítica, intensamente fisurada. y entre las coladas lávicas puede presentar intercalaciones de pequeños niveles arcillosos de alteración. Edades Js-Ks

Acuíferos Clásticos

Acuífero Botucatú Corresponden al Miembro Solari de la Formación Serra Geral y la Formación Botucatú. Ambos en profundidad forman parte del Sistema Acuífero Termal
Acuífero Solari En superficie la Formación Botucatú corresponde al área de recarga, posee un área cercana a los 4000 Km2 y contiene el acuífero libre
El Mbo. Solari es clástico e intercala a las vulcanitas de la F. Serra Geral. Son depósitos de poca potencia, discontinuos pero extendidos arealmente. controlado por la fisuración. Sus características hidraúlicas, termométricas e hidroquímicas están relacionadas y forman parte del Sistema Acuífero Termal
En superficie el Acuífero Botucatú es libre con aguas dulces de tipo bicarbonatada cálcica y caudales específicos de 6-7 m3/h.m.
En Subsuelo, los Acuíferos Botucatú y Solari, son termales, frecuentemente surgentes y poseen caudales específicos de entre 12-14 m3/h.m.
Se destacan en profundidad, dos Zonas Hidroquímicas una hacia el Este con aguas dulces, de tipo bicarboantada sódica relacionadas directamente con la recarga
La otra Zona Hidroquímica (II) contiene agus salobres, de tipo cloruradas sódicas y probablemente de mezcla con aguas de otro origen.
Los acuíferos Botucatú y Solari se componen de arenas medias a finas de colores rojizos, rosados, ocres, amarillentos y blanquecinos. Compuesto de partículas de cuarzo y feldespato, subanguiosas. Posee estructuras entrecruzadas de gran ángulo, poco consolidadas bien seleccionadas.
En el Subsuelo a partir de la base de la F. Botucatú, intercala niveles de limo arcilla de laminación paralela esta litología se considera la fracción calstica dominante y se denomina Formación Pirambolá.

La geología fue tomada del mapa realizado por la OEA, (1973) escala 1:3.000.000 y actualizado con la cartografía geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes realizada por el SEGEMAR (1994 y 1996) además de los trabajos citados en el capítulo 7 del texto.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACEÑOLAZA, F., 1976. Consideraciones bioestratigráficas sobre el Terciario marino de Paraná y alrededores. Asociación Geológica Argentina Revista 31: 61-62, Buenos Aires

ACEVEDO, O., 1986. El Precarbónico en la Provincia de Salta. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 3(6): 65-72, Buenos Aires.

AINCHIL, J., M.GUIUSSO 1997. Perforación Hidrotermal Profunda en Villa Elisa (E.R.). 1° Congreso Hidrogeológico Argentino, Actas I, pag: 97-103, Bahía Blanca, Bs.As., Argentina.

AINCHIL, J., M.GUIUSSO, E. KRUSSE, J. SAN CRISTOBAL, 1998. Criterios de Interpretación en los Estudios Geoeléctricos del Acuífero Hidrotermal Profundo en la Mesopotamia Argentina. 4° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Actas III, pag:1305-1314, Montevideo, Uruguay.

ALBURQUERQUE ROCHA, G., 1996. Mega reservatorio de agua subterranea do cone Sul: bases para uma politica de desenvolvimiento e gestao In: Seminario e Workshop International du Acuífero Gigante de Mercosul. paper 28. Curitiva, Brasil

ALLMENDINGER, R., T. JORDAN, M. PALMA y V. RAMOS, 1982. Perfil estructural en la Puna catamarqueña (25-27° LS), Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 1: 499-518, Buenos Aires.

ALVAREZ, B., 1978. Noticias sobre fauna de la Formación Fray Bentos (Oligoceno superior), Provincia de Corrientes. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura Revista Facena 2: 253-258, Corrientes.

ANCAP, 1991. Estudio del Sector Noreste de la Cuenca Norte, Montevideo, Uruguay

ANDREIS, R. y L. FERRANDO, 1982. Sobre la existencia de Triásico en el Departamento de Cerro Largo, Uruguay. International Union of Geosciences, International Geological Correlation Programme, Reunión Comunicaciones Proyecto 42 Paleozoico Superior de América del Sur y sus límites, Resúmenes Boletín N° 5: 23, Montevideo.

ANDREIS, R., 1981. Identificación e importancia geológica de los paleosuelos. Livro-texto/2, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Editora da Universidade, 67 pág., Porto Alegre.

ANDREIS, R., G. BOSSI y D. MONTARDO, 1980. O Grupo Rosario do Sul (Triassico) no Río Grande do Sul, Brasil. 31° Congresso Brasileiro de Geología Anais 2: 659-673, Rio de Janeiro.

ANDREIS, R., L. FERRANDO y R. HERBST, 1991. Terrenos carbonferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay. 12° Congreso Internacional de la Estratigrafía y Geología del Carbonífero y Pérmico y Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la Rep. Oriental del Uruguay, Pre-Impresión: 315-349, Buenos Aires.

ANGELELLI, V., 1937. Reconocimiento geológico del Territorio de Misiones en busca de bauxita. Separata Boletín Obras Sanitarias de la Nación, 1 (2), Buenos Aires.

ANZOTEGUI, L., 1974. Esporomorfos del Terciario superior de la provincia de Corrientes (Argentina). 1er. Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía Actas 2: 329-348, Tucumán

ARAMAYO FLORES, F., 1987. Cuencas Paleozoicas del Noroeste. Evaluación de Formaciones en Argentina, 1987, Geología de las Cuencas Petroleras de la Argentina, YPF-Schlumberger, Preimpresión, 1: 3-9, Buenos Aires.

ARAMAYO FLORES, F., 1989. El cinturón plegado y sobrecorrido del Norte Argentino. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 6(17): 2-16, Buenos Aires.

ARAUJO, D., 1982. Estudo de material de Pareiasauroidea (Reptilia Anapsida, Cotylosauria, Procolophonia) do Neopermiano do Estado de Rio Grande do Sul, Brasil. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, Geociencias, Porto Alegre.

ARAUJO, L.M., A.B. FRANCA Y P.E. POTTER, 1995. Acuífero Gigante del Mercosur (Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay: Mapas Hidrogeológicos de las Formaciones Botucatú, Piramboiá, Rosario do Sul, Buena Vista, Misiones y Tacuarembó. PETROBRAS-UFPR., Brasil.

ARCHIE, G.E., 1953. Introduction to Petrophysics of Reservoir Rock. Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists. Vol 34, pag: 943-961.US.

ARISTOTELES, en A. LIMON MONTERO, 1697. Espejo Cristalino de las Aguas de España. Faximil ITGE (1979), Ejemplar N°1904, Madrid, España.

ASMUS, H., 1982. Geotectonic significance of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks in the Brazilian Continental Margin and adjoining emerged area. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 3: 761-779, Buenos Aires.

ATLAS ESTADISTICO DE LA PROV. DE ENTRE RIOS, 1995. Dirección de Estadísticas y Censos. Prov. de Entre Ríos, Pag 24-47 y 65-76.

AZARA, F, 1797. Viajes por la América Meridional, Editorial Blanco, Buenos Aires, Argentina

BALDIS, B, y R. OMARINI, 1984. El Grupo Lerma (Precámbrico-Cámbrico) en la comarca central salteña y su posición en el borde pacífico americano. 9° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 64-78, Buenos Aires.

BALDIS, B., 1978. Líneas de control estructural en las cuencas ordovícicas argentinas. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Reunión Nacional El Paleozoico de Argentina y Suplemento Acta Geológica Lilloana 14: 11-14, Tucumán .

BALDIS, B., 1989. Regmagenic fracturation in South América. En: Aceñolaza, F. y R. Lech (Ed.) Eventos del Paleozoico inferior en Latinoamérica. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica N° 5: 67-79, Tucumán.

BARBERENA, M., E. LAVINA y M. BECKER, 1981. Sobre la presencia de tetrapodos na Formaçao Sanga do Cabral (Grupo Rosario do Sul), Triasico do Rio Grande do Sul, Brasil. 2° Congresso Latinoamericano de Paleontologia 1: 295-306, Porto Alegre.

BARROS FRANÇA, A. y P. POTTER, 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonfero), Bacia do Paraná (Parte 1). Petrobras Boletim de Geociencias 2(2-4): 147-191, Rio de Janeiro.

BARROS FRANÇA, A. y P. POTTER, 1991. Stratigraphy and Reservoir Potential of Glacial Deposits of the Itararé Group (Carboniferous-Permian), Paraná Basin, Brazil. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 75(1): 62-85, Tulsa.

BATTAGLIA, A., 1982. Descripción geológica de las Hojas 13f, Río Hondo, 13g, Santiago del Estero, 14g, El Alto, 14h, Villa San Martín, 15g, Frías, Provincias de Santiago del Estero, Catamarca y Tucumán. Servicio Geológico Nacional Boletín N° 186, Buenos Aires

BENITEZ J. 1999. Informe Técnico de la Perforación Gualeguaychú (Gchú-1), Termas del Guaychú S.A. INEDITO.

BENVENASTE, N. 1993. Sociedad, Política y Estado, Editorial EUDEBA, UBA. Buenos Aires.

BERTELS, A. yl L. ZABERT, 1980. Microfauna del Grupo Santa María (Terciárico superior) en las provincias de Catamarca y Tucumán, República Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1er. Congreso Latinoamericano de Paleontología Actas 3: 67-73, Buenos Aires

BERTOLINI, J.C., 1995. Mapa Geológico de la Provincia de Emtre Ríos, República Argentina, 1:500.000. Secretaría de Minería, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires

BERTOLINI, J.C.; TOMAS, M.A., 1992. Antecedentes Hidrotermales de la Provincia de Entre Ríos. Dirección de Promoción Minera e Hidrogeología, SPE, MEOySP, Entre Ríos.

BERTOLINI, J.C.; TOMAS, M.A.; LELL, R.G, 1989. Inventario del Recurso Aguas Subterráneas en la Provincia de Entre Ríos. Dirección de Minería y Recursos Hídricos, MEOyP, Prov. de Entre Ríos.

BIANUCCI, H. y J. HOMOVC, 1982. Tectogénesis de un sector de la cuenca del Subgrupo Pirgua, Noroeste argentino. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 1: 539-545, Buenos Aires.

BIANUCCI, H., J. HOMOVC y O. ACEVEDO, 1982. Inversión tectónica y plegamientos resultantes en la comarca Puesto Guardián-Dos Puntitas, Dpto. Orán, Provincia de Salta. 1er. Congreso Nacional de Hidrocarburos, Petróleo y Gas, Exploración, Trabajos Técnicos: 23-30, Buenos Aires.

BIANUCCI, H., O. ACEVEDO y J. CERDAN, 1981. Evolución tectosedimentaria del Grupo Salta en la Subcuenca Lomas de Olmedo (Provincias de Salta y Formosa). 8° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 159-172, Buenos Aires.

BIGARELLA, J. y R. SALAMUNI, 1961. Early Mesozoic wind patterns as suggested by dune bedding in the Botucatú Sandstone of Brazil and Uruguay. Geological Society of América Bulletin 72(7): 1089-1106, Boulder.

BIGARELLA, J. y R. SALAMUNI, 1964. Paleowind patterns in the Botucatú sandstone (Triassic-Jurassic) of Brazil and Uruguay. En: Nairn, A. (Ed.)

BITSCHENE, P. y H. LIPPOLT, 1986. Acid magmatites of the Brasiliano Cycle in East Paraguay. En: Miller, H. y U. Rosenfeld (Ed.) 9. Symposium on Latin-American Geosciences: 1457-1468. Zentralblatt

für Geologie und Paläontologie, Teil I. Schweizerbart'sche. Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.

BOLL, A. y R. HERNANDEZ, 1986. Interpretación estructural del área "Tres Cruces"-Provincia de Jujuy-Argentina. 1er. Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos 1: 61-80, Buenos Aires.

BONDESIO, P., 1986. Lista sistemática de los vertebrados terrestres del Cenozoico de Argentina. 4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía Actas 2: 187-190, Mendoza.

BONORINO, A., G. , 1988. Geohidrología del Sistema Termal Profundo de la Región de Bahía Blanca., Universidad Nacional del Sur, Dpto. de Geología, Tesis Doctoral.

BORRELLO, A., 1963. Memoria de la División Geología correspondiente al año 1962. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencia Naturales y Museo, La Plata.

BOSSI, G. y J. I. DIAZ, 1990. Ambientes eólicos. En: Bossi, G. (Ed.) 1er. Simposio de Ambientes y Modelos Sedimentarios, Universidad Nacional de Tucumán, Boletín Sedimentológico 4 (Publicación especial): 47-67, Tucumán

BOSSI, G., 1969. Geología y estratigrafía del sector sur del Valle de Choromoro. Acta Geológica Lilloana 10(2): 17-64, Tucumán

BOSSI, G., 1990. Triásico. En: Bonaparte, J., A. J. Toselli y F. Aceñolaza (Ed.) Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Serie: Correlación Geológica N° 2, Geología de América del Sur 3: 15-87, Tucumán

BOSSI, G., D. KETZER MONTARDO, J. LINS ROLIM, P. FUNCHAL y O. WOHLF COELHO, 1978. Analise de paleocorrentes da Formaçao Botocatú na faixa costeira do Rio Grande do Sul. 30° Congresso Geológico Brasileiro Anais 2: 758-770, Recife

BOSSI, J. y E. HEIDE, 1970. Carta geológica del Uruguay a escala 1/100.000, 4: Segmento Río Arapey, sector 18. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Montevideo

BOSSI, J. y M. UMPIERRE, 1975. Magmatismo mesozoico del Uruguay y Ro Grande del Sur; sus recursos minerales asociados y potenciales. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica 2: 119-142, Buenos Aires

BOSSI, J. y R. NAVARRO, 1982. Los "granitos negros" (microgabros) del Eocambriano del Uruguay. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 2: 23-35, Buenos Aires

BOSSI, J. y W. CAGGIANO, 1974. Contribución a la geologa de los yacimientos de amatista del Departamento de Artigas (Uruguay). 28° Congresso Brasileiro de Geología Anais 5: 301-318, Porto Alegre

BOSSI, J., 1966. Geología del Uruguay. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Colección Ciencias 2: 1-470, Montevideo

BOSSI, J., J. LEDESMA, E. CARBALLO y R. NAVARRO, 1974. Resumen de los conocimientos actuales sobre los derrames basálticos del noroeste del Uruguay. 28° Congresso Brasileiro de Geología Anais 4: 51-60, Porto Alegre

BOSSI, J., J. LEDESMA, E. CARBALLO, M. CUENCA y R. NAVARRO, 1973. Síntesis general de los trabajos geológicos realizados en el área basáltica. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Cátedra de Geología, Plan Agropecuario: 1-15, Montevideo

BOSSI, J., L. FERRANDO, A. FERNANDEZ, G. ELIZALDE, H. MORALES, J. LEDESMA, E. CARBALLO, E. MEDINA, I. FORD y J. MONTAÑA, 1975. Carta geológica del Uruguay 1/1.000.000. Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo

BÖTTCHER, G., 1977. Estudio litológico y petrográfico del pozo ER.N-1 Entre Ríos (Nogoyá). YPF S. A., Buenos Aires

BRACACCINI, O., 1960. Lineamientos principales de la evolución estructural de la Argentina. Instituto Argentino del Petróleo (IAP) Revista Petrotecnia 10(6): 57-69, Buenos Aires

BRACKEBUSCH, L., 1891. Mapa geológico del interior de la República Argentina. Instituto Geográfico de Hellfarth, Gotha, y Academia Nacional de Ciencias Actas 8, Córdoba

BRAUN, O., 1982. Novos aspectos geotectónicos no Escudo Brasileiro. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 1: 435-450, Buenos Aires

BRAUN, O., U. MELLO y H. DELLA PIAZZA, 1990. Bacias Proterozóicas Brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. En: Pedemeiras Raja Gabaglia, G. y E. Milani (Ed.) Origem e Evoluçao de Bacias Sedimentares: 115-132. Petróleo Brasileiro S. A., 415 pp., Ro de Janeiro

BRAVARD, A., 1858. Monografía de los terrenos marinos terciarios del Paraná. Diario Oficial de Gobierno "El Nacional Argentino", reimpresión 1884 Museo Nacional de Buenos Aires Anales 3: 45-94, Buenos Aires

BROCCA, H., 1966. Informe abandono del pozo de Exploración S.PET.x-1 Salta Puesto El Tigre. YPF S.A., Buenos Aires

BRUNIARD, E. D., 1982. El Clima en las Planicies del Norte Argentino. Premio FUNDANORD (Fundación para el Desarrollo del Nordeste), Ciencias de La Tierra, Edición 1982, Corrientes, Argentina.

CABANILLAS, L., C. FERNANDEZ GARRASINO y O. TOFALO, 1986. Rasgos geológicos de la comarca comprendida entre Mercedes (Corrientes) y el Norte de Entre Ríos, Argentina, y sus posibilidades exploratorias. YPF S. A., Buenos Aires

CAMACHO, H., 1967. Las transgresiones del Cretácico superior y Terciario de la Argentina. Asociación Geológica Argentina Revista 22(4): 253-280, Buenos Aires

CAMINOS, R., 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 225-291, Córdoba

CAMINOS, R., 1988. Precámbrico. En: Bonaparte, J., A. J. Toselli y F. Aceñolaza (Ed.) Geología de América del Sur 1. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica N° 2: 107-157, Tucumán

CAMPOS, C., F. PONTE y K. MIURA, 1974. Geology of the Brazilian Continental Margin. En: Burk, C. y Ch. Drake (Ed.) The Geology of Continental Margins: 447-461. Springer Verlag, 1009 pp., New York, Berlin

CAORSI, J. y J. GOÑI, 1958. Geología uruguaya. Instituto Geológico del Uruguay Boletín 37: 1-73, Montevideo

CARBALLO, E. y E. MEDINA, 1972. Informe preliminar de la carta geológica del sector XXV (a escala 1/50.000). Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Cátedra de Geologa, Programa Basalto: 1-8, Montevideo

CARDONA BENAVIDEZ, A., 1996. toma de Muestras de Aguas Subterráneas. Cursos de hidrogeología de campo. San Luís de Potosí, México.

CARLE, R., 1992. Geología de subsuelo de un sector de la Cuenca Chacoparanense. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 9(30): 15-18, Buenos Aires

CARLE, R., O. DI PERSIA y G. OLIVIERI, 1989. Análisis geológico y petrolero del sector noroeste de la Provincia de Formosa, República Argentina. 1er. Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos 1: 163-185, Buenos Aires

CARLE, R., O. DI PERSIA y H. BELOTTI, 1991. Geología del sector noroeste de la provincia de Formosa. Boletín de Infomaciones Petrolera Tercera época 8 (26): 2-17, Buenos Aires

CASTANY, G., 1971. Tratado Práctico sobre las Aguas Subterráneas, Ediciones Omega S.A., Barcelona , España.

CASTELLANOS, A., 1965. Estudio fisiográfico de la Provincia de Corrientes. Universidad Nacional del Litoral, Instituto de Fisiografía y Geología Publicación 49: 1-222, Rosario

CATTANEO, O 1992. Experiencias sobre el Manejo del acuífero infrabasáltico en Uruguay y su proyección dentro de los países del Mercosur. O.S.E. Congreso Latinoamericano, Mérida, Venezuela.

CHAIA, A., 1988. Resultados preliminares del estudio paleontológico de los perfiles: Alemania, La Yesera y Arroyo Pablo, provincia de Salta. La Salina, provincia de Tucumán y Arroyo Añaco de la provincia de Catamarca. YPF S. A., Buenos Aires

CHEBLI, G., O. TOFALO y G. TURAZZINI, 1989. Mesopotamia. En: Chebli, G. y L. Spalletti (Ed.) Cuencas Sedimentarias Argentinas. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N° 6: 79-100, Tucumán

CHIARENZA, D. y E. PONZONI, 1989. Contribución al conocimiento geológico de la cuenca cretácica en el ámbito oriental de la subcuenca de Olmedo, Pcia. de Salta, República Argentina. 1er. Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos 1: 209-228, Buenos Aires

CHIOZZA, E. y A. PETAGNA DE DEL RIO, 1977. Los marcos naturales. El país de los argentinos, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires

CHIOZZA, E., 1977. La tierra que heredamos. El país de los argentinos, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires

COMITE ARGENTINO DE ESTRATIGRAFIA, 1992. Código Argentino de Estratigrafía. Asociación Geológica Argentina, Serie "B" (Didáctica y Complementaria) N° 20, 64 pág., Buenos Aires

COMTE, D. y Y. HASUI, 1971. Geochronology of Eastern Paraguay by the Potassium-Argon method. Revista Brasileira de Geociencias 1(1): 33-43, Sao Paulo

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI), 1962. Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Recursos Hidráulicos Subterráneos. Consejo Federal de Inversiones (CFI), Tomo V, Vol. I, Buenos Aires, Argentina.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI), 1993. Corrosión e Incrustación Microbiológica en Sistemas de Captación y Conducción de Agua, Consejo Federal de Inversiones. Serie Investigaciones Aplicadas. Colección Hidrología Subterránea.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (CFI-EASNE), 1972. Contribución al Estudio Geohidrológico de la Región NE en la Prov. de Buenos Aires. Serie Técnica 24., Buenos Aires, Argentina.

CONVENIO AGUA Y ENERGIA-Prov. de ENTRE RIOS, 1986. Dirección de Minería de la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

CONVENIO ARGENTINO ALEMAN DE AGUAS SUBTERRANEAS (CAAAS9, 1973. Recursos de Agua Subterránea y su Aprovechamiento en la Llanura Pampeana y en el Valle del Conlara (Prov. de Córdoba, Santa Fé, San Luis, Rep. Argentina). Tomo 2. Llanura Pampeana (Prov. De Córdoba y Santa Fé) Hidrogeología. Convenio Argentino-Alemán en Aguas Subterráneas.

CONVENIO PROV. DE CORRIENTES-UNIVERSIDAD DEL NORDESTE-INTA (UNNE-INTA), 1970. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes. Primera Etapa , Impreso UNNE, vol. 1 y 2., Corrientes, Argentina.

CORDANI, U. y P. VANDOROS, 1967. Basaltic rocks of the Paraná Basin. En: Bigarella, J., R. Becker e I. Pinto (Ed.) Problems in Brazilian Gondwana Geology: 207-231, Curitiba

CORTELEZZI, C., F. ROELLIG, S. AMETRANO y R. IASI, 1987. Estudio mineralógico-químico de una chabasita de la Provincia de Misiones - República Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino Actas 2: 241-244, Tucumán

CORTES, J., M. FRANCHI y A. BUSTEROS, 1987. Estratigrafía del Paleozoico inferior en los Altos del Despensa, Sierra de Aguilar, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 69-72, Buenos Aires

CUERDA, A., A. RAPALINI y J. VILAS, 1991. Introducción. El Pérmico en la República Argentina. Desarrollo de su conocimiento histórico. Paleomagnetismo. 12° Congreso Internacional de la

Estratigrafía y Geología del Carbonífero y Pérmico y Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la Rep. Oriental del Uruguay, Pre-Impresión: 3-26, Buenos Aires

CUSTODIO E., 1974. Contribuciones al Conocimiento Geohidroquímico de la Isla Lanzarote, (Islas Canarias, España). Simposio Internacional Sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Gobierno Español, UNESCO-PNDU., Actas, pag: 305-345Arrecife de Lanzarote, España.

CUSTODIO E.y M.R. LLAMAS, 1983. Hidrología Subterránea. Editorial Omega, Segunda Edición, Tomos I y II. Barcelona, España.

da ROSA FILHO E.,F., J. MONTAÑO XAVIER, J. AINCHIL, A. GIUSTI, M. SALGADO MONASTIER, M. FORLIN, J. PAEGLE. 1996. Projecto Sostenible del Aquifero Botucatú, Brasil, IDRC, UFPR, UROU, UNLP, CNDRIP. Relatorio Final (Primera Fase), Curitiva, Brasil.

DAEMON, R. y L. QUADROS, 1970. Bioestratigrafa do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. 24° Congresso Brasileiro de Geología Anais 1: 359-412, Brasilia

DAVIS, S. N. y R. J. DE WIEST, 1969. Hydrogeology. Editorial John Wiley and Sons, US.

DE ALBA, E. y N. SERRA, 1959. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Informe sobre las condiciones y características geológicas. Dirección Nacional de Geología y Minería Anales 11, Buenos Aires

DE ALBA, E., 1953. Geología del Alto Paraná en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas. Asociación Geológica Argentina Revista 8(3): 129-161, Buenos Aires

de LOCZY, L., 1969. Stratigraphic and paleogeographic problems of the Paraná Gondwana Basin (South América). International Union of Geosciences Gondwana Stratigraphy Symposium, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Earth Sciences 2: 967-969, París

de MELO, J., 1988. The Malvinokaffric realm in the Devonian of Brazil.En: Mc Millan, N., A. Embry y D. Glass (Ed.) Devonian of the World. Canadian Society of Petroleum Geologists, Second International Symposium on the Devonian System Proceedings 1: 669-703, Calgary

de OLIVEIRA, E. P., 1912. Terreno devoniano do sul do Brasil. Escola de Mineria de Ouro Preto Anais 14: 31-41, Ouro Preto

de SANTA ANA H., C GOSO, R. MUZIO, P. OYHANTÇABAL y G. VEROSLAVSKY, 1994. Bacia do Santa Lucía (Uruguai) – Evoluçao Tectonica e Sedimentar. Geociencias, Sao Paulo, 13 (1): 37-52, Brasil.

de SANTA ANA, H., 1989. Consideraciones tectónicas y deposicionales de la cuenca del norte uruguaya. Asistencia Recíproca Petrolera Estatal Latinoamericana (ARPEL) Boletín Técnico 18(4): 319-339, Montevideo

DEGRAFF, J., R. FRANCO y D. ORUE, 1981. Interpretación geofísica y geológica del valle de Ypacaraí (Paraguay) y su formación. Asociación Geológica Argentina Revista 36(3): 240-256, Buenos Aires

DELLEPERE, A. 1992. Datación por Carbono 14 de las Aguas Termales del Acuífero Tacuarembó (Botucatú) Uruguay. 2° Congreso Geológico del Uruguay. Actas I: pag 307-313.

DERBY, O., 1878?, 1879. On the Diamond Region of the Province of Paraná. American Philosophical Society Proceedings, Washington

DIAZ, E., J. SANGUINETTI, O. DALLACOSTA, 1993. Informe de la Exploración Geoeléctrica y Recopilación Geológica. Municipio de Colón, Entre Ríos.

DIPERSIA, C., 1958. Informe sobre la campaña de observación geológica de las provincias de Entre Ríos y Corrientes. YPF S. A., Buenos Aires

DIRECCION NACIONAL DE MINERIA Y GEOLOGIA (DINAMIGE), 1980. Carta Geológica del Uruguay, Escala 1:500.000, Ministerio de Industria y Energía, Dirección Nacional de Minería y Geología de la República Oriental del Uruguay, 2da edición

DIRECCION NACIONAL DE MINERIA Y GEOLOGIA (DINAMIGE), 1986. Carta Hidrogeológica del Uruguay, Escala 1:2.000.000, Ministerio de Industria y Energía, Dirección Nacional de Minería y Geología de la República Oriental del Uruguay, 1ra edición

DOERING, A., 1882. Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio A. Roca. Entrega 3, 3a. parte, Geología: 295-530, Ostwald y Martínez, Buenos Aires

DONATO, E. Y G. VERGANI, 1983. Observaciones geologicas en el Salar del Hombre Muerto, valles de Antofalla y Antofagasta de la Sierra, Laguna Blanca y valle Villavil-Hualfin, Provincias de Salta y Catamarca. YPF S. A., Buenos Aires

DONATO, E. y G. VERGANI, 1985a. Geología del Devónico y Neopaleozoico de la zona del Cerro Rincón, Provincia de Salta, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno 1 (Area 1): 262-283, Antofagasta

DONATO, E. y G. VERGANI, 1985b. Geología del sector occidenatl de la Puna salteña. YPF S. A., Buenos Aires

DONATO, E., D. STARCK y E. GALLARDO, 1990. Cuencas silurodevónica y neopaleozoicas subandinas; nuevos aportes a su conocimiento y consideraciones de interés petrolero. YPF S. A., Buenos Aires

d'ORBIGNY, A., 1842. Voyage dans l'Amérique Meridionale, exécuté pendant les années 1826-1833. 3, Géologie, Paris, Strassbourg

dos SANTOS, M. y A. SAAD, 1982. Mapa Geológico-Estrutural da Bacia do Paraná. Paulipetro Consórcio CESP/IPT, Publicaçao IPT N° 1217/Anexo, Sao Paulo

ECKEL, E., 1959. Geology and mineral resources of Paraguay, a reconnaissance. United States Geological Survey Professional Paper 327: 1-110, Washington

EDISON CONSULT S.A., 1965. Plan de Promoción Agropecuaria, Primera etapa: Prov. de Corrientes. Aspectos Hídricos y climáticos, Publicación Restringida del CFI. , Buenos Aires Argentina.

EICHER, D., 1968. Geologic time. Prentice Hall Inc., 150 pág., New Jersey

ELIZALDE, G., W. EUGUI, J. VERDESIO, M. STAPFF y J. TELECHEA, 1970. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000, (3) Segmento Aceguá, Sector 30. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Montevideo

ELLIS, A. J. y W.A.J. MANON, 1977. Chemistry and geothermal System. Editorial J. Denton, Academic Press. London.

FALCONER, J., 1931. Terrenos gondwánicos del Departamento de Tacuarembó: Memoria explicativa del Mapa Geológico. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 15: 1-17, Montevideo

FALCONER, J., 1937. La Formación de Gondwana en el Nordeste del Uruguay, con especial referencia a los terrenos eogondwánicos. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 23: 1-122, Montevideo

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1996c. Cuenca Chacoparanense. En: Archangelsky, S. (Ed.) Academia Nacional de Ciencias, El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay: 27-39, Córdoba

FERNANDEZ GARRASINO, 1998. Provincia de entre Ríos, Argentina. Prospecci+on de Hidrocarburos. Almacenaje Subterráneo de Gas Natural. Informe Final. Dirección de Ciencia, tecnología y Minería de Entre Ríos, Gobernación de la Provincia de Entre Ríos, Paraná, Argentina.

FERNANDEZ GARRASINO, C. y J. CERDAN, 1981. La Formación Santa Rosa (Devónico inferior) en la Argentina y sus posibles equivalentes. 8° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 193-202, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1978. Algunos rasgos sedimentarios y estratigráficos de las llamadas "Areniscas del Palmar" (Carbónico de la Cuenca de Tarija-Chaco salteño) y esquema evolutivo paleoambiental del Grupo Macharetí (Mississippiano), Argentina. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Reunión Nacional El Paleozoico de Argentina y Suplemento Acta Geológica Lilloana 14: 49-52, Tucumán

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1979. Algunos rasgos estratigráficos y sedimentológicos de las llamadas Areniscas del Palmar, Formación Tarija, Carbónico del Chaco salteño. Instituto Argentino del Petróleo (IAP) Revista Petrotecnia 22 (1-2): 25-29, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1980. La Formación Ramos, Ordovícico (?) del Norte argentino. Asociación Geológica Argentina Revista 35(4): 500-504, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1985. El basamento del noroeste argentino. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 2(5): 18-41, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1988. Geologic Features of the Central Argentine Mesopotamia and Hydrocarbon Possibilities. YPF S. A., Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1989a. Tendencias evolutivas de la Cuenca Chacoparanense y posibilidades exploratorias en la Mesopotamia y Tucumán Oriental (Argentina). 1er. Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos 1: 433-464, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1989b. La Cuenca Chaco-Paranense argentina. Sus tendencias evolutivas y algunas posibilidades exploratorias. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 6(18): 2-17, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1989c. Contribución a la estratigrafía de la mesopotamia central argentina y referencia a la geología de la provincia de Misiones. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 6(19): 52-76, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1989d. Contribución a la estratigrafía de la mesopotamia central argentina y referencia a la geología de la provincia de Misiones (II). Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 6 (20): 89-96, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1990a. El borde occidental de la Cuenca Chacoparanense argentina. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 7(23): 14-17, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1990b. La sucesión estratigráfica del pozo YPF Nogoyá 1, Provincia de Entre R',ios, Argentina. Tercera Reunión Argentina de Sedimentología Actas: 125-129, San Juan

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1991a. Reconocimientos en Pipanaco, Fiambalá-Tinogasta y Antinaco-Chilecito, provincias de Catamarca y La Rioja. YPF S. A., Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1991b. Sinopsis petrolera. 12° Congreso Internacional de la Estratigrafía y Geología del Carbonífero y Pérmico y Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la Rep. Oriental del Uruguay, Pre-Impresión: 314A-314C, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1992a. Aspectos geológicos de algunas serranías del Noroeste argentino y temas exploratorios conexos. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 9(30): 53-72, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1992b. El "Alto de Asunción" en la Mesopotamia argentina. Cuarta Reunión Argentina de Sedimentología Actas 1: 191-198, La Plata

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1992c. El "Alto de Asunción" en la Mesopotamia argentina. Ensayo de división subregional. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 9(31): 15-31, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1993a. Posibles registros "chacoparanenses" en faldeos pampeanos orientales (Santiago del Estero, Catamarca, Córdoba, y San Luis). Referencias al E y NE de Tucumán. Supuesta extensión del modelo al E de La Pampa y O de Buenos Aires (Argentina). Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1993b. Supuestos registros gondwánicos en el subsuelo de la Provincia de Misiones, Argentina. 2a. Reunión del Grupo Argentino de Trabajo del Proyecto Pangea Comunicaciones, San Juan

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1993c. Edad y posición estratigráfica del Grupo Palacios, Paraguay central. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1994a. Contribución al conocimiento de la Provincia de Misiones, Argentina. Algunas alternativas exploratorias. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1994b. ¿Sedimentitas gondwánicas en el subsuelo de la Provincia de Misiones, Argentina? Significado económico y posibilidades exploratorias. Quinta Reunión Argentina de Sedimentología Actas, en prensa, Tucumán

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1995a. Contribución al conocimiento de la Provincia de Misiones, Argentina. Algunas alternativas exploratorias. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1995b. El "Paleodesierto de Botucatú-Solari"(Jurásico-Eocretácico de América del Sur). Significado geológico y paleoclimático. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1995c. El "Paleodesierto de Botucatú-Solari" (Jurásico-Eocretácico de América del Sur). Significado geológico y paleoclimático. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1996a. La Formación Misiones (Triásico-Jurásico de Paraguay) en Argentina. 6a. Reunión Argentina de Sedimentologia Actas: 83-88, Bahía Blanca

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1996b. La sucesión gondwánica del subsuelo de la Provincia de Entre Ríos, Argentina. 13er. Congreso Geológico Argentino y 3er. Congreso de Exploracion de Hidrocarburos Actas 1: 99-109, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., 1996d. Sinopsis petrolera. En: Archangelsky, S. (Ed.) Academia Nacional de Ciencias, El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay: 304-306, Córdoba

FERNANDEZ GARRASINO, C., A. VRBA, 1999. Estructura del Tope de la Formación Serra Geral (Neojurásico-Eocretácico) en la Mesopotamia Argentina y Adyacencias. 14° Congreso Geológico Argentino, Salta (en prensa)

FERNANDEZ GARRASINO, C., H. BIANUCCI y J. MUSMARRA, 1984a. Algunos rasgos geológicos del sur de Salta y este de Tucumán. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 1(1): 62-72, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., J. GEBHARD y V. NARCISO, 1984b. Mapa geológico del Noroeste argentino 1:500.000. 9° Congreso Geológico Argentino Actas 4: 208-210, Buenos Aires

FERNANDEZ GARRASINO, C., S. ARCHANGELSKY y M. del M. VERGEL, 1991. Cuenca Chacoparanense. 12° Congreso Internacional de la Estratigrafía y Geología del Carbonífero y Pérmico y Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la Rep. Oriental del Uruguay, Pre-Impresión: 27-44, Buenos Aires

FERRANDO, L. y J. R. MONTAÑA, 1987. Hipótesis Preliminar sobre la Evolución Paleogeográfica de Cuenca de Paraná en el Uruguay. III Simposio Sul Brasileño, de Geología, Actas Vol 1: 393-400, Curutiva, Brasil.

FERRANDO, L. y R. ANDREIS, 1982. Correlación entre las columnas estratigráficas paleozoicas de Uruguay y Río Grande del Sur (Brasil). International Union of Geosciences, International Geological Correlation Programme, Reunión Comunicaciones Proyecto 42 Paleozoico Superior de América del Sur y sus límites, Resúmenes Boletín N° 5, Montevideo

FERRANDO, L. y R. ANDREIS, 1986. Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay. 1er. Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos 1: 295-323, Buenos Aires.

FERREIRO, V y C. REY. 1993. Mapa Hidrológico de la República Argentina Escala 1:1.000.000 Hoja N° 8. Río Paraná Prov. Santa Fe y Entre Ríos, SMHDS, INCYTH.

FERREIRO, V, C. REY.y O. OLIVARES, 1993. Mapa Hidrológico de la República Argentina Escala 1:1.000.000 Hoja N°10 .Río de la Plata, Buenos Aires y Entre Ríos, SMHDS, INCYTH.

FERREIRO, V, y C. REY. 1993. Mapa Hidrológico de la República Argentina Escala 1:1.000.000 Hoja N° 7 Río Uruguay- Prov. Entre Ríos, SMHDS, INCYTH.

FETTER, C. W., 1988. Applied Hydrogeology. Merril Publishing Company, 2da Ed., London, GB.

FILI, M. y O. TUJCHNEIDER, 1977. Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Univ. Nac. Mar del Plata. CFI

FILI, M., E. F. DA ROSA FILHO, M. AUGE, J. MONTAÑO XAVIER, y O. TUJCHNEIDER, 1998. El Acuífero Guaraní. un Recurso Compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur). Boletín Geológico Minero, ITGE. Vol 109-4 pag: 389-394.

FILI, M., M. PEREZ, O. TUJCHNEIDER, M PARIS, M D'ELIA, 1997. Geohidrología del Sistema Acuífero en la Ciudad de Paraná (Argentina) y sus Alrrededores. 4° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Actas pag: 442-459, Montevideo, Uruguay

FLORENCE, G. y J. PACHECO, 1929. Carta geológica do Estado de Sao Paulo. Comissao Geográfica e Geológica do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo

FODOR, R., E. Mc KEE y A. ROISENBERG, 1989. Age distribution of Serra Geral (Paraná) flood basalts, southern Brazil. South América Earth Science Journal 2(4): 343-349, Amsterdam

FONSECA FERREIRA, F., 1982. Alinhamentos estructurais-magnéticos da Regiao Centro-Oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectónico. En: Geología da Bacia do Paraná: 143-166. Paulipetro Consórcio CESP/IPT, 198 pp., Sao Paulo

FOURNIER, R. O., 1977. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems. Geotermics, Vol 5. pg:41-50, Gran Bretania.

FOURNIER, R. O., 1981. Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering; Chapt. 4 in Geothermal System: Principles and Case Histories, L. Ryback nd L.J. P. Muffler eds. Wiley New York, Pag: 109-143.

FOUROUS, A., 1904. Reconocimiento geológico del Territorio de Misiones. Con mapa geológico. Ministerio de Agricultura Anales (Sección Geología, Mineralogía y Minería) 1(1), Buenos Aires

FRAGA, C., G., 1992. Origem do fluoreto em águas subterráneas dos sistema aquífero Botucatú e Serra Geral da bacia do Paraná. Sao Pablo, USP. Tese de doutorado, 178p

FREEZE R.A. y J.A. CHERRY, 1979. Groundwater. Pretince-Hall, INC. London

FRENGUELLI, J., 1930. Apuntes de geología uruguaya. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 11: 1-47, Montevideo

FRENGUELLI, J., 1939. El Río Uruguay entre Salto Grande y Paso Hervidero. Apuntes geológicos y geomorfológicos. Sociedad Científica Argentina Anales 128(6): 342-368, Buenos Aires

FRESINA M., M. GUARINO, 1997. Muestreo de Aguas Subterráneas su Importancia para la Confiabilidad en los Resultados de los Análsis Fisicoquímicos y Bactereológicos. Partido de Escobar, Argentina. VIII Congreso Geológico Chileno, Actas Vol I, Sección 4, pag: 690-695.

FRESINA M., R. SANCHEZ, A. SILVA BUSSO, 1999. Aproximación metodológica al monitoreo del ambiente Hídrico en Isla Marambio, Antártida. Revista del Cuaternario y Ciencias Ambientales, AGA. Vol I, (en prensa), Buenos Aires, Argentina .

FULFARO, V., A. SAAD., M. dos SANTOS y R. VIANNA, 1982. Compartimentaçao e evoluçao tectónica da Bacia do Paraná. En: Geología da Bacia do Paraná: 75-115. Paulipetro Consórcio CESP/IPT, 198 pp., Sao Paulo

GAMA JR., E., A. BANDEIRA JR. y A. FRANÇA, 1982. Distribuiçao espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central da Bacia do Paraná. En: Geología da Bacia do Paraná: 19-40. Paulipetro Consórcio CESP/IPT, 198 pp., Sao Paulo.

GEBHARD, J., 1982. Estudio geomórfico entre Mercedes y Justino Solari, Provincia de Corrientes. YPF S. A., Buenos Aires

GENTILI, C. y H. RIMOLDI, 1979. Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio Geología Regional Argentina, 1: 185-223, Córdoba

GENTILI, C., H. ROSENMAN y A. LOURENÇO, 1974. Características geológicas generales del territorio brasileño en la faja adyacente al curso medio del R',io Uruguay. Asociación Geológica Argentina Revista, 29(2): 223-230, Buenos Aires

GEOGRAFIA UNIVERSAL ILUSTRADA, 1972. La República Argentina. Geografía Universal Ilustrada, Volumen tercero. Anesa, Noguer, Rizzoli, 512 pp., Buenos Aires

GIGGENBACH, W.F., 1981. Geothermal mineral equilibria,. Geochimica et Cosmochimica Acta, V, 45, pag: 393-410.

GOLDSCHLAG, M., 1913. Beiträge zur Kenntnis der Petrographie Paraguays.(ver HARRINGTON, 1950)

GOLDSCHMIDT, M.J., 1958. Precipitation over and replenishment of the Yargon and Nahal hatteninim underground catchments. Hydrological Service of State of Israel. Hydrological paper N°3, Jerusalem.

GOLDSCHMIDT, M.J., 1959. On the water balnces of several mountain underground water catchments inthe israel and the flow patterns. Hydrological Service of State of Israel. Hydrological paper N°4, Jerusalem.

GOMEZ OMIL, R., 1987. Cuenca Cretácica del Noroeste. Evaluación de Formaciones en Argentina, 1987, Geología de las Cuencas Petroleras de la Argentina, YPF-Schlumberger, Preimpresión, 1: 9-15, Buenos Aires

GOMEZ OMIL, R., A. BOLL y R. HERNANDEZ, 1989. Cuenca cretácico-terciaria del Noroeste Argentino (Grupo Salta). En. Chebli, G. y L. Spalletti (Ed.) Cuencas Sedimentarias Argentinas. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N° 6: 43-64, Tucumán

GOMEZ RIFAS, C. G. Y H. C. MASQUELIN ARCELUS, 1996. Petrología y Geoquímica de las Rocas Volcánicas Cretácicas del Uruguay. XIII Congreso Geológico Argentino, III Congreso de Explotación de Hidrocarburos. Actas III.: 635-652. Buenos Aires, Argentina.

GONZALEZ, N., M.A. HERNANDEZ y C. R. VILELA., 1986. Léxico Hidrogeológico. comisón de Investigaciones Científicas de la prov. de Buenos Aires. Publicación Especial, La Plata, Argentina.

GOÑI, J. y R. HOFFSTETTER, 1964. Uruguay. Congrès Geologique International, Commission de Stratigraphie, Lexique Stratigraphique Intenational 5, Amérique Latine fascicule 9-a, 202 pág., Centre National de la Recherche Scientifique, Paris

GORDILLO, C. y A. LENCINAS, 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 577-650, Córdoba

GOSO, H., 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Ministerio de Industria y Comercio, Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo

GOULART, E. y N. JARDIM, 1982. Avaliaçao geoquímica das Formaçoes Ponta

GRASSI S., G. GIANELLI Y B. TORO, 1994. Studies of Low-Temperature Hydrothermal Systems: San Giuliano Prospect (pisa, Italy). Energy Sources, Volumen 16 pag: 401-423, Londres, Gran Bretania

GROEBER, P., 1961. Contribución al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores. Provincia de Buenos Aires, Comisión de Investigaciones Científicas Anales 2: 9-54, La Plata.

GUIDUCINI, G. y J. CAMPOS, 1968. Notas sobre a morfogenese dos derrames basalticos do Sul do Brasil. Universidade de Sao Paulo, Facultade de Filosofia e Ciéncias Boletim n° 58 (Geologa) n° 5, Sao Paulo

GUSPI, F. 1991. Rapid Modeling and inversion of Axisymmetric Potencial Fields Using Equivalent Sources. Revista de Geofisica, N°47, pag 19-26. Rosario, Argentina

HANTUSH, M.S., 1956. Analysis of data for pumping test in leaky acuifers. Trans. Am. Geophysical Union. Vol 37, N°6, pag: 702,-714, US.

HARKER, A., 1902. Petrographie. Introduction a l'étude des roches au moyen du microscope. Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Editeur, Successeur de Baudry et Cie., 476 pp., Paris, Liège

HARKER, A., 1909. Natural History of Igneous Rocks. London

HARRINGTON, H., 1950. Geología del Paraguay Oriental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Contribuciones Científicas Serie E (Geología) 1: 1-82, Buenos Aires

HAUSEN, J., 1919. Contribución al estudio de la petrografía del Territorio Nacional de Misiones. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología Boletín N° 21 Serie B (Geologa): 1-39, Buenos Aires

HENLEY, R. W., A.H. TRUESDELL & P.B. BARTON (Jr.), 1984. Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal System. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Vol 1.

HERBST, R. y B. ALVAREZ, 1975. Nota sobre dos Formaciones del Cuaternario en Corrientes. Academia Brasileira de Ciencias Anais Suplemento 47: 33-37, Rio de Janeiro

HERBST, R. y H. CAMACHO, 1970. Sobre el hallazgo de Bivalvos de agua dulce (Unionida y Mycetopodidae) en el Terciario superior de Empedrado, provincia de Corrientes, Argentina. Asociación Paleontológica Argentina Revista Ameghiniana 7(4): 335-340, Buenos Aires

HERBST, R. y L. FERRANDO, 1985. Cyzicus (Lithoestheria) ferrandoi n. sp. (Conchostraca, Cyzicidae) de la Formación Tacuarembó (Triásico superior) del Uruguay. Asociación de Ciencias Naturales del Litoral Revista 16(1): 29-47, Santa Fe

HERBST, R. y L. ZABERT, 1989. Sedimentos triásicos en el subsuelo de la Mesopotamia argentina. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Corrientes

HERBST, R. y L. ZABERT, 1990. Sedimentos triásicos en el subsuelo de la Mesopotamia argentina. 11er. Congreso Geológico Argentino Actas 2: 97-100, San Juan

HERBST, R., 1969. Nota sobre la geología de Corrientes. 4as. Jornadas Geológicas Argentinas Actas 3: 87-95, Buenos Aires

HERBST, R., 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes, República Argentina. Asociación Geológica Argentina Revista 26(2): 221-243, Buenos Aires

HERBST, R., 1980. Consideraciones estratigráficas y litológicas sobre la Formación Fray Bentos (Oligoceno inferior-medio) de Argentina y Uruguay. Asociación Geológica Argentina Revista 35(3): 308-317, Buenos Aires

HERBST, R., J. SANTA CRUZ, A. SILVA, M. GUARINO y D. VILLEGAS, 1995. Mapa Geológico de la Provincia de Corrientes, República Argentina, 1:500.000. Secretaría de Minería, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires

HERBST, R., J. SANTA CRUZ, E. POPOLIZIO, R. CAPURRO y E. ESCOBAR, 1985. Mapa Litoestratigráfico de la Provincia de Corrientes. Universidad Nacional del Nordeste, d'Orbignyana 2: 1-50, Corrientes

HIDROSUD, 1988. Desarrollo de la Actividad Termal. Informe 1., FONADEP, MTU, Uruguay.

HOFFSTETTER, R., 1980. Utilización de la escala cronoestratigráfica internacional en el Terciario mamalífero sudamericano. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1er. Congreso Latinoamericano de Paleontología Actas 3: 1-6, Buenos Aires

HUSSAK, E., 1889. Notas petrográficas sobre as augito-porfiritas do Paranapanema. Boletim da Comissao Geográfica e Geológica do Estado de Sao Paulo, Sao Paulo

INSTITUTO DE GEOCRONOLOGIA Y GEOLOGIA ISOTOPICA (INGEIS), 1974. Información sobre datación geológica (417) y nota sobre la muestra INGEIS 0570. YPF S. A., Buenos Aires

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS (INCyTH), 1977. Evaluación preliminar de los recursos de agua subterránea, cuencas Nos. 42 y 43, provincia de Corrientes. Convenio INCYTH-Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata, Ezeiza, La Plata

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS (INCyTH), 1989. Mapa de Cuencas Hídricas de la República Argentina Escala 1:2.500.000-MOSP- INCYTH

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS (INCyTH), 1991. Mapa Hidrogeológico de la República Argentina Escala 1:2.500.000-MOSP- INCYTH- UNESCO

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (INGM), 1958. Perfiles de Perforaciones, Periodo 1904-1915. Ministerio de Economía de la Nación, Secretaria de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. Instituto Nacional de Geología y Minería. Publicación 146.

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (INGM), 1965. Perfiles de Perforaciones, Periodo 1916-1925. Ministerio de Economía de la Nación, Secretaria de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. Instituto Nacional de Geología y Minería. Publicación 152.

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (INGM), 1970. Perfiles de Perforaciones, Periodo 1936-1945. Ministerio de Economía de la Nación, Secretaria de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. Instituto Nacional de Geología y Minería. Publicación 153.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA), 1980. Suelos y Erosión de la Provincia de Entre Ríos, Estación Experimental Paraná. Tomo I

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA), 1981. Carta de Suelos del Delta Entrerriano. Aptitud Forestal de los Suelos. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, Departamento de Suelos. Bs.As. Argentina

INSTITUTO NCIONAN DE ESTADISTICAS Y CENSOS (INDEC), 1991. Datos y Estadisticas del Censo Nacional Argentino 1991.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS (IAH), 1995. Hydrogeological Maps and Guide Standard Legend, International Contributions to Hidrogeology vol 17.

INTROCASO, A, 1995. Informe sobre la Carta Gravimétrica entre lat sur 30° - long O 57°. IFIR, Rosario, Argentina.

INTROCASO, A, R., GESTER, 1986. La Cuenca Chacoparanense. influencia de los Basaltos en la Interpretación Gravimétrica, Geofisica Internacional Vol 25-3, pag: 403-422

IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A., 1979. Estudio mineralógico de herschelita, encontrada en cavidades de basaltos de la Serie de Serra Geral, en el área de Garruchos Garab, Prov. de Corrientes, República Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino Actas 2: 351-357, Buenos Aires

IRIGOYEN (sic), M. y C. URIEN, 1988. Cuadro Geoestructural de América del Sur. En: Bonaparte, J., A. J. Toselli y F. Aceñolaza (Ed.) Geología de América del Sur 1. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Serie: Correlación Geológica N° 2: 17-106, Tucumán

IRIONDO, M., 1980. El cuternario de Entre Ríos, Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, n°11, p.:125-141, Santa Fe, Argentina.

JACOB, C.E., 1940- On the flow of water in an elastic artesian acuifer. Transactions Am. Geophisicalical Union .

JALFIN, G., 1987. Litofacies y paleocorrientes de la Formación Solari, Provincia de Corrientes. Asociación Geológica Argentina Revista 42(1-2): 101-111, Buenos Aires

JALFIN, G., 1988. Formación Ituzaingó (Pio-Pleistoceno) en Empedrado, provincia de Corrientes: un paleorío arenoso entrelazado tipo Platte. 2a. Reunión Argentina de Sedimentología Actas: 130-134, Buenos Aires

JOHONSON A. I., 1967. Groundwater and Wells. Editorial Edward E. Johonson, Saint Paul, Minesota.

KAASSCHIETER, J., 1965. Geología de la Cuenca del Colorado. 2as. Jornadas Geológicas Argentinas Actas 3: 251-269, Tucumán

KEIDEL, J., 1934. Informe geológico sobre el Sistema de Santa Catherina en los departamentos de Cerro Largo, Rivera, Tacuarembó y Durazno. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo

KRAGLIEVICH, L., 1928. Apuntes para la geología y paleontología de la República Oriental del Uruguay. Revista Amigos de la Arqueología 2: 5-61, Montevideo

KRESS, P., A. GANGUI y H. GÖTZE, 1993. Estructura profunda de la Subcuenca de Olmedo. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas 3: 82-84, Buenos Aires

LAMBERT, R., 1940a. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto. Instituto Geológico del Uruguay Boletín 27b: 1-41, Montevideo

LAMBERT, R., 1940b. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del Departamento de Río Negro. Instituto Geológico del Uruguay Boletín 28: 1-33, Montevideo

LAMBERT, R., 1941. Estado actual de nuestros conocimientos sobre la geología de la República Oriental del Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay Boletín 29: 1-89, Montevideo

LAVINA, E., 1982. Paleontología, estratigrafía e bioestratigrafía da Formaçao Sanga do Cabral (Triassico inferior do Grupo Rosario do Sul), na Folha de Catuçaba, Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Instituto de Geociencias, Curso de Posgraduaçao, Dissertaçao de Mestrado, Porto Alegre

LAVINA, E., 1983. Procolophon pricei, sp. n., um novo procolophonideo do Triasico do Rio Grande do Sul. Fundaçao Zoo-botanica do Rio Grande do Sul Revista Iheringia 9, Porto Alegre

LEINZ, V, A. BARTORELLI, G. SADOWSKI e C. ISOTTA, 1966. Sobre o comportamento espacial do Trapp Basaltico da Bacio do Parana. Bol. Soc. Bras. de geol. 15, 4 , Brasil.

LLAMBIAS, E. J. y J. C. TURNER, 1989. Magmatismo. En: Bonaparte, J., A. J. Toselli y F. Aceñolaza (Ed.) Geología de América del Sur 5. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica N° 2: 83-149, Tucumán

LUCERO MICHAUT, H., 1979. Sierras Pampeanas del Norte de Córdoba, Sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 293-347, Córdoba

MAHON, W. A., 1970. Chemistry in the exploration and exploitation of hydrotermal system. Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of geothermal resource, Geothermics S.p. iss 2,2, pag: 1310-1322.

MALIZIA, D., E. MILLER, M. del R. ROSSO, I. LABAYEN y S. HERNAEZ, 1993. Geochemical interpretation of the Carboniferous-Permian in the Alhuampa Sub-basin, North East Argentina. 12ème Congrès International de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien Comptes Rendus 1: 239-252, Buenos Aires

MAMANI, M. J. VENENCIA Y A MAIDANA, 1992. Informe Final Sobre las Mediciones Geofísicas en San José, Entre Ríos. Dpto de Geofísica, CRICYTH, CONICET, Mendoza, Argentina.

MANTOVANI, M. S. M., W. Shukowski, S. E. Hallinan.,1995. Análise da espessura elástica efectiva no segmento litosférico Río de La Plata - Dom Feliciano. Annais Academia Brasileira de Ciencias, 67: 199-220.

MARATHON PETROLEUM ARGENTINA LTD., 1991. Informe Técnico del Pozo Firmat-1., Marathom Petroleum Argentina, Inédito.

MARTINEZ, C., 1950. Observaciones geológicas en Curuzú Cuatiá (Corrientes) y alrededores. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Tesis doctoral, Córdoba

MARTINSSON, M., 1970. Toponomy of trace fossils. En: Crinus, T. y J. Harper (Ed.) Trace fossils. Geological Journal, Special Issue 3: 323-330

MEINZER, O. E., 1923. The Occurrencie of Ground Water in United States. US Geological Survey , Water-Supply Paper N°489 pag:321-345.

MENTE A, 1993. Esquema Hidrogeológico de la Provincia Hidrogeológica Paraná. Mapa Hidrogeológico de America del Sur., 1:5.000.000. UNESCO.

MIJAILOV I.E. y B.D., RUSANOV, 1980. Aguas Arteianas., Editorial LGMI.

MILANI, E., 1992. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná basin, SE Brazil. En: De Wit, M. e I. Ransome (Ed.) Inversion Tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of Southern Africa. Conference on Inversion Tectonics of the Cape Fold Belt Proceedings: 101108, A. Balkema, Rotterdam

MILANI, E., A. B. FRANÇA y R. SCHNEIDER, 1994. Bacia do Paraná. En: Feijó, F. (Ed.) Estratigrafia das Bacias Sedimentares do Brasil. Petrobras Boletim de Geociencias, Pré-print, Río de Janeiro

MILANI, E., E. MASSAAKI KINOSHITA, L. MEDEIROS DE ARAUJO y P. da CRUZ CUNHA, 1990. Bacia do Paraná: possibilidades petrolíferas da Calha central. Petrobras Boletim de Geociencias 4(1): 21-34, Rio de Janeiro

MILCH., L., 1894. Ueber Gesteine aus Paraguay. Tscherm. Min. und Petr. Mitt., 14: 383 (ver HARRINGTON, 1950)

MINGRAMM, A. y A. RUSSO, 1969. Geología de la región de las Sierras Subandinas y del Chaco salteño. YPF S. A., Buenos Aires

MINGRAMM, A. y A. RUSSO, 1972. Sierras Subandinas y Chaco salteño. En: Leanza, A. F. (Ed.) Geología Regional Argentina: 185-211. Academia Nacional de Ciencias, 869 pág., Córdoba

MINGRAMM, A., 1966a. Terminación del pozo estratigráfico SE.AB.x-1 (Arbol Blanco, Santiago del Estero). YPF S. A., Buenos Aires

MINGRAMM, A., 1966b. Abandono del pozo estratigráfico SE.EC.x-1 (El Caburé, Santiago del Estero). YPF S. A., Buenos Aires

MINGRAMM, A., 1966c. Informe de terminación del pozo de exploración S.PET.x-1 (Puesto El Tigre, Salta). YPF S. A., Buenos Aires

MINGRAMM, A., A. RUSSO, A. POZZO y L. CAZAU, 1979. Sierras Subandinas. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 95-137, Córdoba

MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA, MINISTERIO DE TRASPORTE Y OBRAS PUBLICAS, BANCO MUNDIAL DE DESARROLLO, (MGAP-MTOP-BIRF), 1995. Estudio del Acuífero Salto. Programa de Manejo y Recursos Naturales y Desarrollo del Riego, MGAP, MTOP, BIRF y CONSUR. Uruguay

MIRRE, J. y F. ACEÑOLAZA, 1972. El hallazgo de Oldhamia sp. (traza fósil) y su valor como evidencia de edad cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde occidental del Aconquija, Provincia de Catamarca. Ameghiniana Revista de la Asociación Paleontológica Argentina 9(1): 72-78, Buenos Aires

MONALDI, C. y M. BOSSO, 1986. Hallazgo de Dalmanitina (Trilobita) en la Formación Zapla del Noroeste argentino. Implicancia cronológica. 4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía Actas 1: 99-101, Mendoza

MONALDI, C., M. BOSO (sic) y J. FERNANDEZ, 1986. Estratigrafía del Ordovícico de la Sierra de Zapla, Provincia de Jujuy. Asociación Geológica Argentina Revista 41(1-2): 62-69, Buenos Aires

MONES, A. y M. UBILLA, 1978. La edad Deseadense (Oligoceno inferior) de la Formación Fray Bentos y su contenido paleontológico, con especial referencia a la presencia de Proboryhyaena cr. gigantes Ameghino (Marsupialia: Borhyaenidas) en el Uruguay. Museo de Historia Natural de Montevideo, Nota Preliminar Comunicaciones Paleontológicas 7(1), Montevideo

MONES, A., 1980. Nuevos elementos de la paleoherpetofauna del Uruguay (Crocodilia y Dinosauria). 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1er. Congreso Latinoamericano de Paleontología Actas 1: 265-277, Buenos Aires

MONTAÑO XAVIER, J., M. P. COLLAZO CARABALLO, 1998. Hidrogeoquímica del sistema Acuífero Guaraní (Uruguay). 2°Congreso Uruguayo de Geología, Sociedad Uruguaya de Geología, Facultad de Ciencias, Actas I, Sección Geología Aplicada, pag: 395-400. Punta del Este Uruguay

MONTAÑO, J., M. PESSI, 1985. Estudio Hidrogeológico de Rivera. OSE, 1985, Montevideo, Uruguay.

MONTAÑO, J., R. CARRION, 1990. Optimización de la Explotación del Sistema Acuífero Jurásico-Triásico.Tacuarembó-Buena Vista. 6° Congreso de Aguas Subterráneas, Actas Vol I pag: 180-189. Porto Alegre, Brasil.

MONTEMURRO, G., 1987. Redefinición de la edad y ambiente del Grupo Boquí en la zona del Mutún. 10° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 289-297, Tucumán

MORENO, J. A., 1970. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior en la cuenca del Noroeste argentino, con especial mención de los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. Asociación Geológica Argentina Revista 25(1): 9-44, Buenos Aires

MURUT, A. y C. FERNANDEZ GARRASINO, 1994. Posibles sucesiones gondwánicas en el subsuelo de la Provincia de Misiones, Argentina. Alternativas exploratorias. Petrotecnia Revista del Instituto Argentino del Petróleo 35(3): 31-40, Buenos Aires

MURUT, A. y C. FERNANDEZ GARRASINO, 1994. Posibles sucesiones gondwánicas en el subsuelo de la Provincia de Misiones, Argentina. Alternativas exploratorias. Instituto Argentino del Petróleo (IAP) Revista Petrotecnia, en prensa, Buenos Aires

NICOLLI, H. B., T. O'CONNOR, J. SURUNO, M. L. KOUKHARSKY, M.A. GOMEZ PERAL, L. M. BERTINI, I. M. COHEN, L. I. CORRADI, O. A. BALEANI, E.G ABRIL, 1985. Geoquímica del Arsénico y otros Oligoelemntos en Aguas Subterráneas de la Llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea 71, Córdoba, Argentina.

NICOLLI, H. y M. A. GAMBA, 1979a. Guía para el Muestreo Geoquímico de Aguas y Salmueras. Publ. CNIL. GE, inédito.

NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 1983. North American Stratigraphic Code. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 67(5): 841-875, Tulsa

NOVEL MUNIOZ, R., 1996. Informe de Factibilidad de Mezcla de Aguas de los Acuíferos Puelches e Hipopuelches Aguas Argentinas. Informe Inédito.

NOVEL MUNIOZ, R., 1996. Informe Hipopuelches. Datos Preliminares. Factibilidad de Explotación Mixta con el Puelches. Aguas Argentinas. Informe Inédito.

O'CONNOR, E. y D. WALDE, 1986. Recognition of an Eocambrian Orogenic Cycle in SW Brazil and SE Bolivia. En: Miller, H. y U. Rosenfeld (Ed.) 9. Symposium on Latin-American Geosciences: 1441-1456. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart

ORELLANA, E. 1982. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Editorial Panarinfo, Madrid, España.

ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS (OEA), 1973. Mapa Geológico de la Cuenca del Río de la Plata, Escala 1:3.000.000., Organización de Estados Americanos.

ORTIZ AGUIRRE, R., 1996. Glosario Geohidrológico. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luís de Potosí. San Luís de Potosí, S.L.P., México.

ORTIZ JAUREGUIZAR, E., 1986. Evolución de las comunidades de mamíferos cenozoicos sudamericanos: un estudio basado en técnicas de análisis multivariado. 4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía Actas 2: 191-207, Mendoza

OSTERA, H.A.,. 1998. (INGEIS), Informe de la datación geológica (4315) Colón-1 y nota sobre la muestra INGEIS 0570. PNDSAS, INA., Buenos Aires

PADILHA, A., N. TRIVEDI, J. DA COSTA, I. VITORELLO, A. DUOIS y C. CAVOIT, 1989. Audiomagnetotelluric study in northeast region of Paraná Basin, South America. Society of Exploration Geophysicists, Geophysics 54(7): 824-831, Tulsa

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1963. The fundamental geological pattern of the Chaco-Paraná Basin (Argentina) in relation to its oil possibilities. 6th. World Petroleum Congress Proceedings Section 1(1): 293-310, Frankfurt

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1966a. Terminación del pozo estratigráfico SE.AB.x-1 (Arbol Blanco, Santiago del Estero). YPF S. A., Buenos Aires

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1966b. Terminación del pozo de estudio Cha.LBO.x.1 (Las Breñas-Chaco-República Argentina). YPF S. A., Buenos Aires

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1967. Informe de terminación del pozo Cha.LB.-x-2, Las Breñas, Chaco. YPF S. A., Buenos Aires

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chaco-Paranense. 3as. Jornadas Geológicas Argentinas Actas 1: 291-331, Buenos Aires

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1969a. Subsurface Carboniferous Beds of the Chaco-Mesopotamian Region, Argentina, and their Relatives in Uruguay, Paraguay and Brazil. International Union of Geosciences Gondwana Stratigraphy Symposium, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Earth Sciences 2: 1025-1040, Paris

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1969b. Permian Subsurface Beds of the Chaco- Mesopotamian Region, Argentina, and their Relatives in Brazil, Paraguay and Uruguay. International Union of Geosciences Gondwana Stratigraphy Symposium, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Earth Sciences 2: 1041-1051, Pars

PADULA, E. y A. MINGRAMM, 1969c. Sub-surface Mesozoic Red-beds of the Chaco-Mesopotamian Region, Argentina, and their Relatives in Uruguay and Brazil. International Union of Geosciences Gondwana Stratigraphy Symposium, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Earth Sciences 2: 1053-1073, Pars

PADULA, E., 1972. Subsuelo de la Mesopotamia y regiones adyacentes. En: Leanza, A. F. (Ed.) Geología Regional Argentina: 213-235. Academia Nacional de Ciencias, 869 pág., Córdoba

PALMIERI, J. y A. ARRIBAS, 1975. El complejo alcalino potásico de Sapukai (Paraguay oriental). 2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica Actas 4: 267-300, Buenos Aires

PALMIERI, J. y J. VELAZQUEZ, 1982. Geología del Paraguay. Colección apoyo a Cátedra, Serie Ciencias Naturales. Ediciones NAPA, 65 pág., Asunción

PALMIERI, J., 1973. El complejo alcalino de Sapukai (Paraguay oriental).Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Tesis, Salamanca

PALMIERI, J., 1977. Contribución al conocimiento del Macizo Basáltico del Paraná. Sociedad Científica del Paraguay Revista 17, Asunción

PALMIERI, J., A. MENTE, E. SILVA y E. GODOY, 1990c. Mapa Hidrogeológico, 1:1.000.000. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo y Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, Asunción

PALMIERI, J., A. MENTE, E. SILVA y E. GODOY, 1990c. Mapa Hidrogeológico, 1:1.000.000. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo y Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, Asunción

PALMIERI, J., L. JARAMILLO, J. VELAZQUEZ, C. PEREIRA y O. OPORTO, 1990b. Mapa Metalogénico del Paraguay 1a. Edición 1986, 1:2.000.000. Ministerio de Defensa Nacional, Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco y Naciones Unidas, Asunción

PALMIERI, J., V. FULFARO y D. ALVARENGA, 1990a. República del Paraguay. Mapa Geológico 1986, 1:1.000.000. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo y Departamento de Cooperación Técnica para el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, Asunción

PANARELLO, O.H. y L.A. PARICA. 1984. Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia en Buenos Aires. Rev. Asocc. Geol. Arg. XXXiX (1-2): 3-11.

PASOTTI, P. y C. CANOBA, 1982. Una interpretación de la neotectónica de un sector de la llanura pampeana. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 3: 659-673, Buenos Aires

PEZZI, E. y M. MOZETIC, 1989. Cuencas sedimentarias de la región chacoparanense. En: Chebli, G. y L. Spalletti (Ed.) Cuencas Sedimentarias Argentinas. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N° 6: 65-77, Tucumán

PIPER, A. M., 1953. Natured and contaminated in the Long Beach. Santa Ana area., California, US. Geological Survey, Water-Supply. Paper N°1136,US.

PLINO, en A. LIMON MONTERO, 1697. Espejo Cristalino de las Aguas de España. Faximil ITGE (1979), Ejemplar N°1904, Madrid, España.
PODESTA, F., 1899. Un nuevo fósil: el Ameghinotherium curuzucuatiense. Revista Escuela Positiva 5: 1-8, Corrientes

POMPEU DOS SANTOS, J., 1983. Reconocimietno Hidrogeológico del Acuífero Tacuarembó entre Paysandú y Bella Unión. Actas de la Segundas Jornadas Internacionales de Hidrogeología Termal, (pag 214-237) Arapey, Uruguay.

PONTI, N y C. PASTORE, 1995. Informe de la Prospección Geolectrica en la Ciudad de Concenpción del Uruguay, Entre Ríos., Ponti y Asoc., San Juan, Argentina.

PONTI, N. y C. PASTORE, 1993. Informe de la Prospección Geolectrica en la Ciudad de Federación, Entre Ríos. INGEP., San Juan, Argentina.

PONTI, N., J. SANTA CRUZ Y A. SILVA BUSSO, 1997. Informe de la Prospección Geolectrica en el área del Río Guayquiraró, Entre Ríos-Corrientes, Ponti y Asoc., San Juan, Argentina.

POPOLZZIO, E. 1977. Contribución a la Geomorfología de la Provincia de Corrientes. Instituto de Física y geología de la Universidad de Rosario, Serie Nota N°1., Rosario, Argentina.

PORTO, J.,C., C. DANIELI Y O RUIZ HUIDOBRO, 1982. El Grupo Salta en al Provincia de Tucumán, Argentina. Actas del 5° Congreso Latinoamericano de Geología. tomo 4, pag: 253-264.

POZZO, A. y C. FERNANDEZ GARRASINO, 1979. Sobre la presencia de depósitos de barrera litoral en la Formación Tupambi (Mississippiano) en el subsuelo del Chaco salteño (Provincia de Salta, Argentina). 7° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 551-562, Buenos Aires

PRECIOZZI, F., J. SPOTURNO, W. HEINZEN y P. ROSSI, 1985. República Oriental del Uruguay, Carta Geológica 1:500.000. Ministerio de Industria y Energa, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo

PROGRAMA DE SERVICIOS AGRICOLAS PROVINCIALES (PROSAP), 1996. Disponibilidad del Agua Subterránea para Riego Complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fé. Informe Final. PROSAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina.

PROYECTO LA PAZ, 1996. Prospección Hidrotermal por Métodos Geoeléctricos en al Ciudad de La Paz, Prov. de Entre Ríos. Municipalidad de La Paz, Entre Ríos, Argentina.

PUCCI, J., 1991. Resumen de las cuencas sedimentarias del Paraguay. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 8(28): 42-48, Buenos Aires

PUSZCAR, H., 1975. Informe del plano isicrono-sísmico de las zonas del Arenal, Rosario de la Frontera, Trancas y Candelaria. YPF, Buenos Aires.

PUTZER, H. y G. van den BOOM, 1961. Auftreten von Alkali-Gesteinen in Paraguay. Geologische Jahrbuch 79, Hannover

PUTZER, H., 1962. Geologie von Paraguay. Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, Gebrüder Borntraeger, 182 pág., Berlin

REBORI, L. 1988. Comentarios sobre la gira realizada a los Departamentos Cerro Largo y Tacuarembó, República Oriental del Uruguay. YPF S. A., Buenos Aires

REBOUÇAS, A.C., 1994. Sisema Aquífero Botucatú no Brasil. Recife, PE. 8° Congreso. Brasilero de Aguas Subterráneas. ABAS. Actas, Tomo I pag: 500-509.

REIG, O., 1956. Sobre la posición sistemática de "Zygolestes paranensis" Amegh. y de "Zygolestes entrerrianus" Amegh. Centro de Estudiantes del Doctorado en Ciencias Naturales de Buenos Aires Revista Holmbergia 5 (12-13): 209-226, Buenos Aires

REY, P., 1945. Origen y Futuro de la Geofisica en la Búsqueda de Petroleo. Boletín de Informaciones Petroleras N° 245, pag 19-46.

REYES, F. y J. SALFITY, 1973. Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua) del Noroeste Argentino. 5° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 355-385, Buenos Aires

REYES, F., 1972. Correlaciones en el Cretácico de la cuenca Andina de Bolivia, Perú y Chile. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) Revista Técnica 1(2-3): 101-144, La Paz

REYES, F., J. SALFITY, J. VIRAMONTE y W. GUTIERREZ, 1976. Consideraciones sobre el vulcanismo del Subgrupo Pirgua (Cretácico) en el Norte argentino. 6° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 205-223, Buenos Aires

RIBOO, R, 1985. Informe sobre plano isocrono-sísmico de la zona Arenal (Salta). YPF, Buenos Aires

RIGGI, J. C. y N. FELIU DE RIGGI, 1964. Meteorización de basaltos en Misiones. Asociación Geológica Argentina Revista 19(1): 57-70, Buenos Aires

RIMOLDI, H. y P. BEHRENDT, 1969. Puente internacional sobre el río Uruguay Puerto Unzué-Fray Bentos. Estudio geológico-geotécnico. Tecnoconsult S. A., Hidrosud S. A. y Tudor Engineering Company of San Francisco, Buenos Aires

RIMOLDI, H., 1963. Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero (provincia Entre Ríos). 1as. Jornadas Geológicas Argentina Anales 2: 287-310, Buenos Aires

RIMOLDI, H., 1982. Caracteres Geológicos y Geotécnicos de las Sedimentitas de la Formación Puerto Yeruá en vinculación con las cimentaciones del puente Paysandú (Urg.) - Colón (R.A.). Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol II, 75-95, Buenos Aires, Argentina.

ROCHA CAMPOS, A., U. CORDANI, K. KAWASHITA, H. SONOKI e I. SONOKI, 1988. Age of the Paraná Flood Volcanism. En: Piccirillo, E. y A. Melfi (Ed.) The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: 25-45. Universidade de Sao Paulo, Instituto Astronómico e Geofísico, Sao Paulo

ROLLERI, E., 1976. Sistema de Santa Bárbara. Una nueva provincia geológica argentina. 6° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 239-255, Buenos Aires

ROMA, M.T, 1983. Los Acuíferos del Subsuelo del Uruguay y su tenor de explotación. Actas de la Segundas Jornadas Internacionales de Hidrogeología Termal, (pag 148-164) Arapey, Uruguay.

ROMERO FONSECA, L. A.; 1962. El Asfalto en al Red Vial de Corrientes, XII Reunión Com. Per. del Asfalto, Acta I. pag: 437-454., Mar del Plata, Argentina

RORABAUGTH, M. I., 1953. Graphical and Theoretical analysis of step drawdown test of artesian well. Proc. Am Soc. Civil Eng. vol 79.

ROSSI de GARCIA, E. y R. LEVY, 1983. El género Neopycnodonte Stenzel (Mollusca, Ostreina) en la República Argentina. Asociación Geológica Argentina Revista 38(2): 283-285, Buenos Aires

RUIZ HUIDOBRO, O., 1975. Descripción geológica de la Hoja 12c, Laguna Helada, Provincia de Catamarca. Servicio Geológico Nacional Boletín N° 146, Buenos Aires

RUSSO, A. y A. SERRAIOTTO, 1979. Contribución al conocimiento de la estratigrafía terciaria en el Noroeste argentino. 7° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 715-730, Buenos Aires

RUSSO, A., 1975. Consideraciones sobre la estratigrafía del Terciario en el Noroeste Argentino. YPF S. A., Buenos Aires

RUSSO, A., 1980. Cuenca Chaco Paranense. Posibilidades petrolíferas y consideraciones geológico estructurales. YPF S. A., Buenos Aires

RUSSO, A., A. ALVAREZ BERROS y R. FERELLO, 1974. Cuenca Chacoparanense. YPF S. A., Buenos Aires

RUSSO, A., R. FERELLO y G. CHEBLI, 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 139-183. Academia Nacional de Ciencias, 869 pp., Córdoba

RUSSO, A., R. FERELLO y G. CHEBLI, 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina 1: 139-183. Academia Nacional de Ciencias, 869 pp., Córdoba

RUSSO, A., S. ARCHANGELSKY y J. GAMERRO, 1980. Los depósitos suprapaleozoicos en el subsuelo de la llanura chaco-pampeana, Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1er. Congreso Latinoamericano de Paleontología 4: 157-173, Buenos Aires

RUSSO, A., S. ARCHANGELSKY y J. GAMERRO, 1980. Los depósitos suprapaleozoicos en el subsuelo de la llanura chaco-pampeana, Argentina. 2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1er. Congreso Latinoamericano de Paleontología 4: 157-173, Buenos Aires

RUSSO, A., S. ARCHANGELSKY, R. ANDREIS y A. CUERDA, 1986. Cuenca Chacoparanense. Subcomisión Internacional del Carbonífero, Proyecto 211 del Proyecto Internacional de Correlación Geológica (PICG), Academia Nacional de Ciencias. En: Archangelsky, S. (Ed.) El Sistema Carbonífero en la República Argentina (Síntesis): 183-198, Córdoba

RUSSO, A., S. ARCHANGELSKY, R. ANDREIS y A. CUERDA, 1987. Cuenca Chacoparanense. Subcomisión Internacional del Carbonífero, Proyecto 211 del Proyecto Internacional de Correlación Geológica (PICG), Academia Nacional de Ciencias. En: Archangelsky, S. (Ed.) El Sistema Carbonífero en la República Argentina: 197-212, Córdoba

SALA, J.M. 1975. Recursos Hídricos, Especial Mención de las Aguas Subterráneas. Relatorio Geología de la Pcia. de Buenos Aires. IV Congreso Geológico Arg. pp. 169 – 193. Bs. As.

SALA, J.M.; GONZALEZ, N. y KRUSE, E. 1983. Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs. As. Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comite Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, Olavarría, Argentina.

SALAMUNI, R. y J. BIGARELLA, 1967. The Botucatú Formation. Centro Nacional de Pesquisas. En: Bigarella, J., R. Becker e I. Pinto (Ed.) Problems in Brazilian Gondwana Geology: 197-206, Curitiba

SALFITY, J. y R. MARQUILLAS, 1981. Las unidades estratigráficas cretácicas del Norte de la Argentina. En: Volkheimer, W. y E. Musacchio (Ed.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur: 303-317. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, 351 pág., Buenos Aires

SALFITY, J. y S. GORUSTOVICH, 1978. Geografía pregondwánica del centro-oeste sudamericano. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Reunión Nacional El Paleozoico de Argentina y Suplemento Acta Geológica Lilloana 14: 39-41, Tucumán

SALFITY, J., 1978, in 1980. Estratigrafía de la Formación Lecho (Cretácico) en la cuenca andina del Norte argentino. Universidad Nacional de Salta, Departamento de Ciencias Naturales, Publicaciones especiales Tesis N° 1, Salta

SALFITY, J., 1979. Paleogeología de la Cuenca del Grupo Salta (Cretácico-Eogénico) del Norte de Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 505-515, Buenos Aires

SALFITY, J., 1982. Evolución paleogeográfica del Grupo Salta (Cretácico-Eogénico), Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 1: 11-26, Buenos Aires

SALFITY, J., C. AZCUY, O. LOPEZ GAMUNDI, A. CUERDA y G. LAFFITTE, 1986. Cuenca Tarija. Subcomisión Internacional del Carbonífero, Proyecto 211 del Proyecto Internacional de Correlación Geológica (PICG), Academia Nacional de Ciencias. En: Archangelsky, S. (Ed.) El Sistema Carbonífero en la República Argentina (Síntesis): 15-38, Córdoba

SALINITY LABORATORY STAFF, 1968, en CUSTODIO LLAMAS, 1983. Hidrología Subterránea, Editorial Omega, Segunda Edición, Tomo I, Cap 9,pag: 1047, Barcelona, España.

SALSO, J., 1966. La Cuenca de Macachín, Provincia de La Pampa. Nota pre-liminar. Asociación Geológica Argentina Revista 21(2): 107-117, Buenos Aires

SANFORD, R. y F. LANGE, 1960. Basin study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, South Brazil. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 44(8): 1316-1370, Tulsa

SANTA CRUZ y SILVA BUSSO, 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea. En Prensa.

SANTA CRUZ, J. N, 1995. Tipología General de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en el Conurbano Bonaerense. Revista Fundación Museo de La Plata, Vol. 1- N° 5, pp.68-71, Buenos Aires,

SANTA CRUZ, J. N., A. SILVA BUSSO y M. CERNADAS, 1996. Diseño de un Sistema de Información para Aguas Subterráneas y Aplicaciones para la Gestión del Recursos Aguas Subterráneas. XIII Congreso Geológico Argentino, III Congreso de Explotación de Hidrocarburos. Actas IV.: 393-404. Buenos Aires, Argentina.

SANTA CRUZ, J. N., A. SILVA BUSSO, M. I. ALVAREZ DIAZ., 1998. Particularidades Hidrogeoquímicas de los Acuíferos de la Formación Pampeano en el Área de Castex-Monte Nievas,

La Pampa Argentina. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. Actas Vol. III, pp. 348-354, Buenos Aires, Argentina.

SANTA CRUZ, J., 1972. Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Tomo:XXVII, N°1, pag. 1-62, Argentina.

SANTA CRUZ, J., 1972. Geología al Este de la Sierra Chica (Córdoba). Valle del Río Primero. Asociación Geológica de Córdoba Boletín 1: 102-109, Córdoba

SCHOBBENHAUS, C., D. CAMPOS, G. DERZE y H. ASMUS, 1984. Geologia do Brasil - texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Departamento Nacional da Produçao Mineral, 501 pág., Brasilia

SCHOBBENHAUS, C., D. de ALMEIDA CAMPOS, H. ASMUS y G. DERZE, 1982. Mapa Geológico do Brasil e da área oceánica adjacente incluindo depósitos minerais, Escala 1:2.500.000. 5° Congreso Latinoamericano de Geología Actas 1: 231-253, Buenos Aires

SCHÖELLER, H., 1962. Les Eaux Susouterraines, Editorial Mason, París.
SECRETARIA DE ENERGIA, 1990. Misiones. Estudio energético integral del Noreste Argentino, Documento N°16, Buenos Aires

SECRETARIA DE ENERGIA, Inédito. Mapas de ubicación de líneas Sísmicas de YPF.

SERRA, N., 1945. Memoria explicativa del mapa geológico del Departamento de Soriano. Instituto Geológico del Uruguay Boletín 32: 1-42, Montevideo

SERRANO, B., 1901. Guía de la provincia de Corrientes. Corrientes

SHELL-CAPSA Argentina S.A., 1990. Informe Técnico de Pozo Las Mochas x-1, Shell-CAPSA, Inédito.

SILVA BUSSO A., 1996. Informe Final de la Perforación Termal Colón-1 (ER3357I/3280/1T). Municipio de Colón Provincia de Entre Ríos, Argentina. Convenio INCyTH-Municipio de Colón, Ezeiza, Argentina.

SILVA BUSSO, A. 1997. Estratigrafía y Correlación de los Niveles Mesozoicos de las Captaciones del Agua Termal de la Región Mesopotámica Argentina y Litoral Uruguayo, Congreso Internacional Sobre Aguas, apartado II-3, UBA, UNESCO, Buenos Aires, Argentina.

SILVA BUSSO, A., A. PAULUCCI, 1997. Caracterización Química y Actividad Fármaco - Terapéutica de las Aguas de los Acuíferos Termales Botucatú (F. Botucatú) y Solari (F. Serra Geral) en la Región Mesopotámica Argentina y Litoral Uruguayo, Congreso Internacional Sobre Aguas, apartado III-8, UBA, UNESCO, Buenos Aires, Argentina.

SIWART, F., 1948. en Historia de la Cartografía. (1977). Editorial Peuser, Buenos Aires, Argentina.

SOARES, P., 1981. Estratigrafía das Formaçoes Jurássico-Cretáceas na Bacia do Paraná - Brasil. En: Volkheimer, W. y E. Musacchio (Ed.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur: 271-302. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, 351 pág., Buenos Aires

SOARES, P., 1988. Tectónica colisional en torno do Bloco Paraná. 7° Congresso Latinoamericano de Geología Actas 1: 63-79, Belem

SOIL SURVEY STAFF, 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for making and Interpreting Soil Surveys. US. Departament of Agriculture, Agriculture Handbook, N°436. Washington D.C., USA.

SOURDEAUX, A., 1862. Soicitud de levantamiento de un plano de la Cuidad de Buenos Aires. Archivo General de la Nación.S.X. 28-3-9 N°4065.

SPINZI, A., 1983. Consideraciones sobre una formación de conglomerados en Areguá y alrededores. Informaciones Científicas 4(1): 86-94, Asunción

SPINZI, A., 1991. La formación Patiño de la ciudad de San Antonio y alrededores (Paraguay). Asociación Paraguaya de Geología Revista Geológica 1: 77-83, Asunción

SPINZI, A., F. WIENS, M. GUTIERREZ y R. MUFF, 1993. Desarrollo tectono-sedimentario del Bloque de Asunción - Paraguay. Cooperación Geológica Paraguayo-Alemana DRM-BGR, Pre-impresión, Asunción

SPRECHMANN, P., J. BOSSI y J. DA SILVA, 1981. Cuencas del Jurásico y Cretácico del Uruguay. En: Volkheimer, W. y E. Musacchio (Ed.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur: 239-270. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, 351 pág., Buenos Aires

STAPPENBECK, R., 1926. Geologie und Grundwasserkunde der Pampa. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele), 409 pág., Stuttgart

STAPPENBECK, R., 1943. Geologie und Grundwasserkunde der Pampa. Traducción del original. Diercción de Minas y Geología, Buenos Aires

STARCK, D., E. GALLARDO y A. SCHULZ, 1992a. La Cuenca de Tarija: estratigrafía de la porción argentina. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 9(30): 2-14, Buenos Aires

STARCK, D., E. GALLARDO y A. SCHULZ, 1992b. La discordancia precarbónica en la porción argentina de la Cuenca de Tarija. Boletín de Informaciones Petroleras Tercera época 9(29): 2-11, Buenos Aires

STARCK, D., E. GALLARDO y A. SCHULZ, 1993a. Neopaleozoic stratigraphy of the Sierras Subandinas Occidentales and Cordillera Oriental Argentina. With comments on the southern borders of the Tarija basin. 12ème Congrès International de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien Comptes Rendus 2: 353-372, Buenos Aires

STARCK, D., E. GALLARDO y A. SCHULZ, 1993b. The Pre-Carboniferous unconformity in the Argentine portion of the Tarija basin. 12ème Congrès International de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien Comptes Rendus 2: 373-384, Buenos Aires

TAHAL, 1986. Proyecto Agrícola de Riego Basado en la Perforación de Pozos Profundos. Tomo 2, 4 y 5. Tahal Consulting Engineers. VERNO, ROU

TERUGGI, M. E., 1955. Los basaltos tholeiíticos de Misiones. Universisad Nacional de La Plata, Museo de La Plata Notas 18 (Geología 70): 259-278, La Plata

THE ANSCHUTZ CORPORATION, 1981. Geologic Map of Eastern Paraguay 1:500000. The Anschutz Corporation, Asunción

THEIS, C.V., R. H. BROWN, R. R. MAYER, 1963. Estimating transmissibility of acuifers from the especific capacity of wells. Methods of Determining Permeability Transmisibility and Drawdown. u.S. Geological Servey, Water Supply Paper N°

THIEM, E, 1906. Hydrologische Methoden. Gebhardt, Liepzig, pag 56-112.

TOFALO, O. y P. PAZOS, 1998. Rasgos Sedimentarios de la Formación Mercedes (Cretácico Superior) Entre las Ciudades de Mercedes y Fray Bentos, R. O del Uruguay. 2° Congreso Geológico Argentino, Sección Sedimentología y Estratigrafía, Actas I: 75-77, Punta de Este, Uruguay

TOFALO, O., 1986a. Caracterización sedimentológica y estratigrafía de las Formaciones Puerto Yeruá y Arroyo Avalos, provincias de Entre Ríos y Corrientes. Tesis doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires

TOFALO, O., 1986b. Depósitos clásticos y carbonáticos del Cretácico superior, Formación Puerto Yeruá, Entre Ríos. Primera Reunión Argentina de Sedimentología Resúmenes 1: 201-204, La Plata

TOFALO, O., 1986c. Petrología y diagénesis de secuencias terciarias de la Mesopotamia centroriental. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Boletín Sedimentológico 3(1-2): 1-14, Tucumán

TOFALO, O., 1987. Facies de loess y calcretes pedogénicos de la Formación Arroyo Avalos (Oligoceno) Entre Ríos y Corrientes, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 275-278, Tucumán

TOMEZZOLI, R., 1993. Grupo Cuevo y referencias del Grupo Tacurú en las márgenes del Río Bermejo (Departamento de Orán, Provincia de Salta, Argentina. Departamento de Tarija, Bolivia). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Trabajo final de licenciatura, Buenos Aires

TRUESDELL, A. H. y R. O. FOURNIER, 1975. Calculation of deep Temperatures in Geotermal System from the Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin. Proc. UN Simp. on the Developmen and Use of Geothermal Resourses. San Feancisco, Vol I, pag: 837-844., US.

TUJCHNEIDER, O. y M. FILI, 1988. Hidrogeología de la cuenca del Arroyo Feliciano, Provincia de Entre Ríos. Asociación Geológica Argentina Revista 43(2): 163-174, Buenos Aires

TURNER, J., 1958, in 1959. Estratigrafía del Cordón de Escaya y de la Sierra de Rinconada (Jujuy). Asociación Geológica Argentina Revista 13(1-2): 15-40, Buenos Aires

TURNER, J., 1960a. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. Academia Nacional de Ciencias Boletín 41(2): 163-196, Córdoba

TURNER, J., 1960b. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra del Famatina y adyacencias (La Rioja). Academia Nacional de Ciencias Boletín 42: 77-126, Córdoba

UGENMACH, P. 1980. From exploration to production the geothermal case. Annual Meeting of the Europen Geophysical Society August.

URBAN, H. y B. STRIBRNY, 1986. The Geology and Genesis of the Iron and Manganese Deposits of the Urucum District, Mato Grosso do Sul, Brazil. En: Miller, H. y U. Rosenfeld (Ed.) 9. Symposium on Latin-American Geosciences: 1515-1527. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart

URIEN, C., J. ZAMBRANO y L. MARTINS, 1981. The basins of Southeastern South América (Southern Brazil, Uruguay and Eastern Argentina) including the Malvinas Plateau and Southern South Atlantic paleogeographic evolution. En: Volkheimer, W. y E. Musacchio (Ed.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur: 45-126. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, 351 pp., Buenos Aires

VILA, F. 1962. Efecto de la Imanación Invertida en las Anomalías Magnéticas. Boletín de Informaciones Petroleras. YPF. N°346, pag 837-870. Argentina.

VILELA, C., 1965. El petróleo en las cuencas de Orán y Metán (Provincia de Salta). Acta Geológica Lilloana 7: 425-438, Tucumán

VILELA, C., 1967. El petróleo en las cuencas de Orán y Metán (Provincia de Salta). Segundas Jornadas Geológicas Argentinas Actas 3: 425-438, Buenos Aires

VILLANUEVA MARTINEZ, M., IGLESIAS LOPEZ, A., 1984. Pozos y Acuíferos. Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo. ITGE, Madrid, España

von HUENE, F., 1929. Los saurisquios y ornitisquios del Cretáceo argentino. Museo de La Plata Anales, 2a. Serie 3: 1-194, La Plata

von HUENE, F., 1934a. Nuevos dientes de saurios del Cretácico del Uruguay. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 21: 13-20, Montevideo

von HUENE, F., 1934b. Neue Saurier-Zähne aus der Kreide von Uruguay. Zentralblatt Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abt. A: 182-189, Berlin

VOSE, R.S., R. L. ESCHOMOYER, P. M. STEURER, T.C. PETEERSON, R. HEIM, T. R. CARL, J. EISCHEID., 1992. The Global Historical Climatology Network: -Long – Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea level Presure, and Station Presure Data. ORNL/CDIAC-53, NDP-041. Carbon Dioxide Informactio Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennesee, USA.

WALTHER, K., 1911. Uber Permotriassiche Sandsteine und Eruptivdecken ausdem Norden der Republik Uruguay. Neues Jahrbuch Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage Band 31: 575-609, Stuttgart

WALTHER, K., 1919. Líneas fundamentales de la estructura geológica de la República Oriental de Uruguay. Instituto Nacional de Agronomía Revista, 2a. Serie 3: 1-186, Montevideo

WALTHER, K., 1931. Sedimentos geolíticos y clastogelíticos del Cretácico superior y Terciario uruguayos. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 13: 1-142, Montevideo

WALTHER, K., 1932. Uber Reste eines Grossen Ganoidfisches aus dem Obergondwana von Uruguay. Zentralblatt fur Mineralogie, Geologie und Paläontologie 10, Abt B: 530-538, Stuttgart

WALTHER, K., 1933. Restos de un pez ganoide de gran tamaño, proveniente del Neogondwana uruguayo. Instituto de Geología y Perforaciones del Uruguay Boletín 19: 65-72, Montevideo

WASHBURNE, C., 1930. Petroleum Geology of the State of Sao Paulo. Comissao Geográfica e Geológica do Estado de Sao Paulo Boletim 22, Sao Paulo

WEBB, B., 1978. Preliminary notes on the Jacadigo Basin of the Puerto Suárez, Corumbá region. Report Eastern Bolivia Mining Exploration and Production, Proyecto Precámbrico, B. C. W/13, La Paz, Santa Cruz de la Sierra

WHITE, D. E.., 1970. Geochemistry applied to the discovery, evaluation, and explration of geothermal energy resources. Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of geothermal resource, Geothermics S.p. iss 2,1 pag: 58-80.

WHITE, I., 1908. Relatório sobre as "Coal measures" e rochas associadas do Sul do Brasil. Relatório final da Comissao de Estudos das Minas de Carvao de Pedra do Brasil 1: 2-300. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro

WIENS, F., 1982. Mapa geológico de la región oriental, República del Paraguay, escala 1:500000. 1er. Simposio Recursos Naturales del Paraguay, Asunción

WILLIG, C., N. VALENTINI, C. CONTE, J. ZIR FILHO y O. MONACO, 1974. Texto explicativo, Folha Porto Alegre (SH-22), Folha Lagoa Mirim (SI-22), Carta Geológica do Brasil ao milionésimo. Departamento Nacional da Produçao Mineral: 11-69, Braslia

WINDHAUSEN, H.,1958. en tesTESTIFICACION GEOFISICA DE POZOS, 1993. Curso de Hidrogeología "Noel Llopis". Dpto. de Geología, Universidad Complutense de Madrid, (Apuntes, Inéditos)

YPF S.A., 1962. Perforación ERN 1 (Nogoyá, provincia de Entre Ríos), Descripción de cuttings. YPF S.A., Buenos Aires

YPF S.A., Inédito. Informes Técnicos de Pozo. Cuenca Chacoparanense (Filminas), Descripción de cuttings y operaciones en boca de pozo. YPF S.A., Buenos Aires

YRIGOYEN, M., 1975. Geología del Subsuelo y Plataforma Continental. 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires: 139-168, Buenos Aires

ZABERT, L. y R. HERBST, 1977. Revisión de la microfauna Miocena de la Formación Paraná (entre Victoria y Villa Urquiza, provincia de Entre Ríos, Argentina), con algunas consideraciones

estratigráficas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste Revista Facena 1: 131-164, Corrientes

ZALAN, P., J. CONCEIÇAO, S. WOLFF, M. ASTOLFI, I. VIEIRA, V. APPI, E. dos SANTOS NETO, J. CERQUEIRA, O. ZANOTTO y M. PAUMER, 1986. Análise da Bacia do Paraná. GT-Os-009/85, Petrobras/Depex 4, Relatorio SIEX 103-05765S, Rio de Janeiro

ZALAN, P., S. WOLFF, J. CONCEIÇAO, A. MARQUES, M. ASTOLFI, I. VIEIRA, V.APPI y O. ZANOTTO, 1990. Bacia do Paraná. En: Pederneiras Raja Gabaglia, G. y E. Milani (Ed.) Origem e Evoluçao de Bacias Sedimentares: 135-168.Petróleo Brasileiro S. A., 415 pp., Rio de Janeiro

ZALBA, P., C. CORTELEZZI y R. IASI, 1984. Estudio mineralógico de celadonita en basaltos de Corpus, Provincia de Misiones. 9° Congreso Geológico Argentino Actas 3: 482-495, Buenos Aires

ZAMBRANO, J., 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. Asociación Geológica Argentina Revista 29(4): 443-469, Buenos Aires

ZAMBRANO, J., 1981. Distribución y evolución de las cuencas sedimentarias en el continente sudamericano durante el Jurásico y el Cretácico. En: Volkheimer, W. y E. Musacchio (Ed.) Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur: 9-44. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico, 351 pág., Buenos Aires

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de Instituciones, Municipios, Empresas y Personas. Un especial agradecimiento al Director y Codirector de la obra, el Dr. Jorge N. Santa Cruz y Cesar Fernández Garrasino por el permanente apoyo, colaboración y guía en el análisis de las diferentes etapas de este estudio. Como así también, y con especial atención, el autor reconoce en ellos una esmerada vocación docente y la nobleza de carácter necesaria para la formación de investigadores.

En términos generales, el autor agradece la colaboración del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (Ex INCyTH) que prestó el ámbito Institucional propicio para la realización de este trabajo. En particular, al personal del Programa Nacional de Desarrollo Sustentable en Aguas Subterráneas, Mónica Belli, Martín Cernadas, Lic. Daniela Villegas y Luis Fontana y al personal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Lic. Sergio Amato y Prof. Oscar Olivares. También debe incluirse al Laboratorio de Calidad de Aguas (CTUA) del INA, en particular al Ing. Lobos y el Ing. Cosentino a cargo del mismo.

A la Universidad Buenos Aires a través del Departamento de Ciencias Geológicas, y particularmente a la Lic. Mirta Fresina (Jefa de Trabajos Prácticos de Hidrogeología) y la Dra. Tófalo (Jefa de Trabajos Prácticos de Sedimentología).

Al INGEIS, Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, en las personas del Dr. Panarello y el Dr. Ostrera, por su colaboración y asesoramiento.

Al ITGE, Instituto Tecnológico Geominero de España, en particular en al persona del Dr. Luis Moreno pos su asesoramiento en el tratamiento hidroquímico de la información.

La colaboración de la Secretaría de Ciencia y Técnica de al Provincia de Entre Ríos, a través de el Lic. Bertolini. y de los Municipios de Federación, Colón y Villa Elisa y las empresas concesionarias de Concordia, Concepción del Uruguay y Gualeguaychú, cuyo apoyo fue indispensable para la realización de este trabajo. Se extiende este reconocimiento a las concesionarias Uruguayas y entidades oficiales que han colaborado facilitando información.

Se menciona particularmente a al Secretaría de Energía de la Nación y la participación de las Empresas YPF, S.A., SHELLL-S.A., PETROBRAS, S.A., Aguas Argentinas y Ponti Asoc.

En términos personales se menciona un reconocimiento al Lic. Benítez, el Lic. Novel Muñoz y el Lic. Stico por su intervención personal en la recuperación de información.

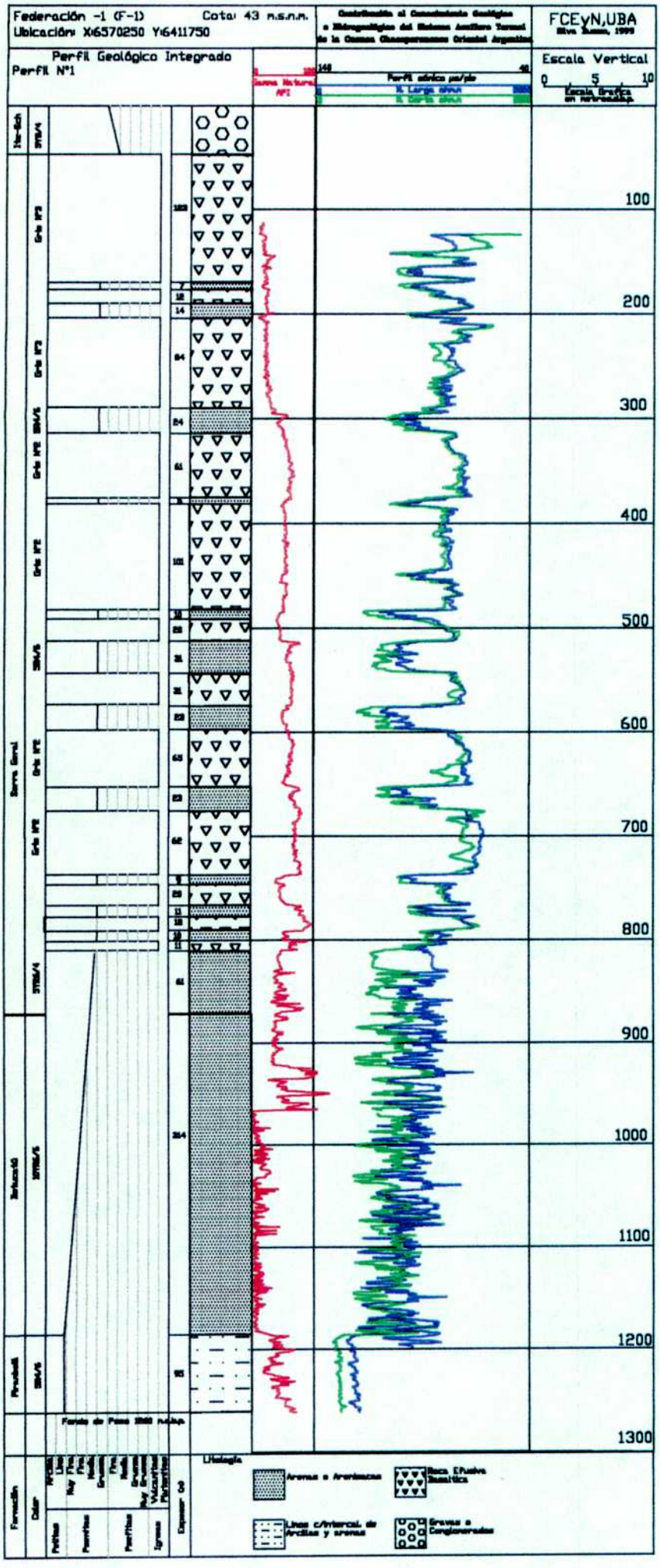
Por último un destacado reconocimiento a mi familia y en especial a mi Sra. esposa Prof. Gabriela Rouiller que han apoyado permanentemente al autor en la realización de esta obra.

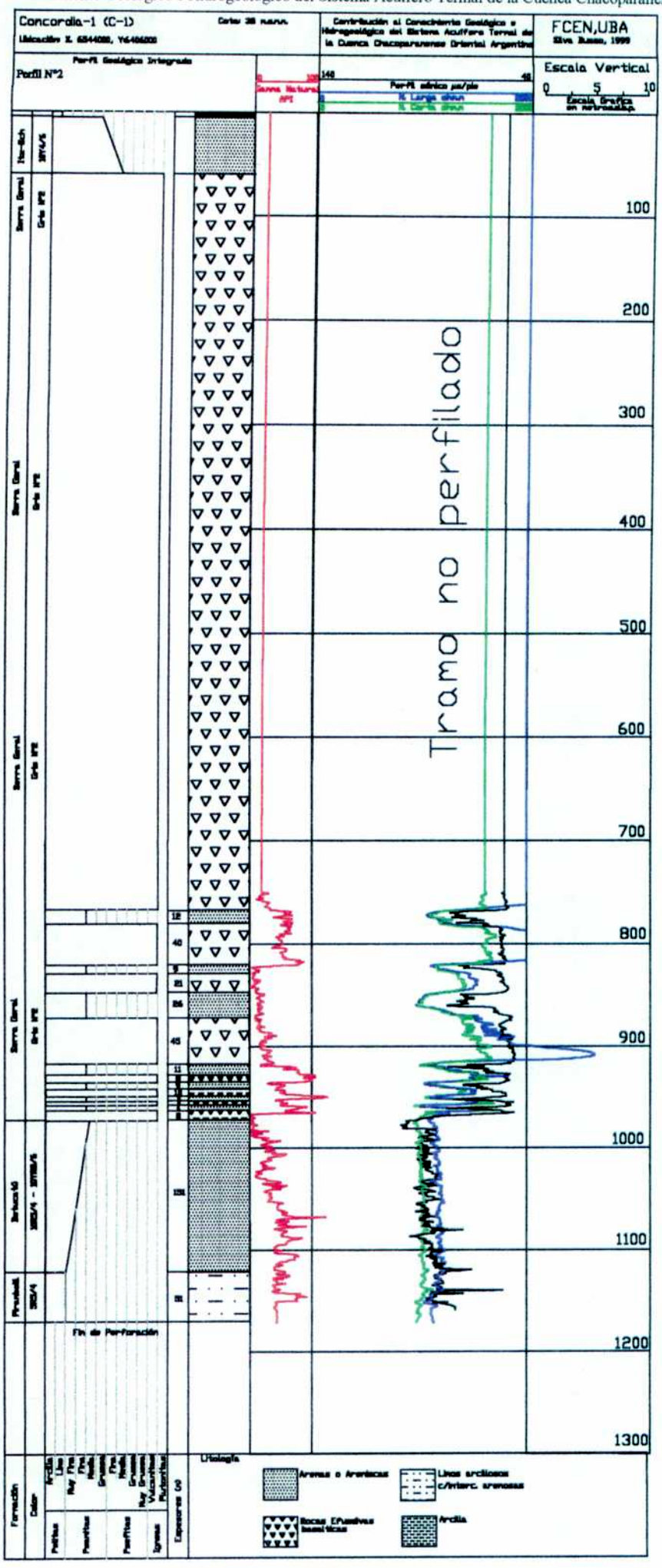
Buenos Aires, 12 de Octubre de 1999

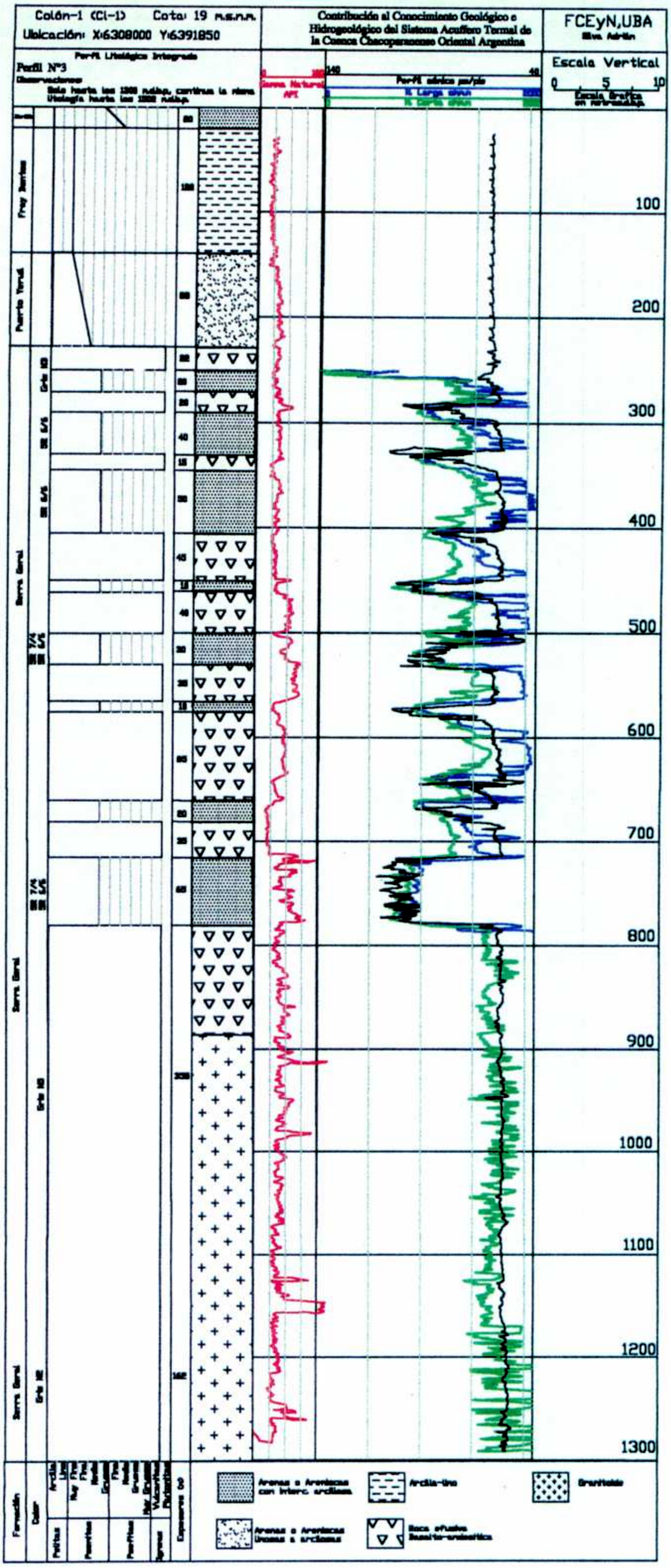
ANEXO I. PERFILES GEOLOGICOS Y PERFILAJES DE POZO INTEGRADOS DE LAS PERFORACIONES ARGENTINAS AL SISTEMA ACUÍFERO TERMAL.

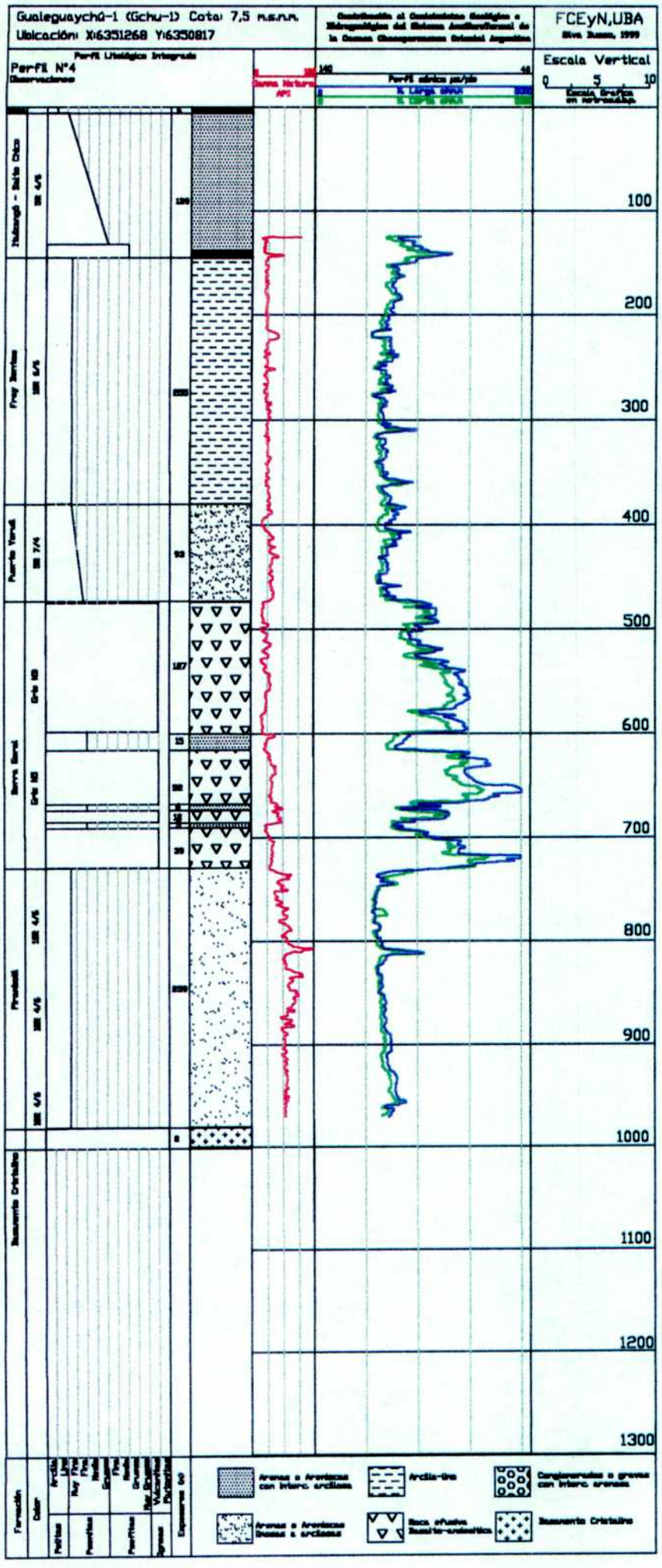
Indice

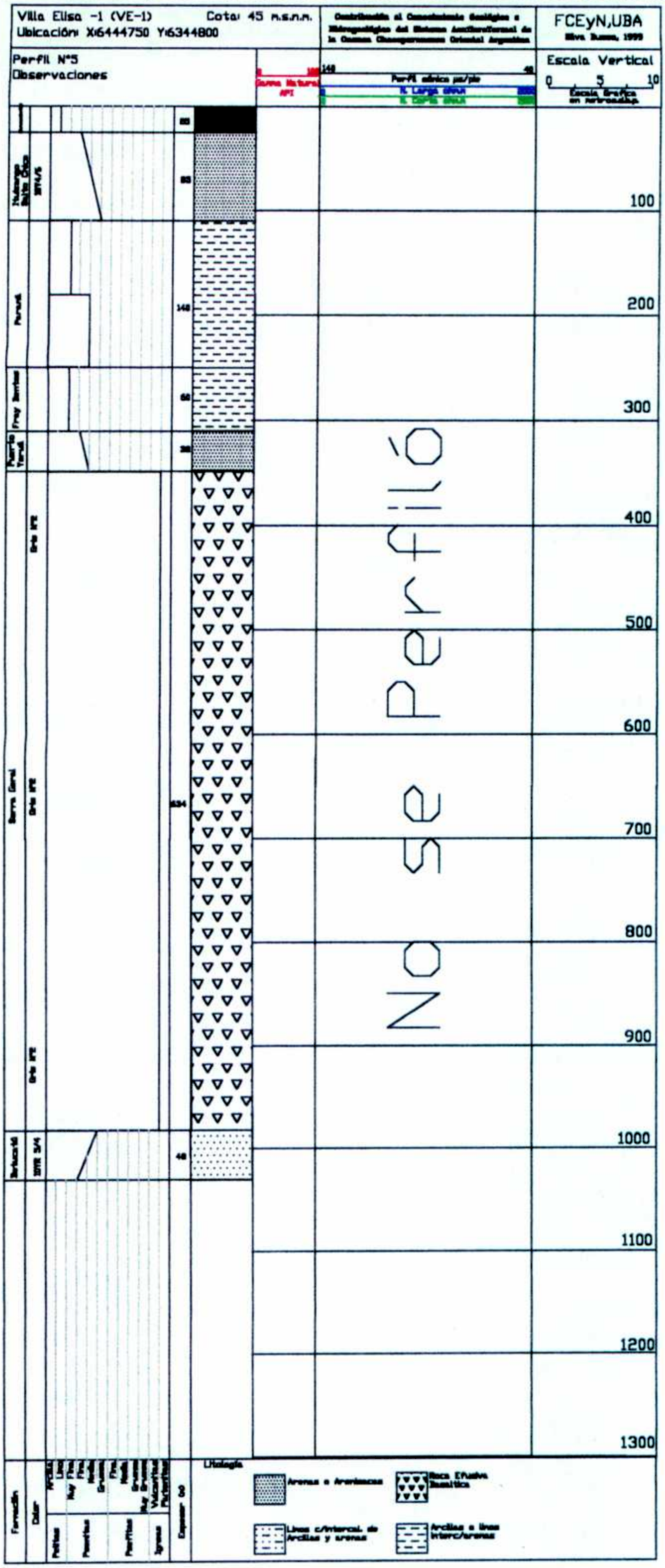
Perfil N°1. Perfil geológico y pefilaje de pozos de la perforación Federación -1
Perfil N°2. Perfil geológico y pefilaje de pozos de la perforación Concordia -1
Perfil N°3. Perfil geológico y pefilaje de pozos de la perforación Colón -1
Perfil N°4. Perfil geológico y pefilaje de pozos de la perforación Gualeguaychú -1
Perfil N°5. Perfil geológico de la perforación Villa Elisa -1
Perfil N°6. Perfil geológico de la perforación Concepción del Uruguay -1

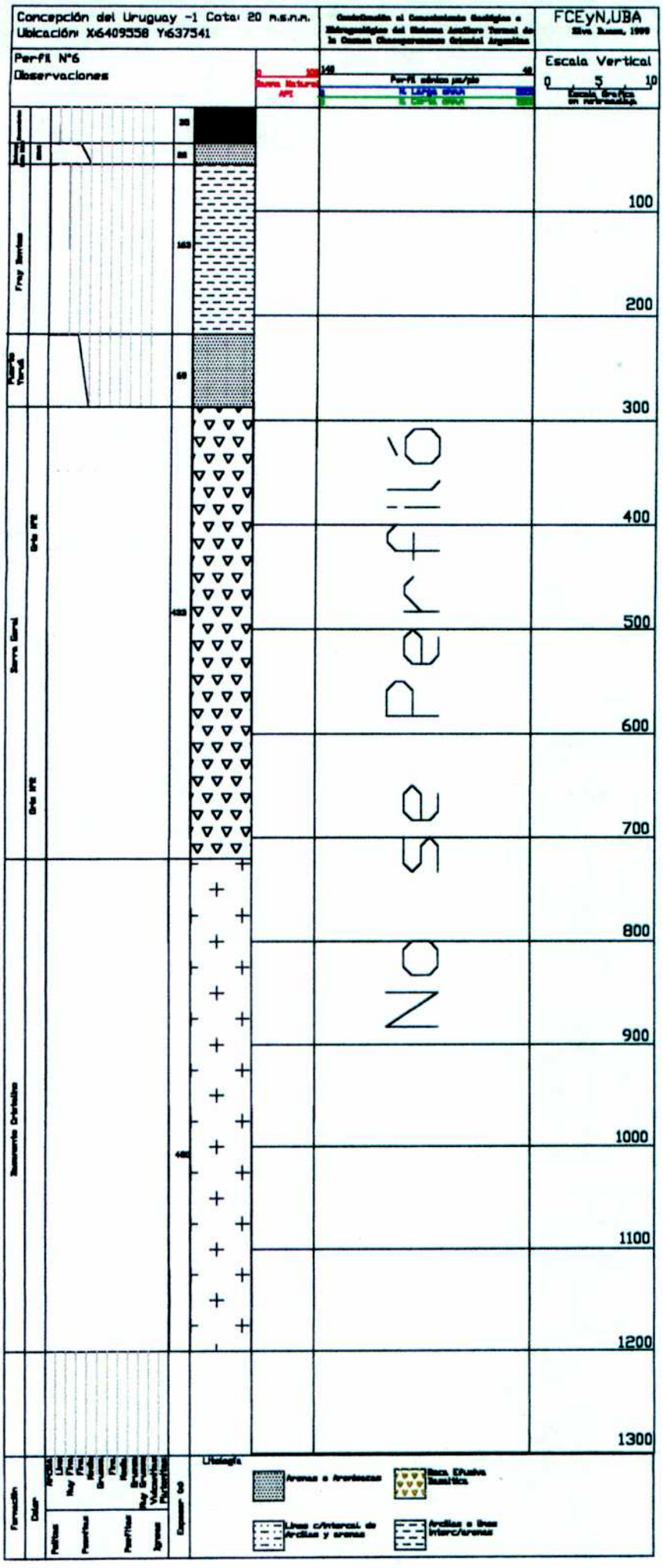

Federación -1 (F-1)
Cota: 43 m.s.n.m.
Ubicación: X:6570250 Y:6411750
Perfil Geológico Integrado
Perfil N°1
FCEyN,UBA
Escala Vertical
0 5 10
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
Litología
Arenas o Areniscas
Roca Efusiva Basáltica
Limos c/intercal. de Arcillas y arenas
Gravas o Conglomerados


Concordia-1 (C-1)
Perfil N°2
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina
FCEN,UBA
Silva Busso, 1999
Escala Vertical
0 5 10
Escala Gráfica en Kilómetros
Perfil eléctrico µs/pie
Tramo no perfilado
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
Fin de Perforación
Litología
Arenas o Arenitas
Limos arcillosos c/interc. arenosas
Rocas Efusivas básicas
Arcilla
Formación
Color
Potencia (m)


Colón-1 (Cl-1) Cota: 19 m.s.n.m.
Ubicación: X:6308000 Y:6391850
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina
FCEyN,UBA
Escala Vertical
Fray Bentos
Puerto Yeruá
Serra Geral
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
Arenas o Areniscas con interc. arcillosas
Arcilla-limo
Granitoide
Arenas o Areniscas limosas o arcillosas
Roca efusiva basalto-andesítica


Gualeguaychú-1 (Gchu-1) Cota: 7,5 m.s.n.m.
Ubicación: X:6351268 Y:6350817
FCEyN,UBA
Perfil N°4
Escala Vertical
0 5 10
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
Arenas o Areniscas con interc. arcillosa
Arcilla-lima
Conglomerados o gravas con interc. arenosa
Arenas o Areniscas limosas a arcillosas
Roca efusiva Basalto-andesítica
Basamento Cristalino

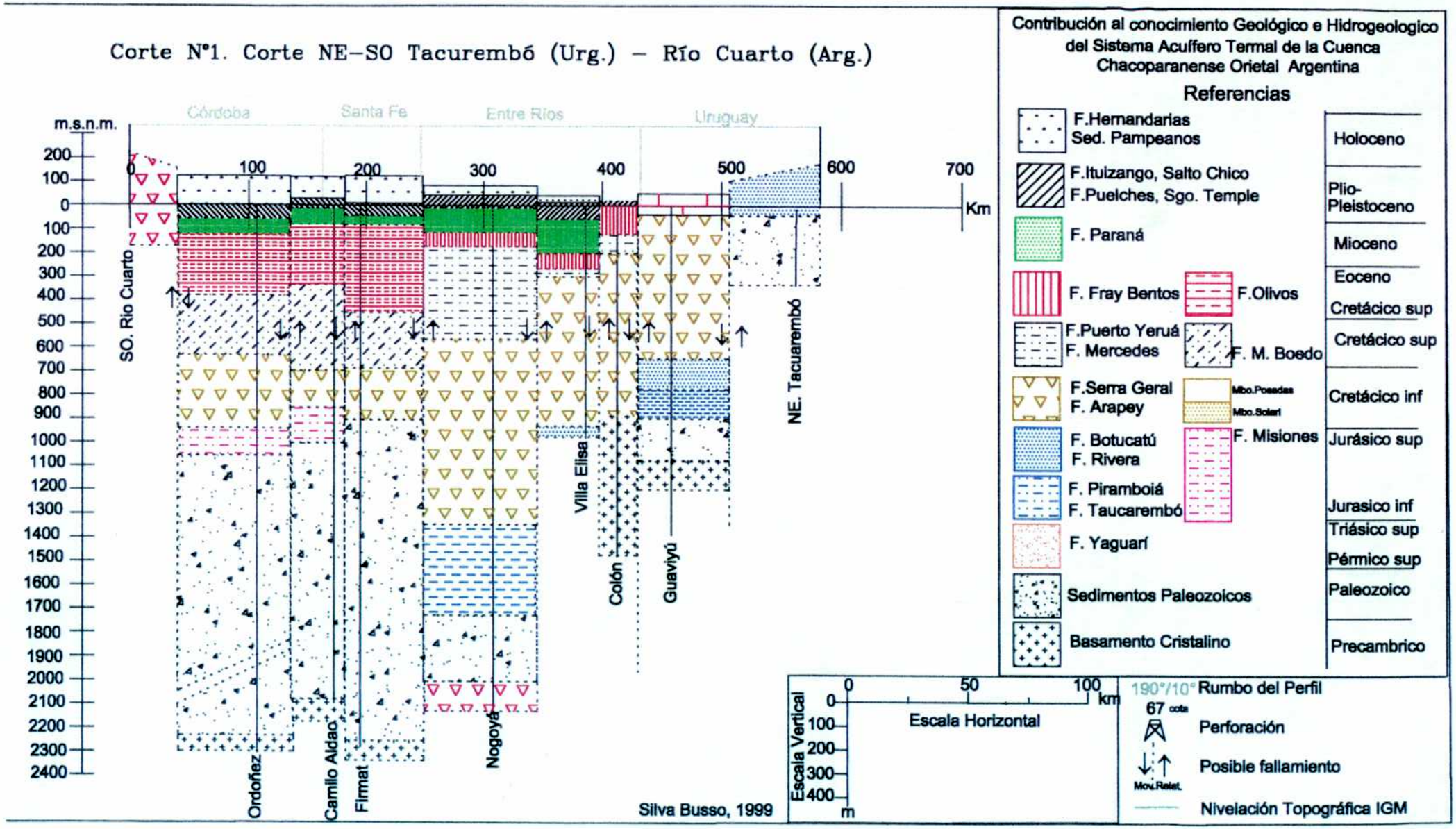

Villa Elisa -1 (VE-1)
Cota: 45 m.s.n.m.
Ubicación: X:6444750 Y:6344800
FCEyN,UBA
Perfil N°5
Observaciones
Escala Vertical
0 5 10
Gamma Natural API
N. Larga
N. Corta
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
No se Perfiló
Formación
Color
Espesor
Litología
Arenas o Areniscas
Roca Efusiva Basáltica
Limos c/intercal. de Arcillas y arenas
Arcillas o limos interc/arenas

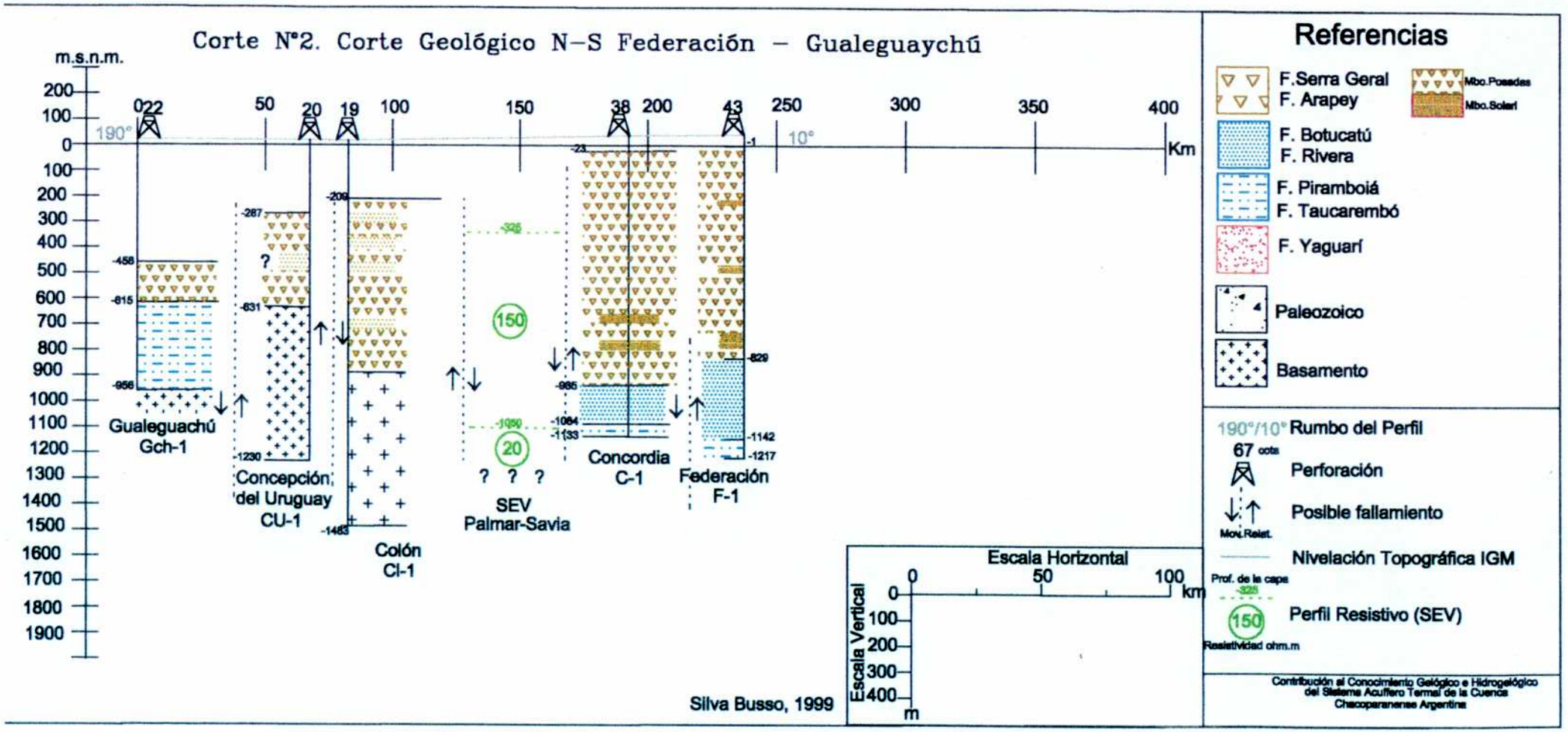

Concepción del Uruguay -1 Cota: 20 m.s.n.m.
Ubicación: X:6409558 Y:637541
FCEyN,UBA
Perfil N°6
Observaciones
Escala Vertical
0 5 10
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
No se Perfiló
Litología
Arenas o Areniscas
Roca Efusiva Basaltica
Limos c/intercal. de Arcillas y arenas
Arcillas o limos interc/arenas

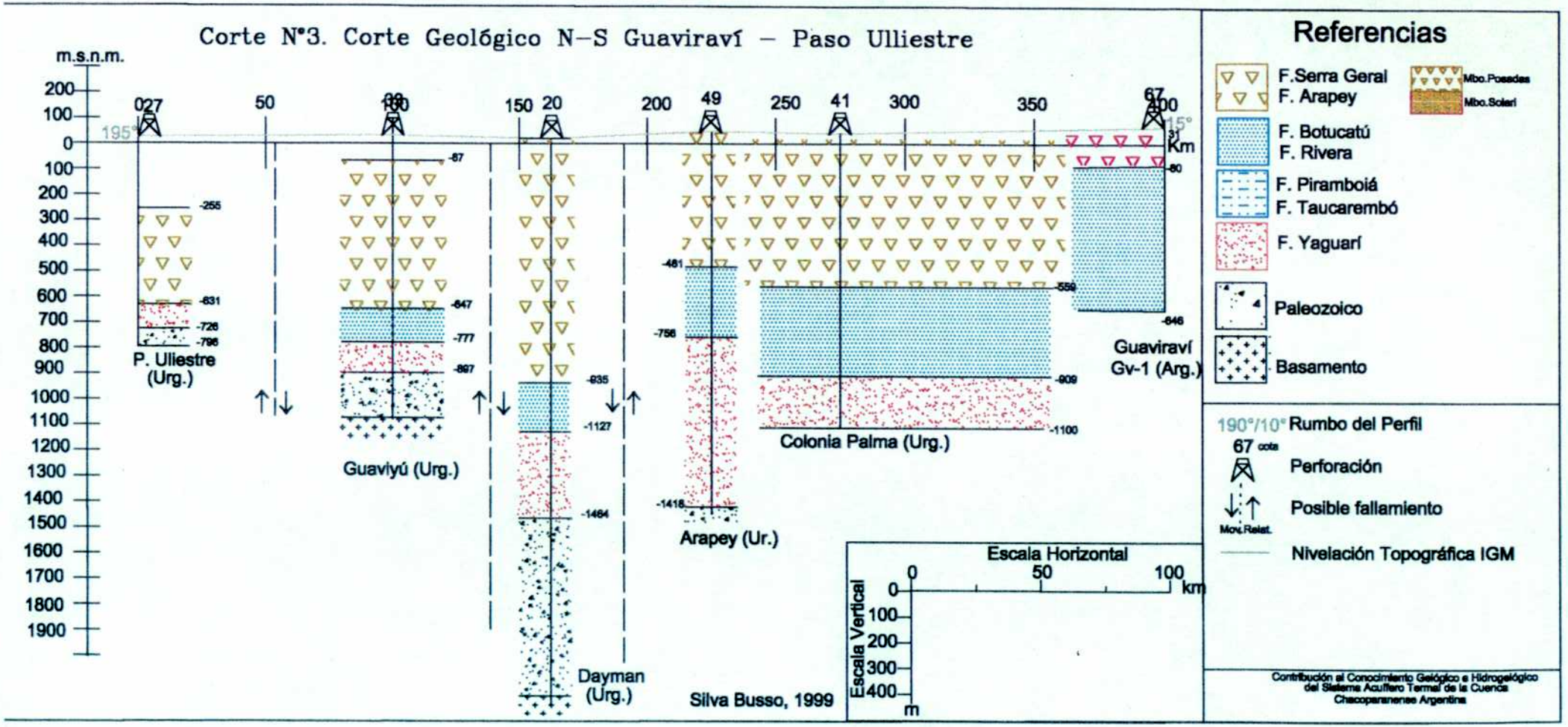
ANEXO II. CORTES GEOLOGICOS, ESQUEMA HIDROGEOLOGICO Y DIAGRAMA DE BLOQUES 3D PROPUESTOS PARA EL SISTEMA ACUIFERO TERMAL.

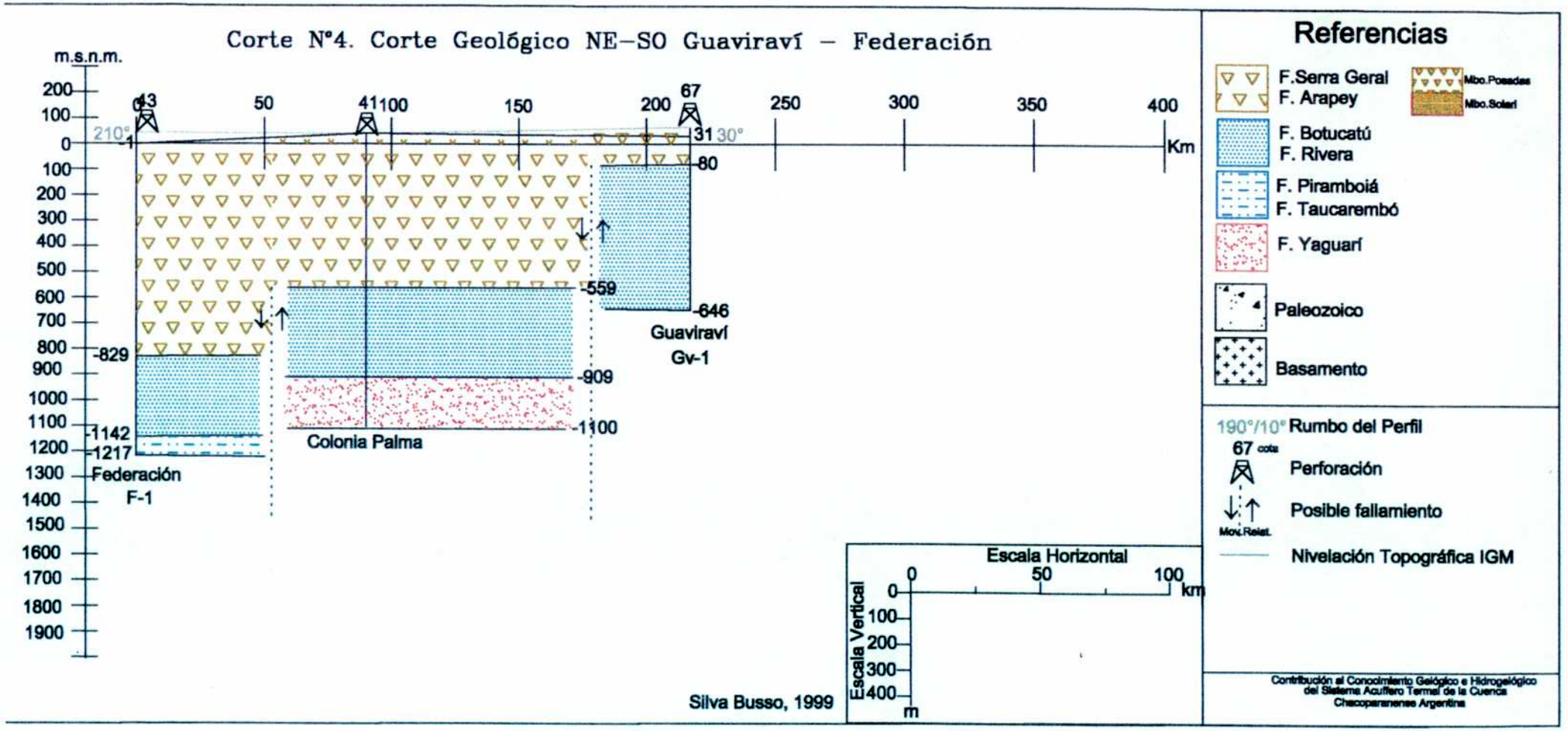
Indice

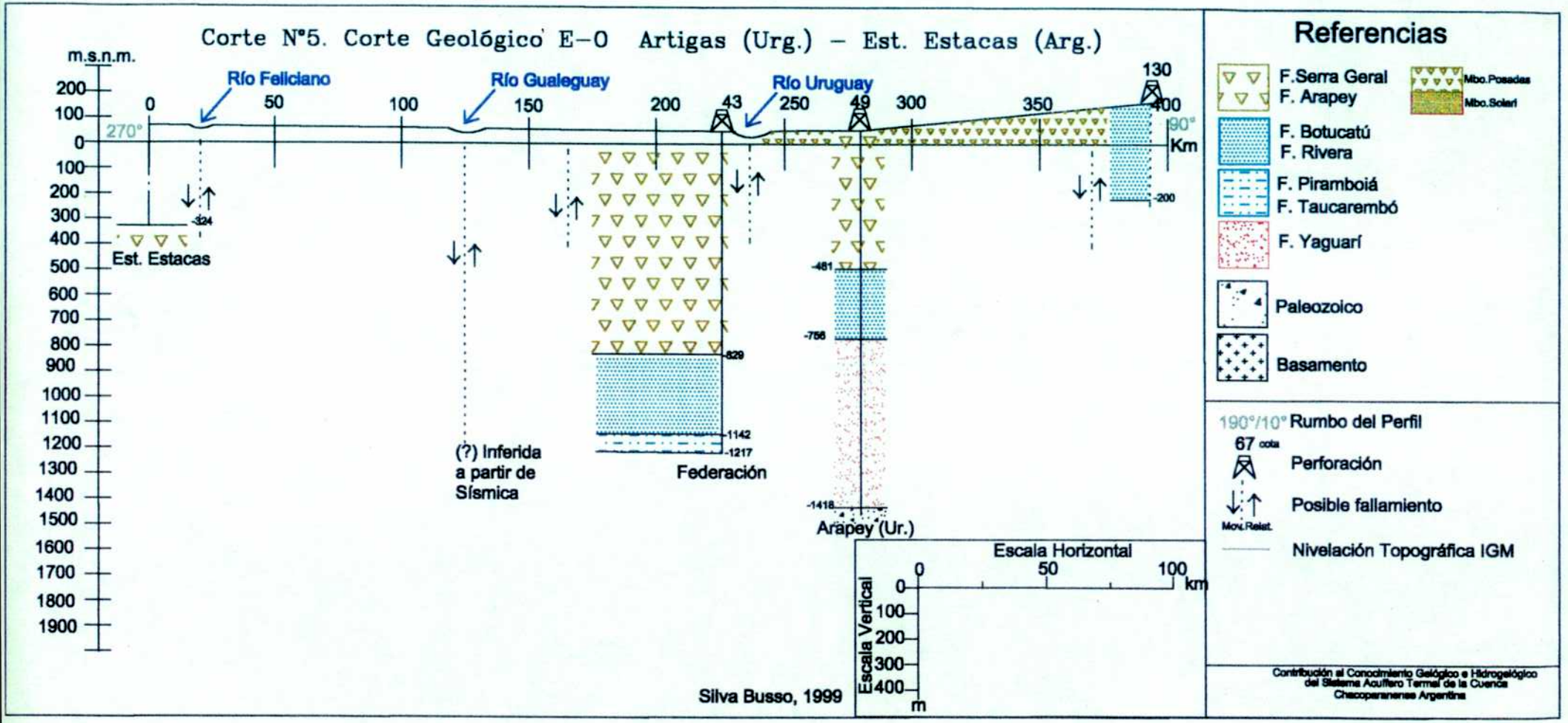
Corte N°1. Corte Geológico NE-SO Tacuarembó (Urg) - Río Cuarto (Arg)
Corte N°2. Corte Geológico N-S Federación - Gualeguaychú
Corte N°3. Corte Geológico N-S Paso Uliestre (Urg) - Guaviraví (Arg)
Corte N°4. Corte Geológico NE-SO Guaviraví - Federación
Corte N°5. Corte Geológico E-O Artigas (Urg.) – Estación Estacas (Arg)
Corte N°6. Corte Geológico E-O Daymán (Urg.) - Concordia (Arg.) y Guaviyú (Urg.) – Villa Elisa (Arg)
Corte N°7. Corte Geológico E-O Almirón (Urg) - Nogoyá (Arg)
Corte N°8. Corte Geológico E-O Salsipuedes (Urg) - Gualeguay (Arg)
Esquema N°1. Geometría y Estructuras del Sistema Acuífero Termal. Diagrama de Bloques 3D en el área de estudio
Esquema N°2. Esquema Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal

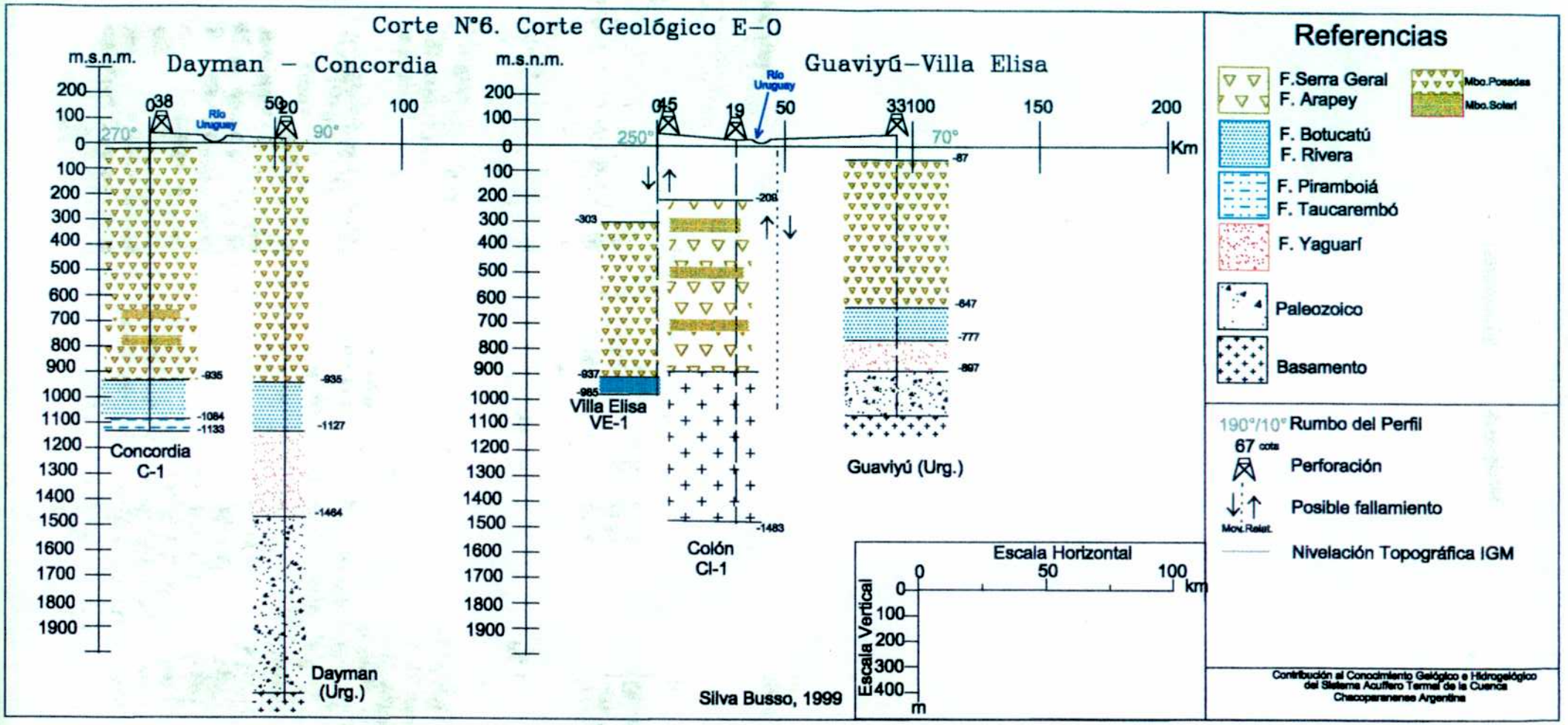

Corte N°1. Corte NE–SO Tacurembó (Urg.) – Río Cuarto (Arg.)
Córdoba
Santa Fe
Entre Ríos
Uruguay
m.s.n.m.
Km
SO. Río Cuarto
NE. Tacuarembó
Villa Elisa
Colón
Guaviyú
Ordoñez
Camilo Aldao
Firmat
Nogoyá
Silva Busso, 1999
Contribución al conocimiento Geológico e Hidrogeologico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Orietal Argentina
Referencias
F.Hernandarias
Sed. Pampeanos
F.Ituizango, Salto Chico
F.Puelches, Sgo. Temple
F. Paraná
F. Fray Bentos
F.Olivos
F.Puerto Yeruá
F. Mercedes
F. M. Boedo
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Misiones
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Sedimentos Paleozoicos
Basamento Cristalino
Holoceno
Plio-Pleistoceno
Mioceno
Eoceno
Cretácico sup
Cretácico sup
Cretácico inf
Jurásico sup
Jurasico inf
Triásico sup
Pérmico sup
Paleozoico
Precambrico
Escala Vertical
Escala Horizontal
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Posible fallamiento
Mov.Relat.
Nivelación Topográfica IGM

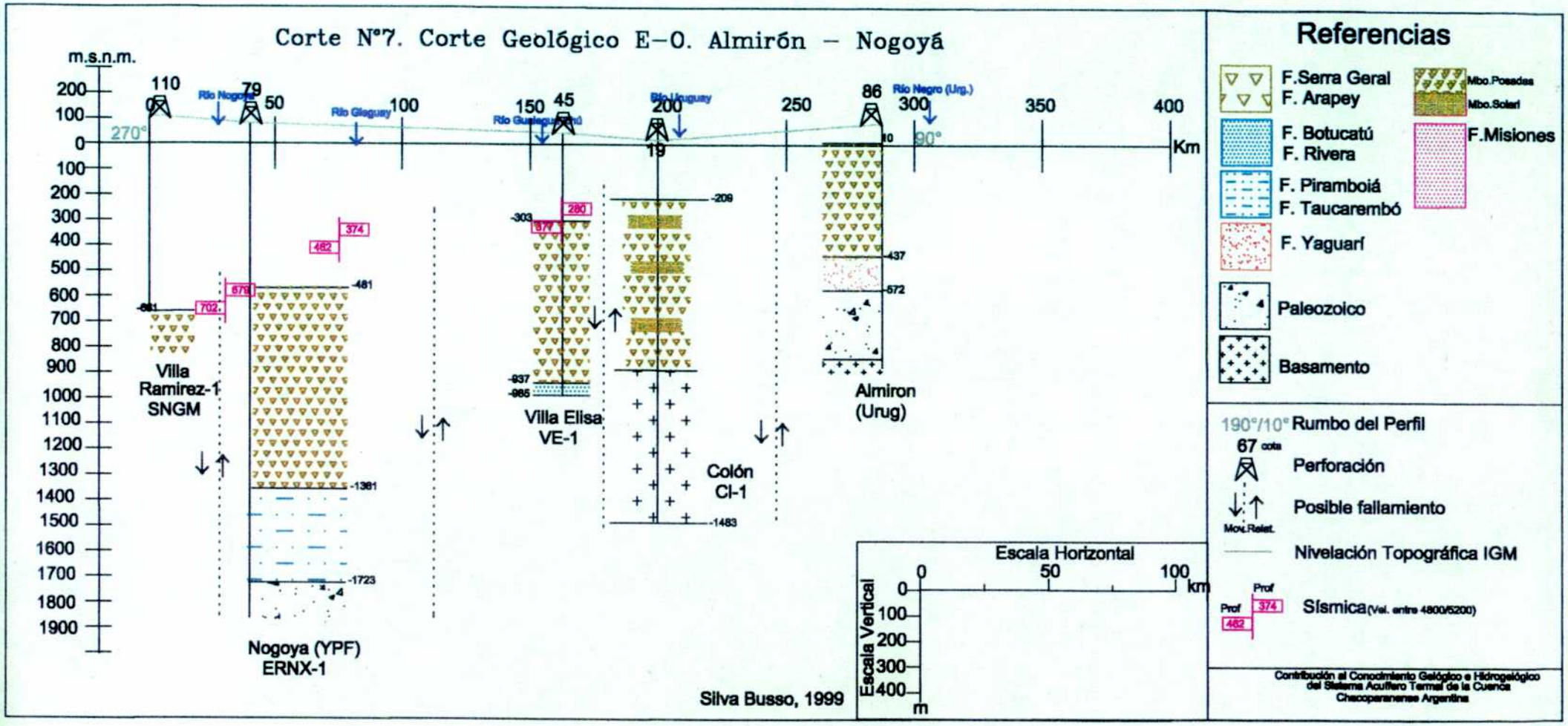

Corte N°2. Corte Geológico N–S Federación – Gualeguaychú
m.s.n.m.
200
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
022
50
20
19
100
150
38
200
43
250
300
350
400
Km
190°
10°
-458
-615
-956
Gualeguachú
Gch-1
-287
?
-631
-1230
Concepción
del Uruguay
CU-1
-209
-1483
Colón
Cl-1
-325
150
-1050
20
? ? ?
SEV
Palmar-Savia
-23
-1
-985
-1064
-1133
Concordia
C-1
-829
-1142
-1217
Federación
F-1
Silva Busso, 1999
Escala Horizontal
0
50
100
km
Escala Vertical
0
100
200
300
400
m
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Posible fallamiento
Mov.Relat.
Nivelación Topográfica IGM
Prof. de la capa
-325
150
Perfil Resistivo (SEV)
Resistividad ohm.m
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina

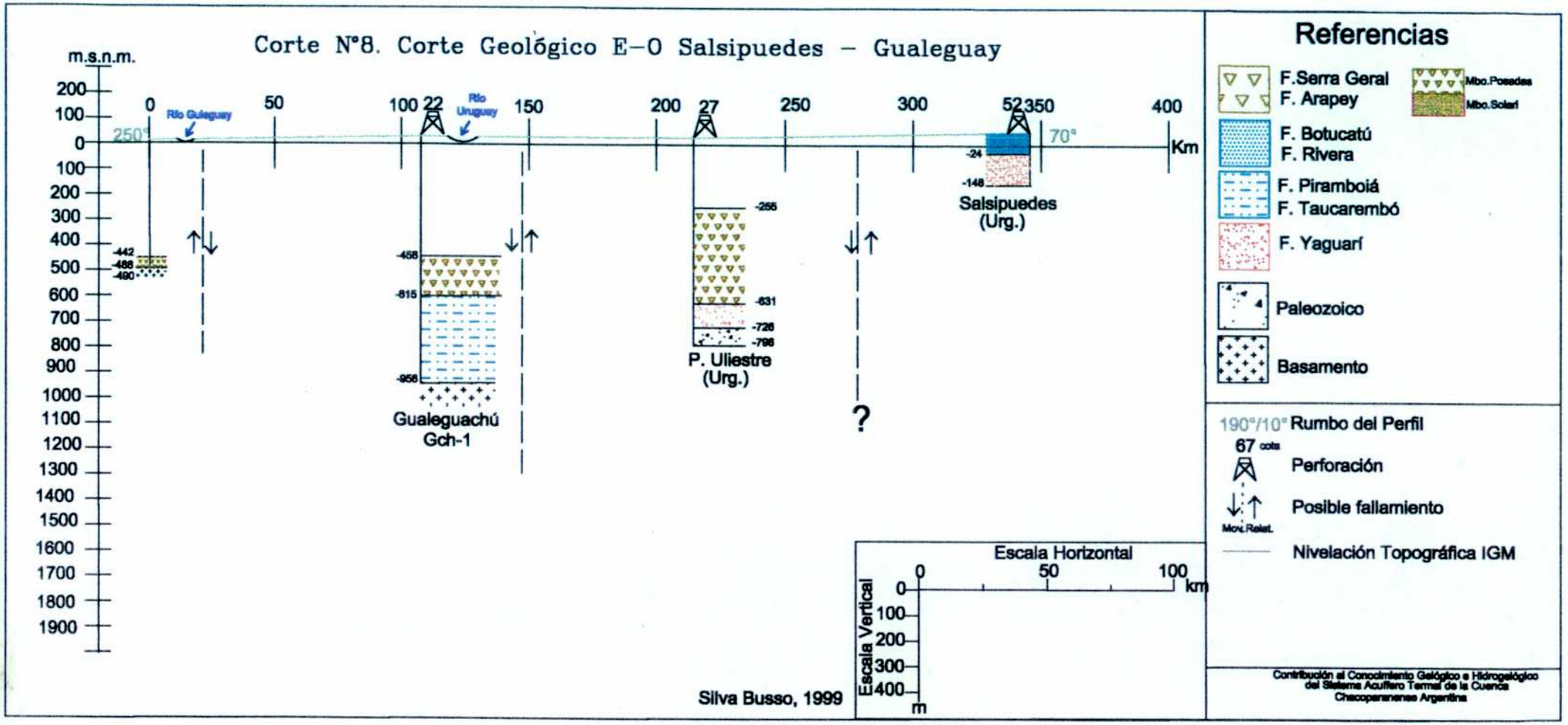

Corte N°3. Corte Geológico N–S Guaviraví – Paso Ulliestre
m.s.n.m.
200
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
027
50
150
20
200
49
250
41
300
350
67
400
195°
15°
31
Km
-255
-631
-726
-796
P. Uliestre
(Urg.)
-87
-647
-777
-897
Guaviyú (Urg.)
-935
-1127
-1464
Dayman
(Urg.)
-481
-756
-1418
Arapey (Ur.)
-559
-909
-1100
Colonia Palma (Urg.)
-80
-646
Guaviraví
Gv-1 (Arg.)
Silva Busso, 1999
Escala Horizontal
0
50
100
km
Escala Vertical
0
100
200
300
400
m
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Mov.Relat.
Posible fallamiento
Nivelación Topográfica IGM
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina


Corte N°4. Corte Geológico NE–SO Guaviraví – Federación
m.s.n.m.
200
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
43
50
41100
150
200
67
250
300
350
400
Km
210°
1
31
30°
80
-559
-646
Guaviraví
Gv-1
-829
-909
-1100
-1142
-1217
Colonia Palma
Federación
F-1
Silva Busso, 1999
Escala Horizontal
0
50
100
km
Escala Vertical
0
100
200
300
400
m
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Mov.Relat.
Posible fallamiento
Nivelación Topográfica IGM
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina


Corte N°5. Corte Geológico E-O Artigas (Urg.) - Est. Estacas (Arg.)
m.s.n.m.
Río Feliciano
Río Gualeguay
Río Uruguay
270°
90°
Km
Est. Estacas
(?) Inferida a partir de Sísmica
Federación
Arapey (Ur.)
Silva Busso, 1999
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Posible fallamiento
Mov.Relat.
Nivelación Topográfica IGM
Escala Horizontal
Escala Vertical
km
m
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina


Corte N°6. Corte Geológico E–O
Dayman – Concordia
Guaviyú–Villa Elisa
m.s.n.m.
Río Uruguay
270°
90°
250°
70°
Km
Concordia C-1
Dayman (Urg.)
Villa Elisa VE-1
Colón CI-1
Guaviyú (Urg.)
Silva Busso, 1999
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cota
Perforación
Posible fallamiento
Mov.Relat.
Nivelación Topográfica IGM
Escala Horizontal
Escala Vertical
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina


Corte N°7. Corte Geológico E-O. Almirón - Nogoyá
m.s.n.m.
Río Negro (Urg.)
270°
90°
Km
Villa Ramirez-1 SNGM
Nogoya (YPF) ERNX-1
Villa Elisa VE-1
Colón Cl-1
Almiron (Urug)
Silva Busso, 1999
Escala Horizontal
Escala Vertical
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F.Misiones
Rumbo del Perfil
Perforación
Posible fallamiento
Nivelación Topográfica IGM
Sísmica
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina

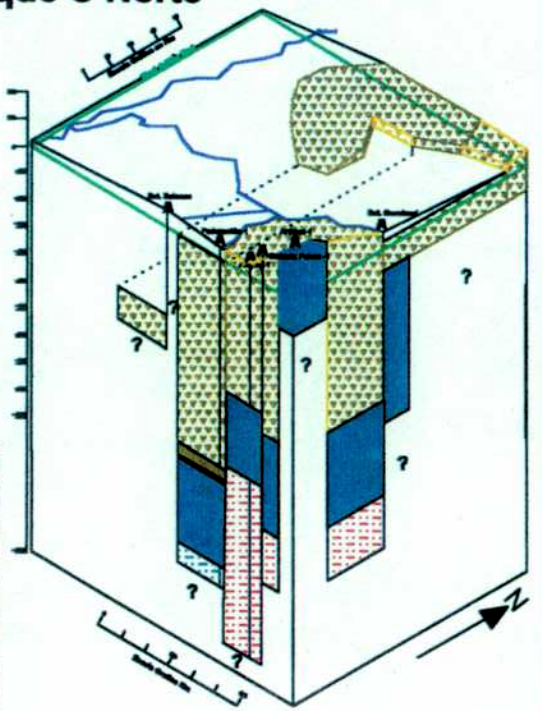

Corte N°8. Corte Geológico E–O Salsipuedes – Gualeguay
m.s.n.m.
200
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
0
Río Gualeguay
250°
50
100
22
Río Uruguay
150
200
27
250
300
52
350
70°
400
Km
-24
-148
Salsipuedes
(Urg.)
-255
-442
-488
-490
-458
-815
-631
-726
-796
P. Uliestre
(Urg.)
-956
Gualeguachú
Gch-1
?
Silva Busso, 1999
Escala Horizontal
0
50
100
km
Escala Vertical
0
100
200
300
400
m
Referencias
F.Serra Geral
F. Arapey
Mbo.Posadas
Mbo.Solari
F. Botucatú
F. Rivera
F. Piramboiá
F. Taucarembó
F. Yaguarí
Paleozoico
Basamento
190°/10° Rumbo del Perfil
67 cots
Perforación
Posible fallamiento
Mov.Relat.
Nivelación Topográfica IGM
Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Argentina

Contribución al Conocimiento Geológico e Hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparenense Oriental Argentina

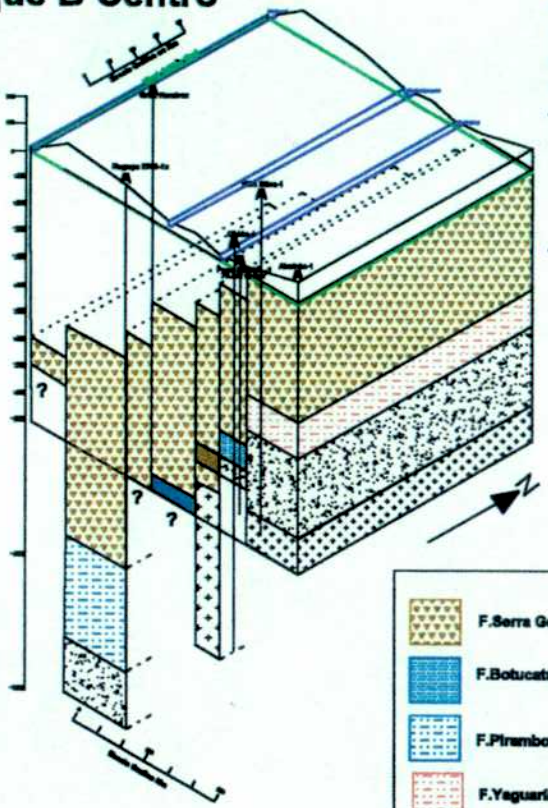
Silva Busso A.

Gometría y Estructuras del Sistema Acuífero Termal
Diagrama de bloques 3D en el Area de Estudio

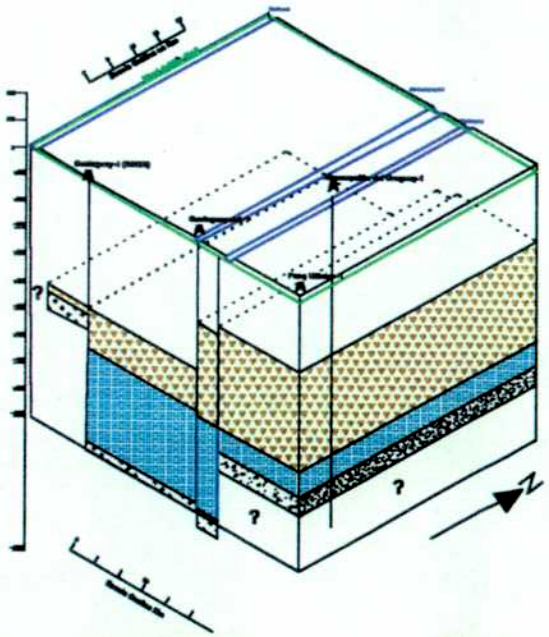
Bloque C Norte



Bloque B Centro



Bloque A Sur



REFERENCIAS

- F.Serra Geral
- Mbo. Solari
- F.Botucatú
- F.Pirambóia
- F.Yaguarí/Asencio/Guichón
- Paleozoico
- Basamento Cristalino

Mesozoico

- Perforaciones
- Contacto inferido (proyección)
- Cursos fluviales
- Nivel del Mar

Bloque A Sur : Corte P.Ulliastre - Gualeguay
Bloque B Centro : Corte Almirón - Nogoyá
Bloque C Norte : Corte Artigas - Est. Estrella

ANEXO III. CUADRO ESTRATIGRÁFICO, HIDROESTRATIGRAFICO y BASE DE DATOS HIDROQUIMICA DEL SISTEMA ACUIFERO TERMAL.

Indice

Cuadro N°1. Cuadro Estratigráfico de las correlaciones mencionadas hasta la fecha en la Cuenca Chacoparanense.
Cuadro N°2. Cuadro Estratigráfico propuesto para el área de estudio y zonas relacionadas en el territorio Argentino
Cuadro N°3. Cuadro Hidroestratigráfico del área de estudio en la Provincia de Entre Ríos
Cuadro N°4. Base de Datos Hidroquímicos del Sistema AcuíferoTermal (incluye Tabla N°49)
Cuadro N°5. Base de Datos Hidroquímicos Complementarios de los Acuíferos de la Sección Suprabasáltica.

Cuadro N°1. Cuadro Estratigráfico de las correlaciones mencionadas hasta la fecha en la Cuenca Chacoparanense

Edad	Córdoba, Santa Fe, Stgo. Estero, Chaco y Formosa (1)	Mesopotamia Arg. (Occidental) (2)	Mesopotamia Arg. (Oriental) (3)	Uruguay	Brasil	Paraguay
Ki	F. Serra Geral, F. Mariano Boedo	F. Serra Geral	F. Serra Geral	F. Arapey	F. Serra Geral	F. Alto Paraná
Js	F. Misiones Grupo Aluampha	F.Serra Geral (?)[9]	F. Serra Geral	F. Arapey	F. Serra Geral	F. Misiones, Patinio y Palacios
Jm	F. Misiones Grupo Aluampha	F. Misiones[9] F. Piramboiá (?)	F. Botucatú	F. Rivera	F. Botucatú	F. Misiones, Patinio y Palacios
Ji	F. Misiones Grupo Aluampha	F. Misones[9] F.Piramboiá (?)	F. Piramboiá	F. Tacuarmbó	F. Piramboia o G. Rosario do Sul	F. Misiones, Patinio y Palacios
TRs	F. Misiones Grupo Aluampha	F. Misiones[9] F. Piramboiá (?)	F.Piramboiá	F. Tacuarmbó	F. Piramboia o G. Rosario do Sul	F. Misiones, Patinio y Palacios
TRm	F. Misiones Grupo Aluampha	F. Misiones[9] F.Yaguarí (?)[7]	(?) S/D	F. Cuchilla Ombú	F. Piramboia o G. Rosario do Sul	F. Misiones, Patinio y Palacios
TRi	F. Misiones Grupo Aluampha	F.Yaguarí (?)[7 y 9]	(?)S/D	F. Buena Vista	F. Sanga do Cabral	F. Misiones, Patinio y Palacios
Ps	F. Victoriano Rodriguez, F.Charata	F. Serra Geral (Diabasas)	(?)S/D	F. Yaguarí [4] (?)	F. Rio do Rastro	Sedimentitas Neopermicas s/n
Pm	F. Victoriano Rodriguez, F. Charata	F. Serra Geral (Diabasas)	(?)S/D	F. Paso Aguilar	F. Teresina y F. Serra Alta [5] (?)	Sedimentitas Neopermicas s/n
Pi	F. Ordoñez [6] (?), F. Chacabuco	F. Chacabuco, F.Yaguarí (?)[8]	(?)S/D	F. Mangrullo F. Fraile Muerto F. Tres Islas	F. Iratí F. San Miguel F. Rio Bonito F. Palermo	Sedimentitas Neopermicas s/n
C	F. Ordoñez [3] (?), F. Chacabuco		(?)S/D	F. San Gregorio	Grupo Itarare, F. Cnel Oviedo	Sedimentitas Neopermicas s/n

1) En base a las perforaciones petroleras profundas en dichas provincias
2) Area comprendida en el centro y suroeste de la Mesopotamia en base a Nogoyá ENR-1x
3) Area de estudio franja norte-sur comprendida en hacia el este mesopotámico o margen oeste del Río Uruguay
4) Pobablemente Permica superior
5) Probablemente Permico medio-superiro
6) Probable carbónico-Permico
7) Herbst y Zabert, (1990)
8) Chebli, Tófalo, Turzzini, (1989)
9) Fernandez Garrasino, (1999)

Cuadro N°2. Cuadro Estratigráfico propuesto para el Area de Estudio y zonas relacionadas en el Territorio Argentino

Edad	Provincias de Entre Ríos y Corrientes Región Occidental (1)	Provincias de Entre Ríos, Corrientes. Región Oriental (2)
Holoceno	F. Hernandarias, F. Tezanos Pintos, F. Talabera, F. Tupoi Yupoi, etc.	F. Hernandarias, F. Palmar, etc.
Plio-pleistoceno ?	F. Ituizangó	F. Salto Chico (F. Salto en ROU)
Eoceno - Mioceno	F. Paraná F. Fray Bentos	F. Fray Bentos
Cretácico superior	F.PuertoYerua,	F.PuertoYerua, (F. Mercedes en ROU)
Cretácico inferior – Jurasico superiror	F. Serra Geral	F. Serra Geral (F. Arapey ROU)
Jurasico superiro	F.Misones[5] F. Piramboiá[3]	F. Butucatú [3](F. Rivera ROU)
Jurásico medio	F.Misones[5] F.Piramboiá[3]	F. Botucatú [3](F. Rivera ROU)
Jurasico inferiror	F.Misones[5] F. Piramboiá[3]	F. Piramboiá [3](F. Tacuarembó ROU)
Triasico superiro	F.Misones[5] F.Piramboiá[3]	F.Piramboiá [3](F. Tacaurembó ROU)
Triásico medio	F.Misones[5] F. Piramboiá[3]	(?) S/D
Triásico inferiro	F.Yaguarí [4]	(?)S/D
Pérmico superior	F. Yaguarí [4](Intrusivo Serra Geral)	(?)S/D
Pérmico medio	(?)S/D	(?)S/D
Pérmico inferiro	(?)S/D	(?)S/D
Carbónico	(?)S/D	(?)S/D

1) Area comprendida en el centro oeste, norte y suroeste de la Mesopotamia
2) Area comprendida en hacia el este dela Mesopotamia o margen oeste del Rio Uruguay
3) Definidas a partir de las perforaciones del área de estdio
4) Herbst y Zabert, (1990), Fernandez Garrasino, (1999)
5) Fernandez Garrasino, (1999)

Cuadro N°3. Cuadro Hidroestratigrafico del Area de Estudio en la Prov de Entre Ríos

Secciones Hidrogeológicas	Litología	Entre Ríos Estratigrafía Sector Occidental	Hidrogeología	Entre Ríos Estratigrafía Sector Oriental	Hidrogeología	Litología	Rep del Uruguay Estratigrafía	Clasificación Termal Schoeller, (1962)
Sección Suprabasaltica		F. Hernadarias F. Tezanos Pintos	Acuitardo/Acuicludo	F. Hernandarias	Acuitardo		Depósitos Cuaternarios Recientes	Sistema Hipotermal
		F.Ituzangó	Acuífero Ituzangó	F. Salto Chico	Acuífero Salto Chico			
		F. Paraná	Acuífero Paraná(?)	F.Arroyo Avalos o F.Fray Bentos	Acuicludo/Acuitardo		F. Fray Bentos	
		F. Puerto Yeruá	Acuitardo (?)	F. Puerto Yeruá o F. Mocadez (Ur.)	Acuífero Mercedes		F. Mercedes	
Sección Interbasaltica		F. Serra Geral Mbo.Solari (?)	Acuífugo Acuitardo ? Acuífero Solari (clastico)	F. Serra Geral	Acuífero Arapey (fisurado)		F. Serra Geral	
				Mbo. Solari	Acuífugo Acuífero Solari (clastico)		o F. Arapey (Mbo.Solari ?)	Sistema Termal
				Mbo. Posadas (Arg.)	Acuífugo			
Sección Infrabasaltica		F. Piramboiá	Acuitardo	F. Botucatu	Acuífero Botucatú		F.Botucatú o F. Rivera	
		F. Piramboiá	Acuitardo	F.Piramboiá	Acuitardo Acuífero Tacuarembó (?)		F. Piramboiá o F. Tacuarembó	
Basamento Hidrogeológico		Diabasas F.Serra Geral	Acuífugo	Sed. Paleozoicos ?	Acuífugo Acuitardo		F. Yaguarí	
		Sedimentitas del Pernico Superior						
		Diabasas F.Serra Geral	Acuífugo	Basamento cristalino (?)	Acuífugo Acuitardo		F. Melo F. Tres Islas F. Gregorio (Pérmico Superior)	

Gneis, Granitos, Gabros? (Basamento) · Vulcanitas Basaltos Toleiticos · Gravas Finas-Medias · Arenas Finas-Medias · Arenas limosas · Limos c/interc. Arenosa arcillosa · Arcillas limosas

Rep. de Uruguay
Entre Ríos (Orient.)
Entre Ríos (Occid.)

Cuadro N°4. Base de Datos Hidroquímicos del Sistema Acuífero Termal

Perforación	País o Prov.	Fecha	Acuífero (tipo)	Litología (indicativo)	Unidad	Laboratorio	GK: X	GK: Y
Sistema Acuífero Termal								
Guaviyú	Uruguay	30/09/42	confinado	Areniscas	F.Botucatú		6477551	6416165
Guaviraví	Corrientes	07/06/59	confinado	Areniscas	F. Botucatú	SMN	5739176	6507319
Daymán	Uruguay	31/08/88	confinado	Areniscas	F.Botucatú	MGAP-URUGU	6520105	6413744
Almirón	Uruguay	01/10/88	confinado	Limos interc/ arenas	F.Yaguari ?	MGAP-URUGU	6610120	6413215
Daymán	Uruguay	01/01/92	confinado	Areniscas	F.Botucatú	Intendencia de Salto	6520105	6413744
Daymán	Uruguay	24/07/92	confinado	Areniscas	F.Botucatú	Intendencia de Salto	6520105	6413744
Daymán	Uruguay	27/10/93	confinado	Areniscas	F.Botucatú	Intendencia de Salto	6520105	6413744
Federación	Entre Ríos	04/04/95	confinado	Areniscas	F.Botucatú	FFyB,UBA	6570250	6411750
Federación	Entre Ríos	27/12/95	confinado	Areniscas	F.Botucatú	FFyB,UBA	6570250	6411750
Arapey	Uruguay	04/04/96	confinado	Areniscas	F.Botucatú	FFyB,UBA	6576686	6450562
Daymán	Uruguay	05/04/96	confinado	Areniscas	F.Botucatú	FFyB,UBA	6520105	6413744
Gauviyú	Uruguay	06/04/96	confinado	Areniscas	F.Botucatú	FFyB,UBA	6477551	6416165
Concordia	Entre Ríos	01/10/96	confinado	Areniscas	F. Botucatú	FFyB,UBA	6544000	6406000
Colón	Entre Ríos	05/03/97	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo.Solari	INA	6436460	6391879
Va. Elisa	Entre Ríos	28/04/97	confinado	Areniscas	F. Botucatú	INA	6444750	6364500
Colón	Entre Ríos	28/04/97	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo. Solari	INA	6436460	6391879
Daymán	Uruguay	30/08/97	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6520105	6413744
Arapey	Uruguay	03/09/97	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6576686	6450562
Concordia	Entre Ríos	01/11/97	confinado	Areniscas	F. Botucatú	INA	6544000	6406000
Va. Elisa	Entre Ríos	16/08/98	confinado	Areniscas	F. Botucatú	Aguas Argentinas	6444750	6364500
Colón	Entre Ríos	16/08/98	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo.Solari	Aguas Argentinas	6436460	6391879
Guleguaychú	Entre Ríos	03/05/99	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo.Solari	INA	6351268	6350817
Federación	Entre Ríos	03/05/99	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6570250	6411750
Concordia	Entre Ríos	03/05/99	confinado	Areniscas	F. Botucatú	INA	6544000	6406000
Colón	Entre Ríos	03/05/99	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo. Solari	INA	6436460	6391879
Concep. Urg.	Entre Ríos	04/05/99	fisurado-confinado	Areniscas intercaladas	Mbo. Solari	INA	6409558	6378541
Arapey	Uruguay	28/06/99	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6576686	6450562
Daymán	Uruguay	28/06/99	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6520105	6413744
Guaviyú	Uruguay	28/06/99	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6477551	6416165
Nicanor	Uruguay	28/06/99	confinado	Areniscas	F.Botucatú	INA	6511956	6422529

Tabla N° 49.Resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de las captaciones del área de estudio durante el periodo 1995-99. Incluye análisis previos validados y la Sección Suprabasaltica

Cuadro N°4. Base de Datos Hidroquímicos del Sistema Acuífero Termal

Perforación	País o Prov.	Cota	Temp	Profundidad	pH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	SIO2
Sistema Acuífero Termal		m.s.n.m.	b.d.p. °C	Techo m.b.b.p.		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Guaviyú	Uruguay	33		680			800			6,72	29,1	81	124	410	12
Guaviraví	Corrientes	67	20	147		700	304			19	40	14,2	13,9	230	
Daymán	Uruguay	20	46	955	7,7	720	520					51		238	
Almirón	Uruguay	86	34	523	7,3	8900	4500	1290	0	2,4	88,2	1380	1300	44	
Daymán	Uruguay	20	48	1362	7,5			215	3,65	4,5	19,7	140	140	274	
Daymán	Uruguay	20	46	955	7,8	720	460,8	150	3,4	2,3	7,5	43	52	303	95
Daymán	Uruguay	20	46	955	7,87	720	460,8	72	5,85	10		22,3		258,9	
Federación	Entre Ríos	43	43,1	870	7,9	640	409,6	120	1,3	27	13	37,4	50	360,1	
Federación	Entre Ríos	43	43,2	870	7,9	640	409,6	127	1,29	3	13	32,4	30,9	190	
Arapey	Uruguay	49	39	530	7,8	680	435,2	121	1,22	27	17	36,5	25,9	350	
Daymán	Uruguay	20	46	955	7,6	720	460,8	100,5	1,25	3,1	21	20	31,4	230	
Gauviyú	Uruguay	33	38	680	7,9	1143	536	290,7	8,2	1,2	1,2	88,1	70	549	
Concordia	Entre Ríos	38	47,1	966	7,6	720	460,8	130	1,2	2,8	15	57,6	26,4	191,2	
Colón	Entre Ríos	19	34,1	750	8,46	1236	791,04	312	3,9	6	4	120,7	64	301	
Va. Elisa	Entre Ríos	45	38,2	933	7,9	20086	12855	4835	19	1	302	4948	4213	95	
Colón	Entre Ríos	19	34,1	750	8,4	1309	837,76	266	2,4	4	3	136	75,1	316	
Daymán	Uruguay	20	42,5	955	7,68	759	485,76	167,9	4,36	2,16	2	42,6	46	359,9	
Arapey	Uruguay	49	39	530	8,19	536	343,04	71	7,5	10	16	14,7	9,5	195	
Concordia	Entre Ríos	38	44,8	966	8,8	801	462	118	3,5	1	8,7	32,5	34,5	260	
Va. Elisa	Entre Ríos	45	38,2	930	7,9	21500	14510	5120	38	55	224	5440	4080	89,3	9,6
Colón	Entre Ríos	19	34,1	750	8,72	1549	1046	310	2	1	4	131	159	302	12
Guleguaychú	Entre Ríos	7	24,3	560	8,11	20290	12758	4267	29	38,5	366	5733	2332	36	28
Federación	Entre Ríos	43	43	870	7,88	1114	601	200	8,2	5,6	25,7	176	86	218	29
Concordia	Entre Ríos	38	44,5	966	8,8	592	353	123	4,7	1,2	9,9	36	16	256	32
Colón	Entre Ríos	19	33,8	715	8,77	1357	799	290	3,7	0,5	6,6	129	116	302	40
Concep. Urg.	Entre Ríos	20	29	425	8,05	17450	11168	3670	24,9	33,1	314,8	4930	706	309	34
Arapey	Uruguay	49	42	530	8,19	533	291	77	8	9,1	26,3	16,4	13	205	90
Daymán	Uruguay	20	42,3	955	8,39	738	445	153	4,5	1,2	9,9	41,5	49	258	111
Guaviyú	Uruguay	33	37,2	680	9	1133	679	245	3,3	0,5	3,9	40	87	348	104
Nicanor	Uruguay	45	44	1107	8,74	729	408	145	4,2	2,2	7,9	76,2	45	224	97

Tabla N° 49.Resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de las captaciones del área de estudio durante el período 1995-99. Incluye análisis previos validados y la Sección Suprabasaltica

Cuadro N°4. Base de Datos Hidroquímicos del Sistema Acuífero Termal

Perforación	País o Prov.	Dureza Total	F	As	Mn	Fe	Li	NH4	Zn	Cu	Hg	Pb	Cd	Cr	Balance
Sistema Acuífero Termal		mg/l CaCO3	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Guaviyú	Uruguay	145						0,01							70
Guaviraví	Corrientes														11,2
Daymán	Uruguay	26													100
Almirón	Uruguay	330													4,7
Daymán	Uruguay	31			0,01	0,1									2,5
Daymán	Uruguay	20	0,9			0,08	0,08	0,05							0,8
Daymán	Uruguay	32	1,2			0,01	0,02								9,8
Federación	Entre Ríos	92								0,01	0,000001				0,8
Federación	Entre Ríos	96								0,01	0,000001				16,1
Arapey	Uruguay	110								0,09	0,000001				6,8
Daymán	Uruguay	36								0,011	0,000002				6,7
Guaviyú	Uruguay	15													0,3
Concordia	Entre Ríos	28								0,08	0,000001				11,3
Colón	Entre Ríos	8						0,2							19,1
Va. Elisa	Entre Ríos	760													0,6
Colón	Entre Ríos	23													6,7
Daymán	Uruguay	33													4
Arapey	Uruguay	114													12,1
Concordia	Entre Ríos	32	0,84	0,058	0,01	0,05		0,06		0,001		0,006		0,014	1,7
Va. Elisa	Entre Ríos	786	0,01	0,01	0,03	0,55		0,05							0,1
Colón	Entre Ríos	14	3,8	0,072	0,03	0,05		0,05							6,3
Guleguaychú	Entre Ríos	1071	1,23	0,002	0,081	0,486			0,072	0,022	0,000001	0,04	0,003	0,006	0,7
Federación	Entre Ríos	86,8	0,585	0,002	0,003	0,011			0,003	0,006	0,000001	0,04	0,003	0,021	17,1
Concordia	Entre Ríos	29,6	0,822	0,002	0,003	0,011			0,003	0,004	0,000001	0,04	0,003	0,023	4,1
Colón	Entre Ríos	17,2	1,81	0,045	0,003	0,011			0,003	0,004	0,000001	0,04	0,003	0,006	8,2
Concep. Urg.	Entre Ríos	921	1,05	0,03	0,07	0,01			0,065	0,02	0,000001	0,04	0,003	0,006	4
Arapey	Uruguay	103	0,434	0,002	0,003	0,011			0,011	0,004	0,000001	0,04	0,003	0,011	15,4
Daymán	Uruguay	30	1,031	0,01	0,003	0,011			0,01	0,006	0,000001	0,04	0,003	0,052	6,4
Guaviyú	Uruguay	12,2	1,457	0,002	0,003	0,011			0,003	0,004	0,000001	0,04	0,003	0,031	11,5
Nicanor	Uruguay	28,9	0,794	0,02	0,003	0,046			0,04	0,005	0,000001	0,04	0,003	0,034	1,4

Tabla N° 49.Resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de las captaciones del área de estudio durante el periodo 1995-99. Incluye análisis previos validados y la Sección Suprabasaltica

Cuadro N°5. Base de Datos Hidroquímicos Complementaria. Acuíferos de la Sección Suprabasaltica

Acuíferos de las Secciones Suprabasálticas

Perforación	País o Prov.	Fecha	Acuífero (tipo)	Litología (indicativo)	Unidad	Laboratorio	GK: X	GK: Y
Villaguay	Entre Ríos	01/04/96	Libre	Areniscas	F.Ituizangó	INA	6517730	5690150
Pto.Yeruá	Entre Ríos	01/01/90	Libre-fisurado	Basalto	F. Serra Geral	INA	6544560	6406520
Salto	Uruguay	01/01/95	Libre	Areniscas intercaladas	F.Salto	MGAP/MTOP (1992)	Comp. Media	Comp. Media
Salto	Uruguay	01/01/95	Libre-fisurado	Basalto	Mbo. Posadas	MGAP/MTOP (1992)	Comp. Media	Comp. Media
Colón	Entre Ríos	16/08/98	Semiconfinado	Areniscas	F.Puerto Yeruá	Aguas Argentinas	6436460	6391879
Buenos Aires	Bella Vista	11/06/96	Semiconfinado-confina	Areniscas medias c/arcilla	F. Paraná	Aguas Argentinas	6191112	5653689
Entre Ríos	Charuas	10/10/98	Libre	Arenas finas a medias	F. Ituizangó	INA	6546931	5661485
Entre Ríos	Charuas	11/10/98	Libre	Arenas finas a medias	F. Ituizangó	INA	6546950	5661492
Entre Ríos	Prom-ITZ	1/01/89	Libre	Arenas finas a medias	F. Ituizangó	Bertolini , (1989)	Comp. Media	Comp. Media
Entre Ríos	San Salvador	10/12/96	Libre	Arenas finas a medias	F. Ituizangó	INA	6494000	5652000
Buenos Aires	Morón	11/11/02	Semiconfinado-confina	Areniscas medias c/arcilla	F. Paraná	Aguas Argentinas	6191037	5653287

Cuadro N°5. Base de Datos Hidroquímicos Complementaria. Acuíferos de la Sección Suprabasaltica

Acuíferos de las Secciones Suprabasálticas

Perforación	País o Prov.	Cota	Temp	Profundidad	pH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	SIO2
Villaguay	Entre Ríos	47	22	46	7,2	870	556,8	169,7	0,2	0,9	3,8	67,45		616	
Pto.Yeruá	Entre Ríos	17	20	30	7,4	1132	725	229	0	8,2	28,8	251,3	198	194	
Salto	Uruguay		20,2	15	7,1	331	194,3	40,4	2	12	46,2	23,5	47,3	180,9	
Salto	Uruguay		21	40	7,3	542	310	39,9	1,9	16,5	74,4	19,8	57	334,8	
Colón	Entre Ríos	22	21	57	7,3	1309	884	160	6	24	104	110	235	275	18
Buenos Aires	Bella Vista	23	18	90	7,99	3420	2310	740	8	14	26	731	490	200	
Entre Ríos	Charuas	46	21	15	7,55	525	336	124,9	5,85	9,84	34	24,85	4,8	396,5	
Entre Ríos	Charuas	52	21	15	7,5	558	358	127,4	5,07	9,36	30	24,85	4,8	384,3	
Entre Ríos	Prom-ITZ		22	35	7,44	705	451	108,7	6,63	9,88	28,2	40,35	21,4	310,12	
Entre Ríos	San Salvador	53	22	25	7,28	499	320	73,83	8,97	10,44	20,6	71,35	54,7	149,57	
Buenos Aires	Morón	25	18	95	8,02	6030	4070	1370	12	35	79	1150	1180	160	

Cuadro N°5. Base de Datos Hidroquímicos Complementaria. Acuíferos de la Sección Suprabasaltica

Acuíferos de las Secciones Suprabasálticas

Perforación	País o Prov.	Dureza Total	F	As	Mn	Fe	Li	NH4	Zn	Cu	Hg	Pb	Cd	Cr	Balance
Villaguay	Entre Ríos	4,5	0,82	0,003	0,1	0,5	0,05	2,2	0,1	0,5					2,4
Pto.Yeruá	Entre Ríos														8,9
Salto	Uruguay					0,3									7
Salto	Uruguay					0									0,8
Colón	Entre Ríos	359	0,8	0,03	0,03	0,05		0,05							5,1
Buenos Aires	Bella Vista		0,72	0,01	0,07	0,06		0,17							0,9
Entre Ríos	Charuas														5,1
Entre Ríos	Charuas														5,6
Entre Ríos	Prom-ITZ														3,3
Entre Ríos	San Salvador				0,03	0,06									2,5
Buenos Aires	Morón			0,01				0,25							5

ANEXO IV. FIGURAS CITADAS EN ELTEXTO

Indice

Figura N°1. Mapa Geológico de la Provincia Hidrogeológica de Paraná, Brasil (Mente A., 1993)
Figura N°2. Mapa Geológico Estructural resumido del Acuífero Triásico – Jurásico (Sistema Termal Mesozoico) Brasil. (Araujo, Franca y Potter, 1995).
Figura N°3. Mapa de Espesores Sedimentarios Acumulados (Pezzi y Mozetic, 1989)
Figura N°4. Elementos Tectónicos y Altos Relativos en la Cuenca Chacoparanense (Pezzi y Mozetic, 1989)
Figura N°5. Neopaleozoico de la Región (tomado de Pezzi y Mozetic, 1989)
Figura N°6. Principales lineamientos estructurales interpretados a partir de diversos sensores remotos, Geofísica y Geología (Chebli, Tófalo y Turazzini, 1989)
Figura N°7. Principales lineamientos estructurales interpretados a partir de Imágenes Satelitales (Gómez Rifas et.al., 1996)
Figura N°8. Corte Geológico propuesto por Stappemberg, (1926)
Figura N°9. Corte Geológico esquemático propuesto por el CFI, (1962)
Figura N°10. Corte Geológico del A°Feliciano, (Entre Ríos). (Tujchneider y Fili, 1988)
Figura N°11. Corte Geológico esquemático Nogoyá-Artigas (Araujo, Franca y Potter, 1995)
Figura N°12. Curvas resistivas cercanas a Federación-1, (Ponti et. al., 1993)
Figura N°13. Curvas Resistivas paramétrica en Federación-1, (Ponti et. al., 1993)
Figura N°14.Corte Resistivo en el área de Federación (Ponti et. al., 1993)
Figura N°15. Corte Resistivo en el área de Colón (Bertolini y Toma, 1993)
Figura N°16. Curvas Resistivas (cercanas a Colón-1) para el área de Colón, (Bertolini y Toma, 1993)
FiguraN°17. Curvas Resistivas paramétrica en Villa Elisa-1, Area Villa Elisa-Nogoyá (Ainchil, Giusso, Krusse y San Cristobal, 1997)
Figura N°18. Curvas Resistivas característica en la Estación Estacas, Entre Ríos (Proyecto La Paz, 1996).
Figura N°19. Curvas Resistivas característica en Nogoyá, Entre Ríos (Proyecto La Paz, 1996).
Figura N°20. Curvas Resistivas paramétrica en C-1, Area Federación-Concordia (Proyecto La Paz, 1996).

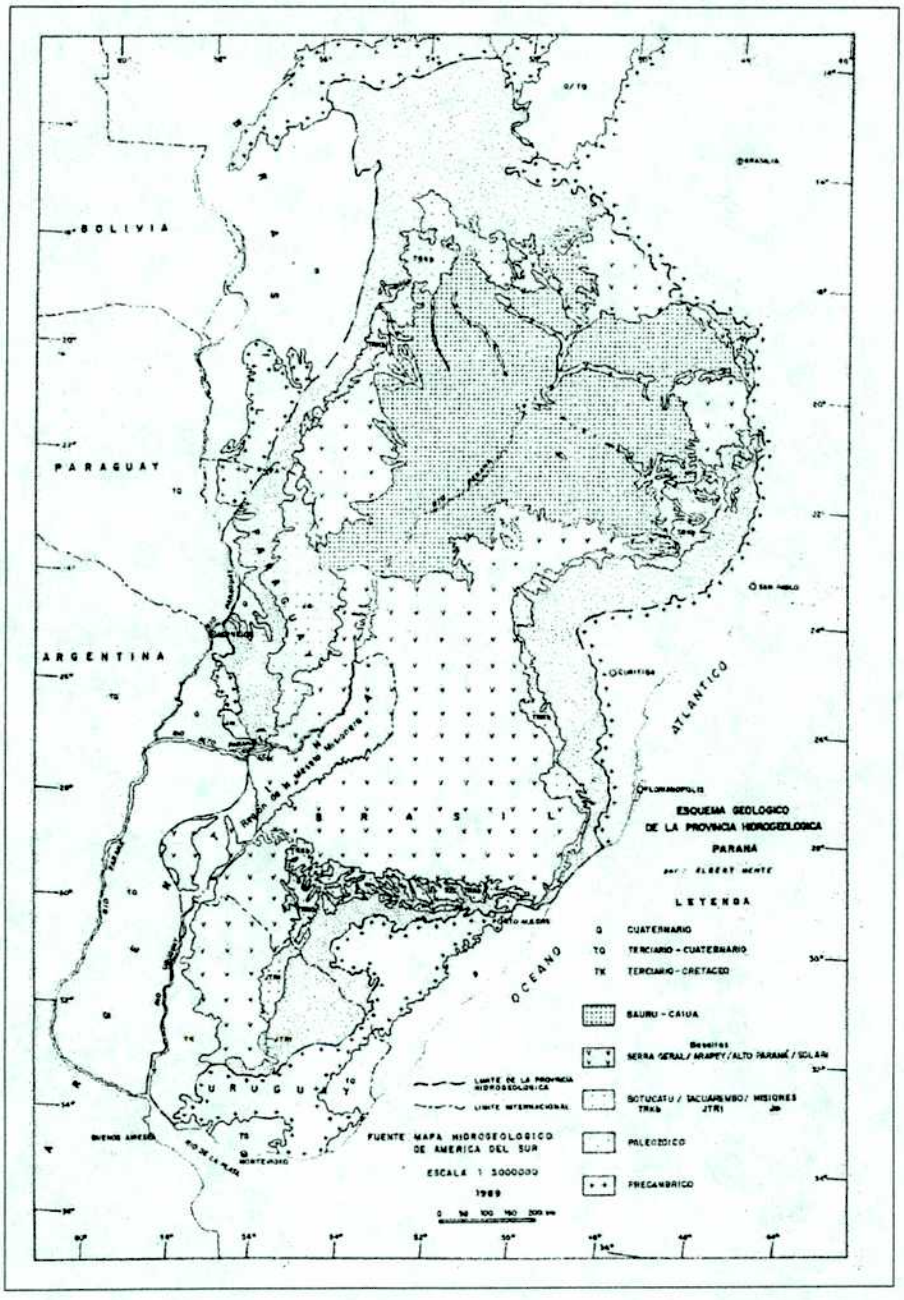


Figura N°1. Mapa Geológico de la Provincia Hidrogelógica de Paraná, Brasil (Mente A., 1993)

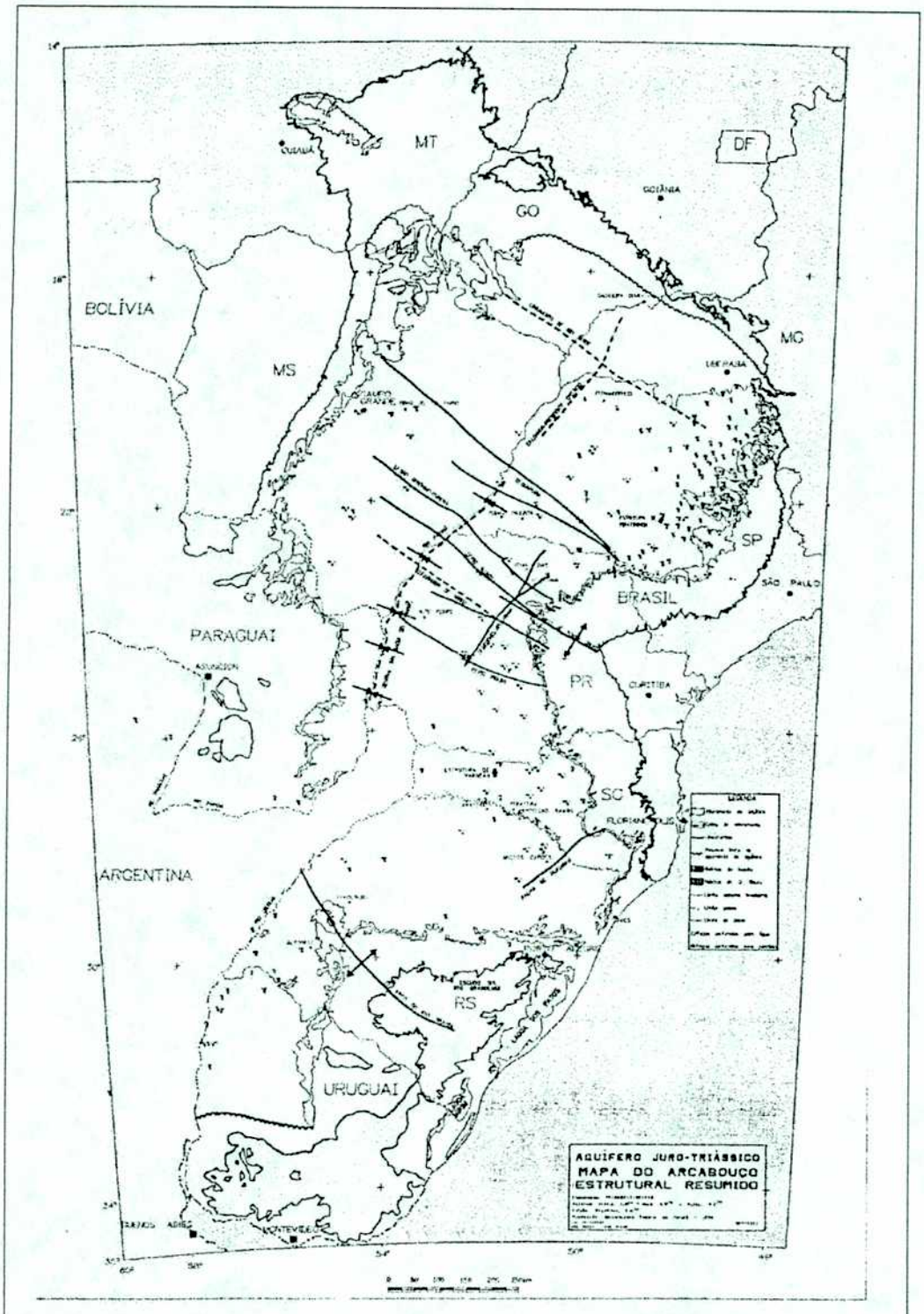


Figura N° 2. Mapa Geológico Estructural Resumido de la Región del Acuífero Triásico- Jurásico (Sistema Termal Mesozoico), Brasil (Araujo, França y Potter., 1995)

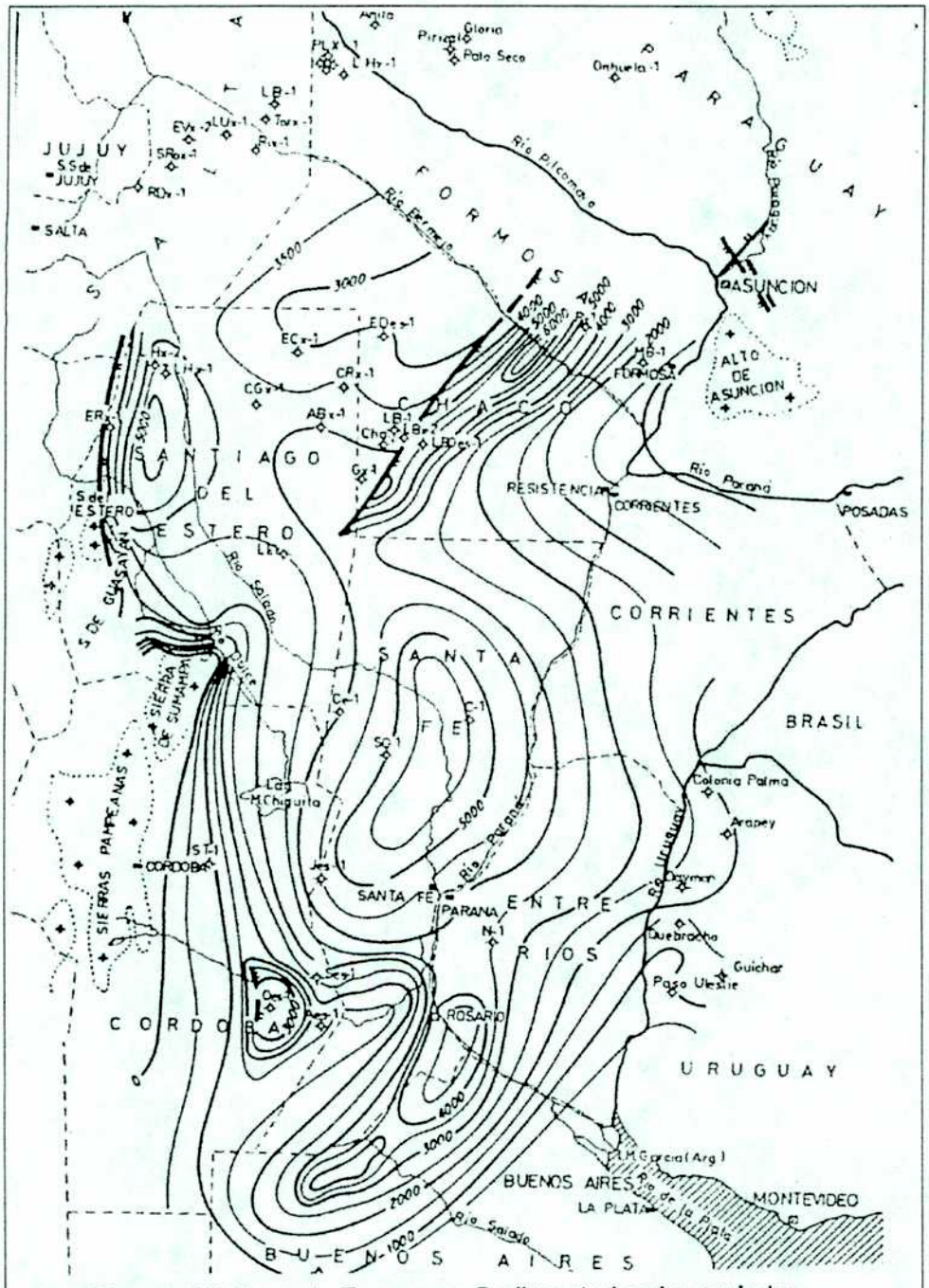


Figura n° 3 Mapa de Espesores Sedimentarios Acumulados
(Pezzi y Mozetic, 1989)

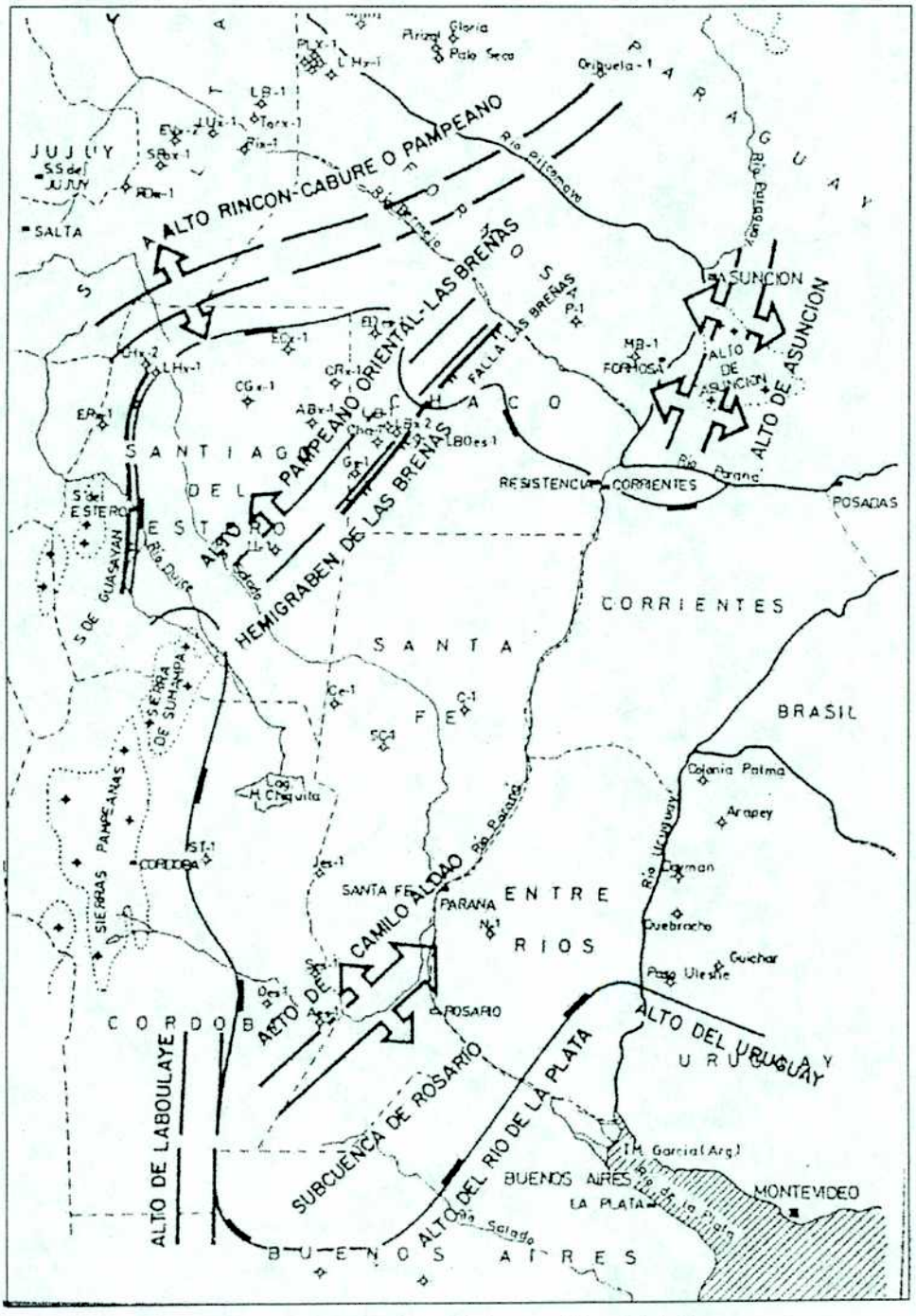


Figura n°4- Elementos Tectónicos y Altos Relativos en la Cuenca Chacoparanense (Pezzi y Mozetic,1989)

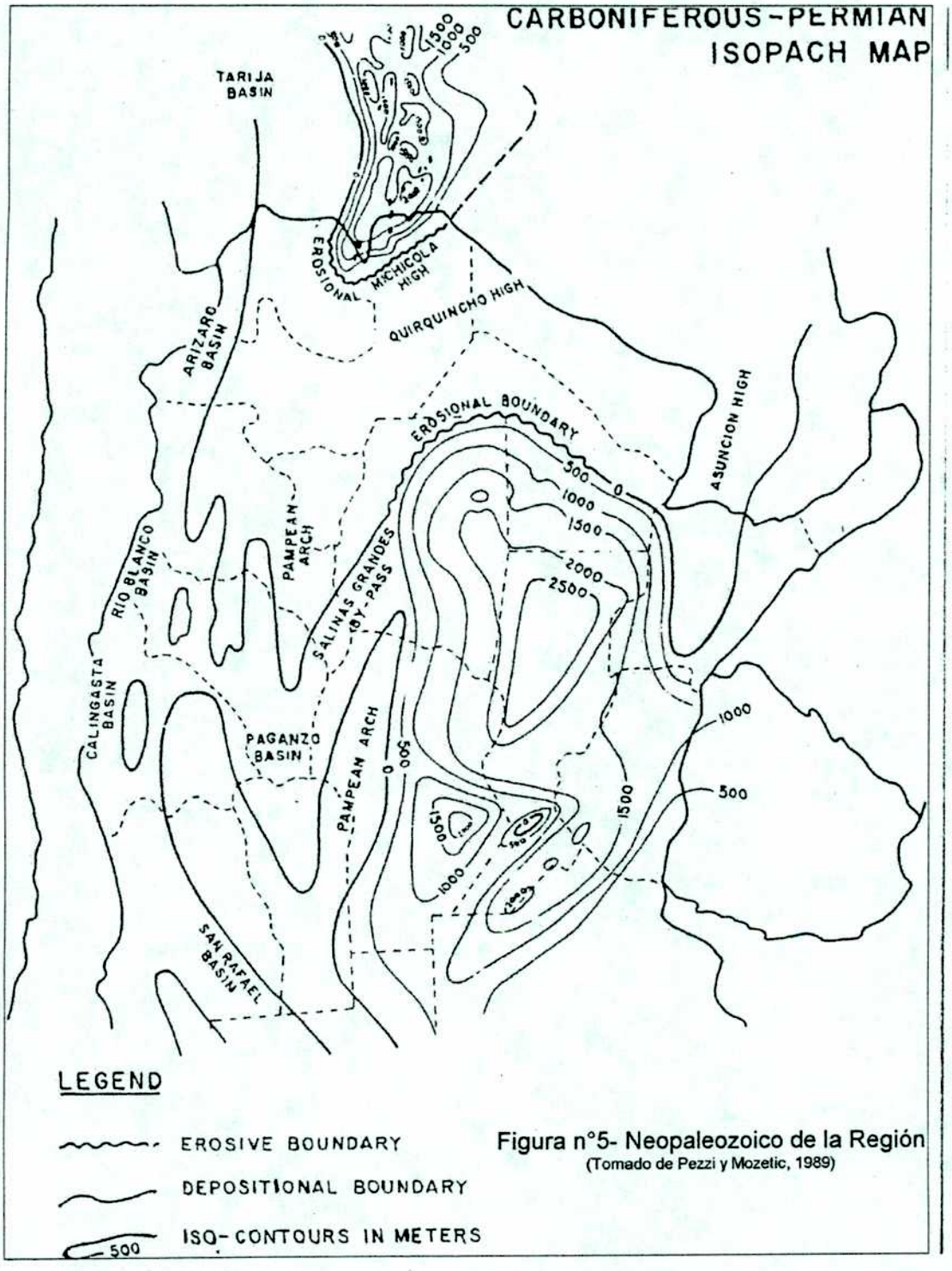


Figura n°5- Neopaleozoico de la Región
(Tomado de Pezzi y Mozetic, 1989)

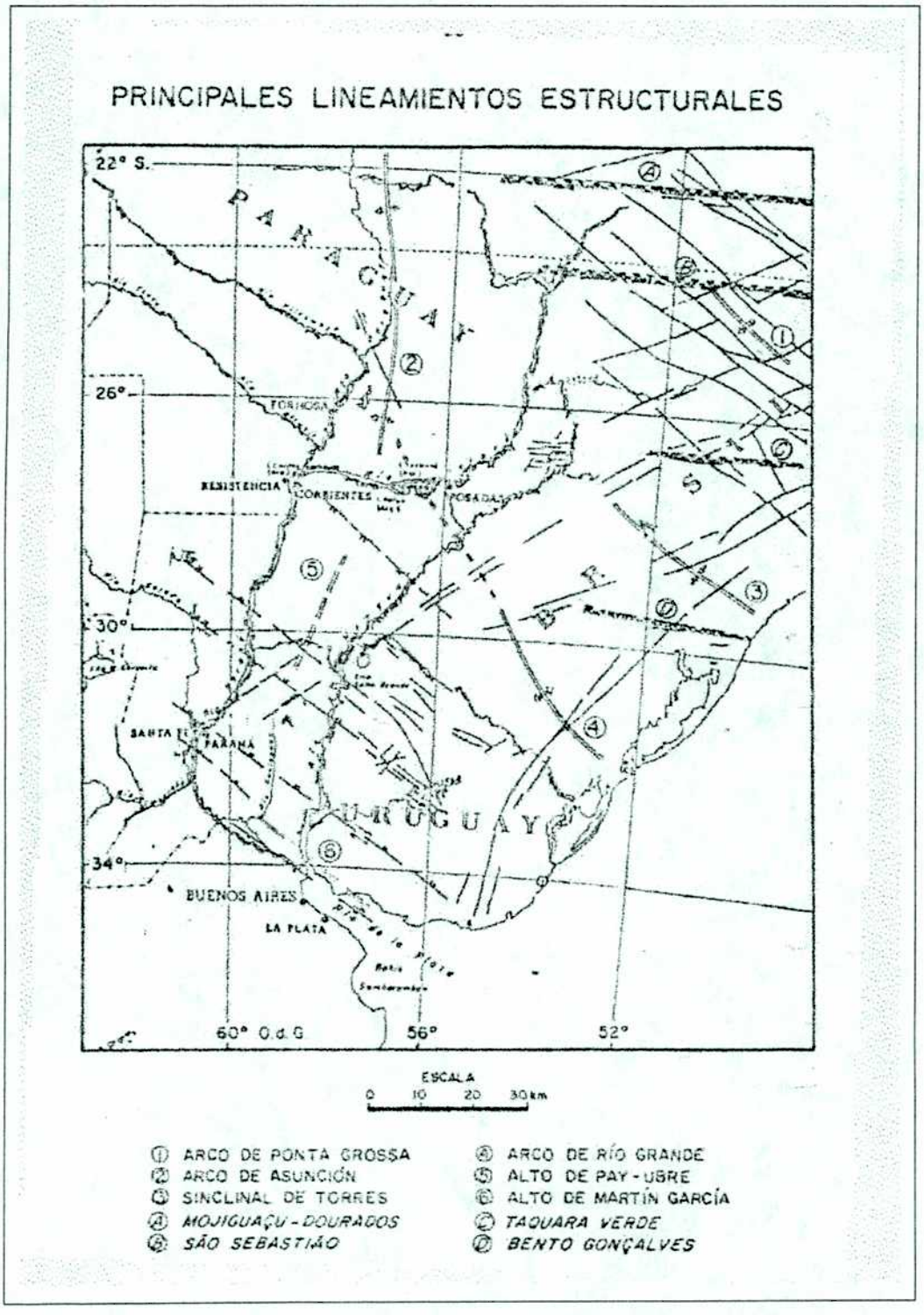


Figura N°6. Principales lineamietnos estructurales interpretados a partir de diversos sensores remotos (Chebli, Tófalo y Turazzini, 1989)

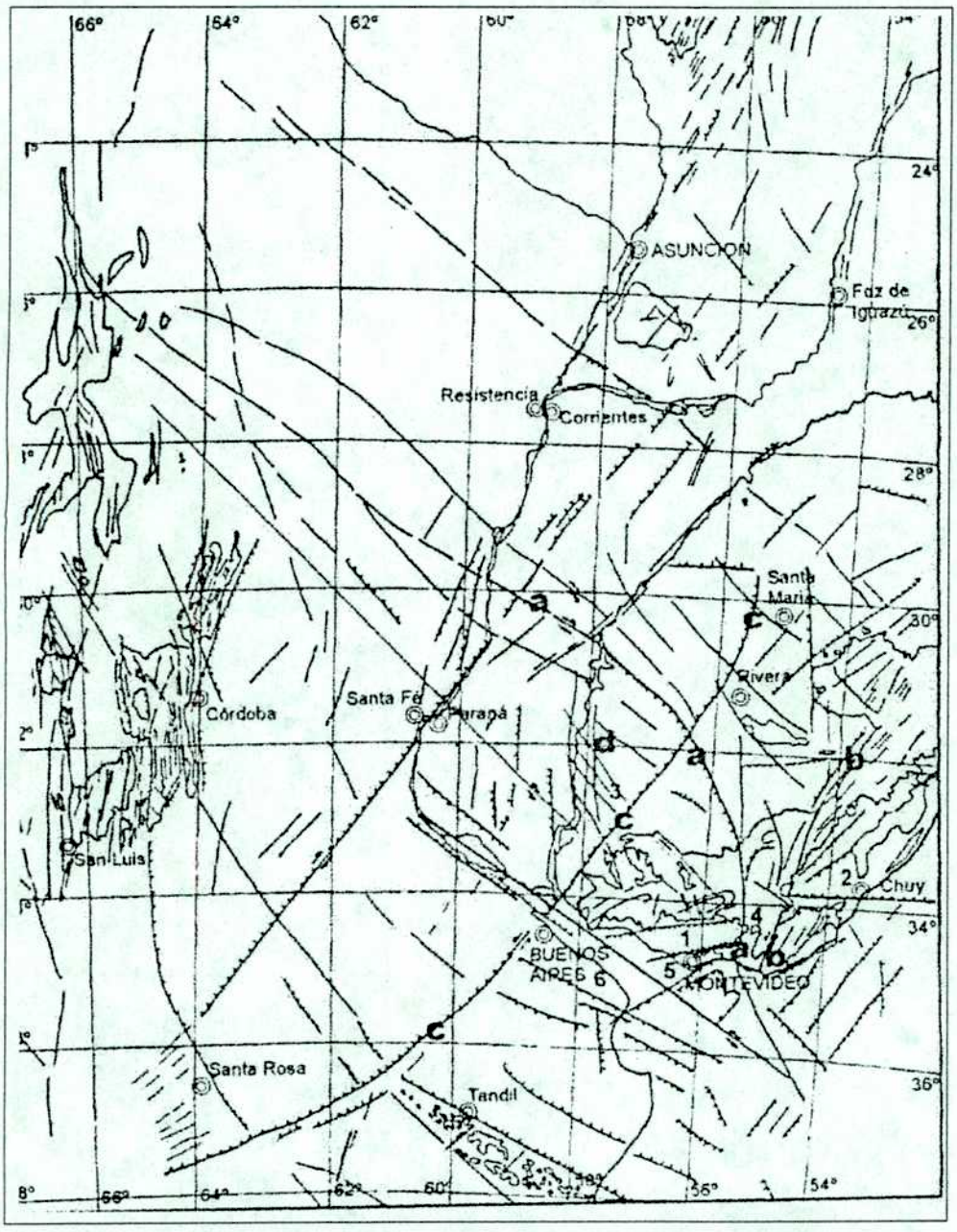


Figura N°7. Principales lineamietnos estructurales a partir de Imágenes Satelitales (Gómez Rifas et.al., 1996)

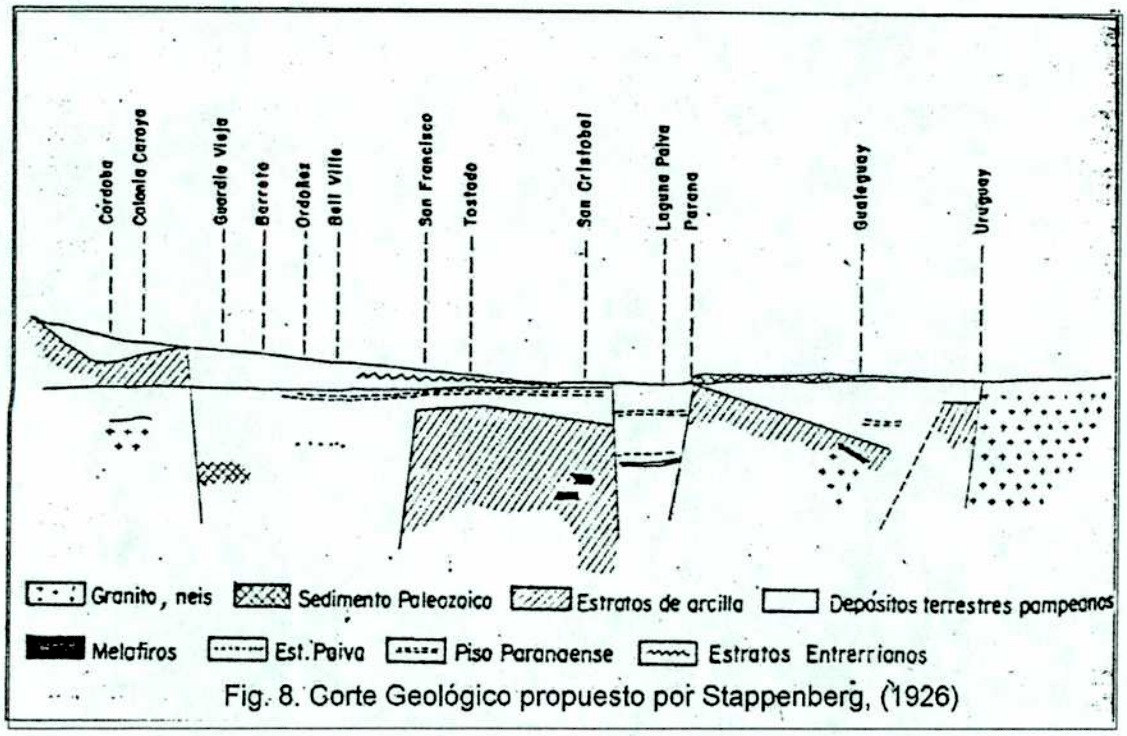


Fig. 8. Corte Geológico propuesto por Stappenberg, (1926)

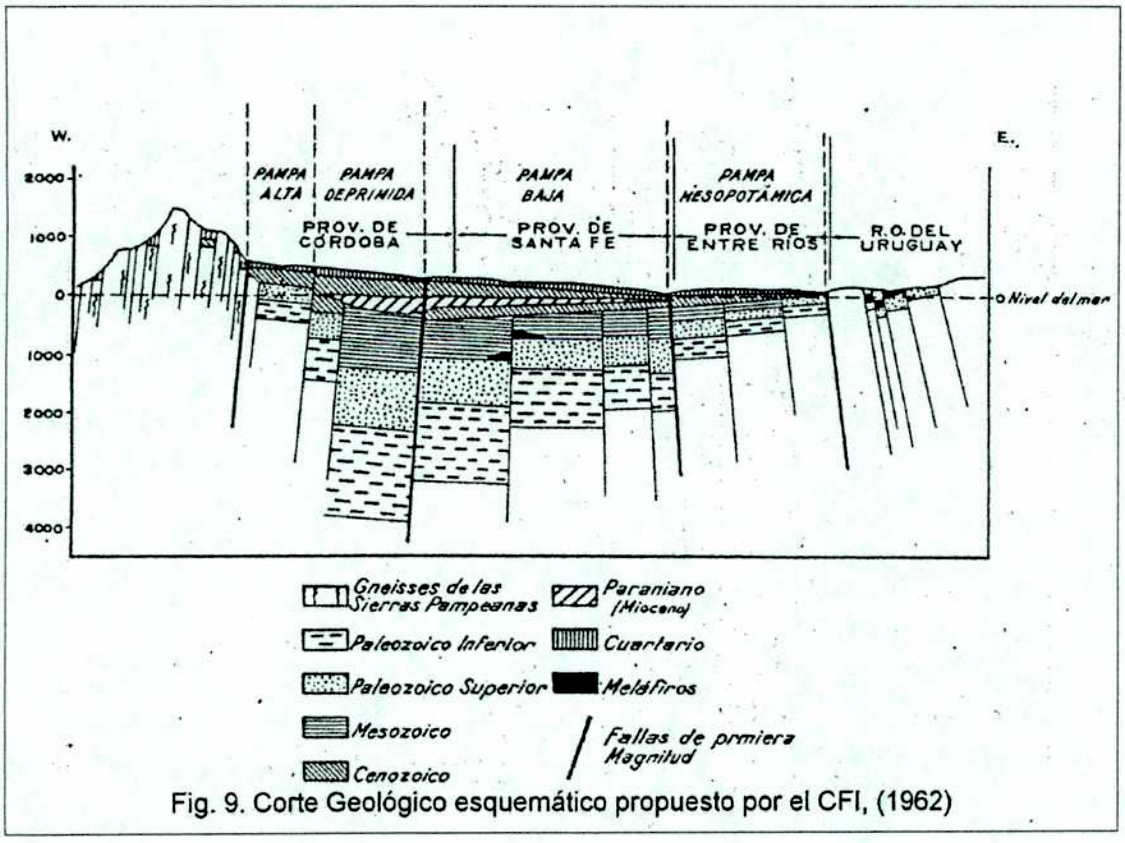


Fig. 9. Corte Geológico esquemático propuesto por el CFI, (1962)

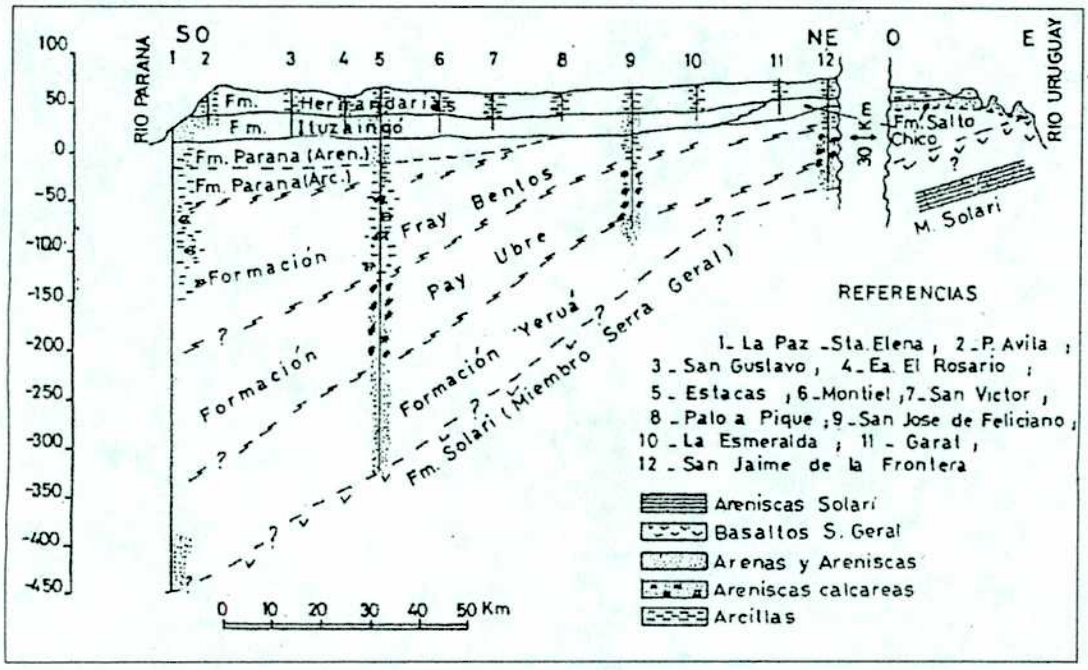


Figura N°10. Corte Geológico del A°Feliciano, (Entre Ríos). (Tujchneider y Fili, 1988)

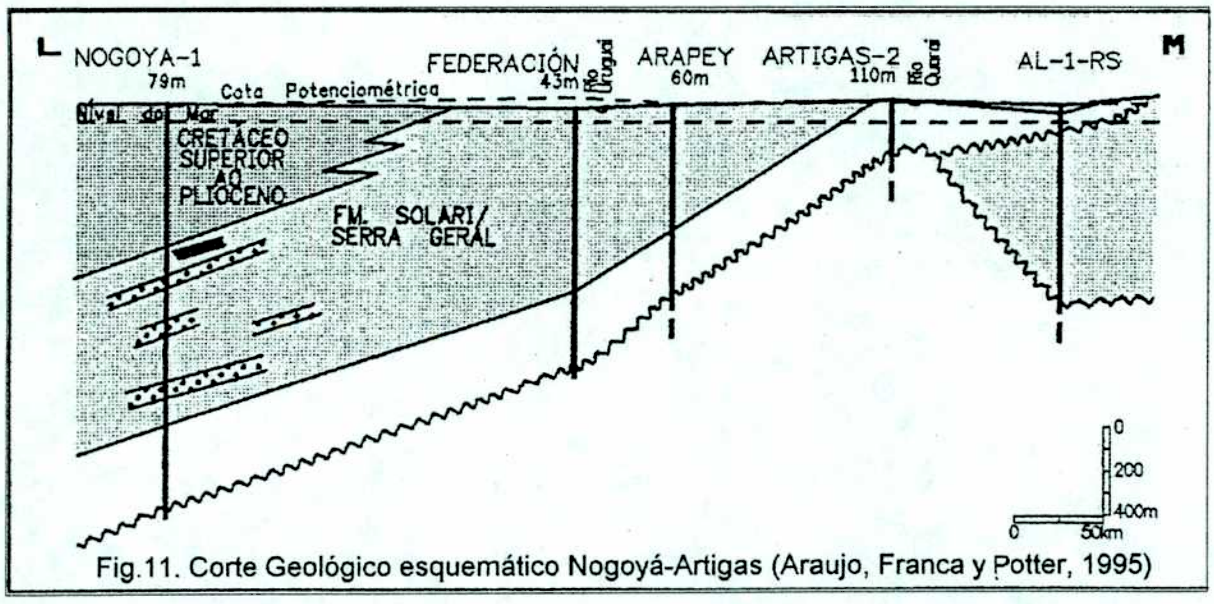


Fig.11. Corte Geológico esquemático Nogoyá-Artigas (Araujo, Franca y Potter, 1995)

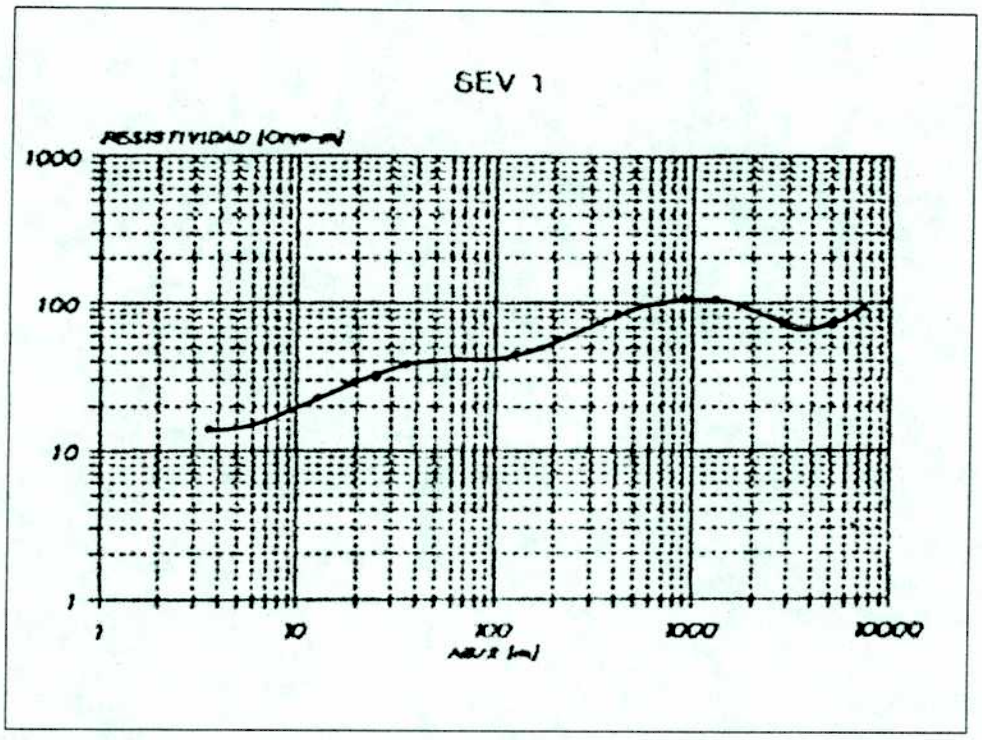


Figura N°12. Curvas Resistivascercanas a Federación (ER), (Ponti, et.al., 1993).

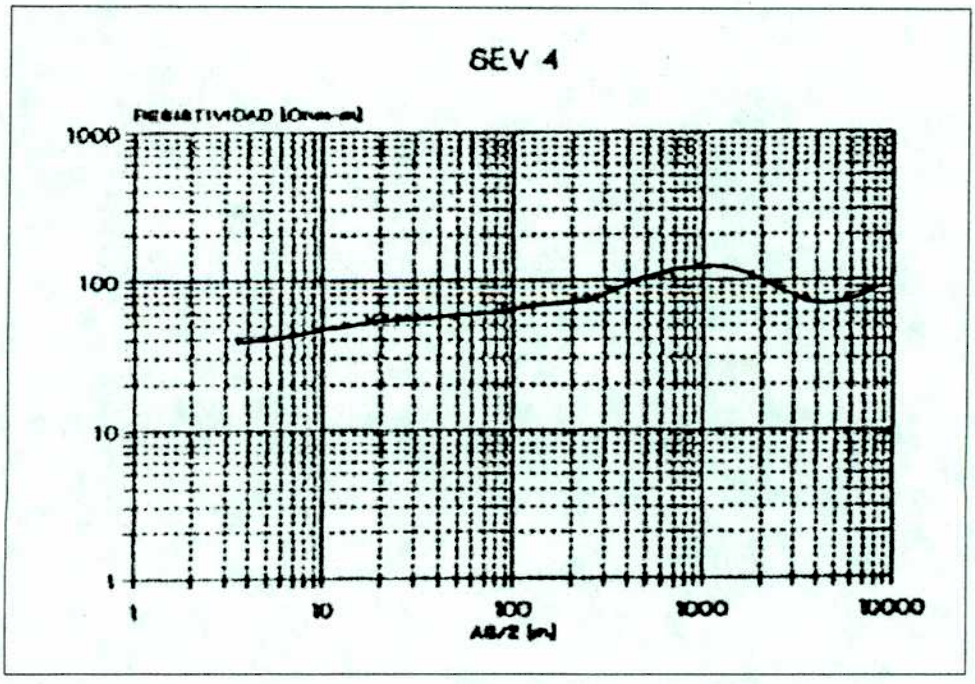


Figura N°13. Curva resistiva Paramétrica en Federación-1 (ER) (Ponti et.al., 1993)

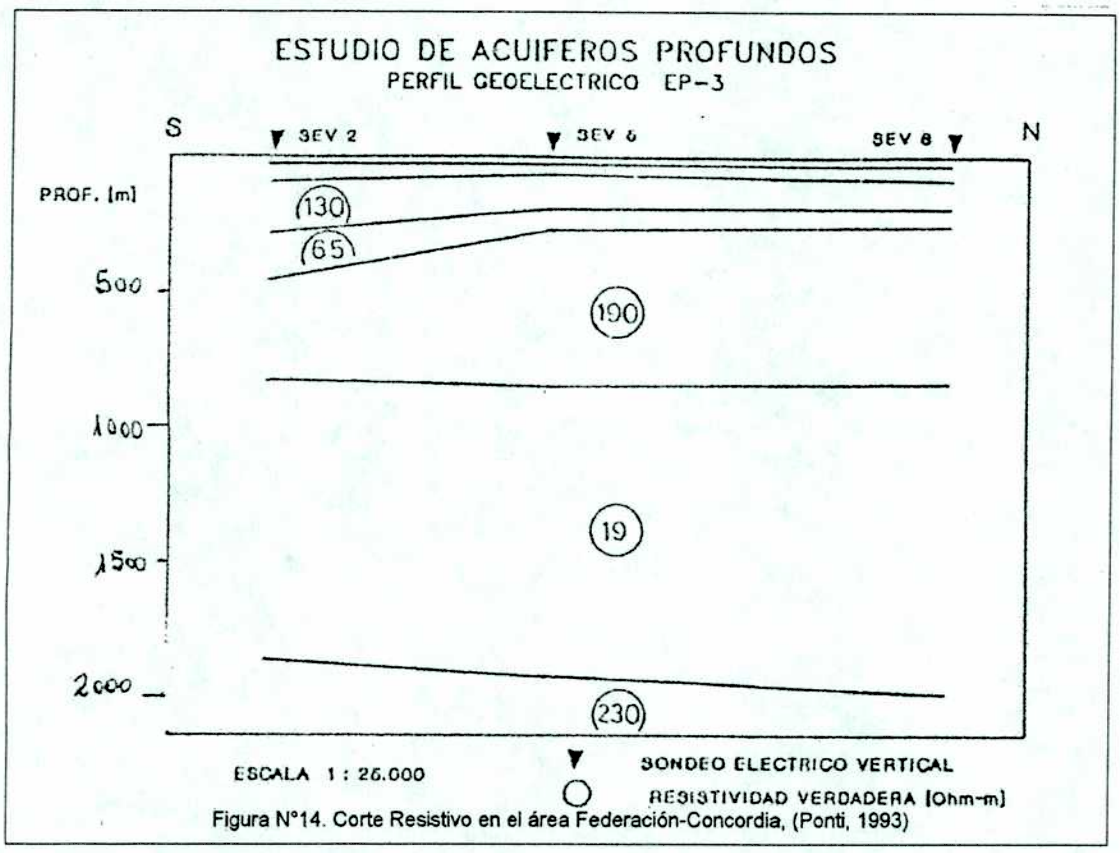


Figura N°14. Corte Resistivo en el área Federación-Concordia, (Ponti, 1993)

Figura N°14. Corte resistivo en el área de Federación (Ponti, et.al., 1993)

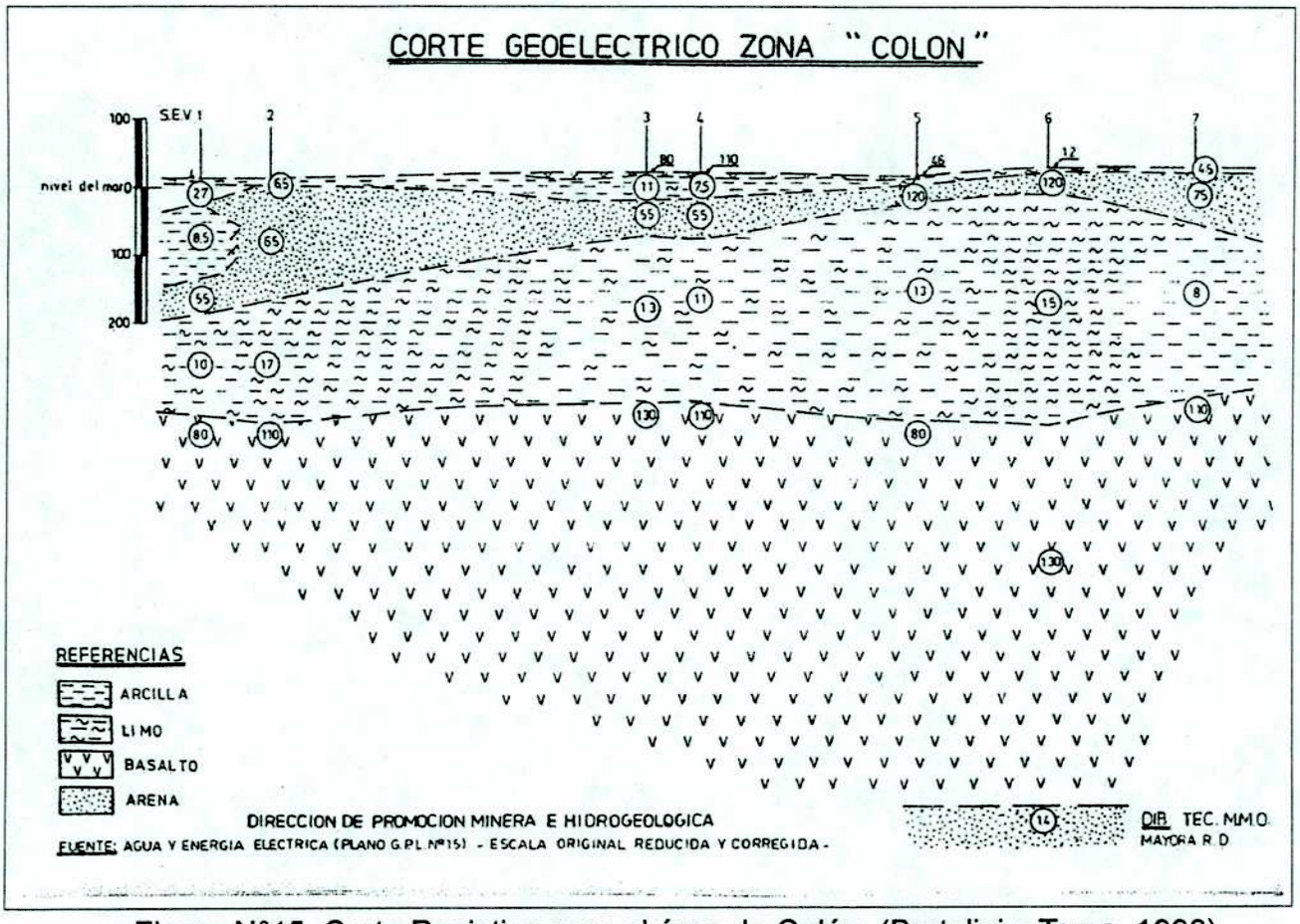


Figura N°15. Corte Resistivo para el área de Colón. (Bertolini y Toma, 1993)

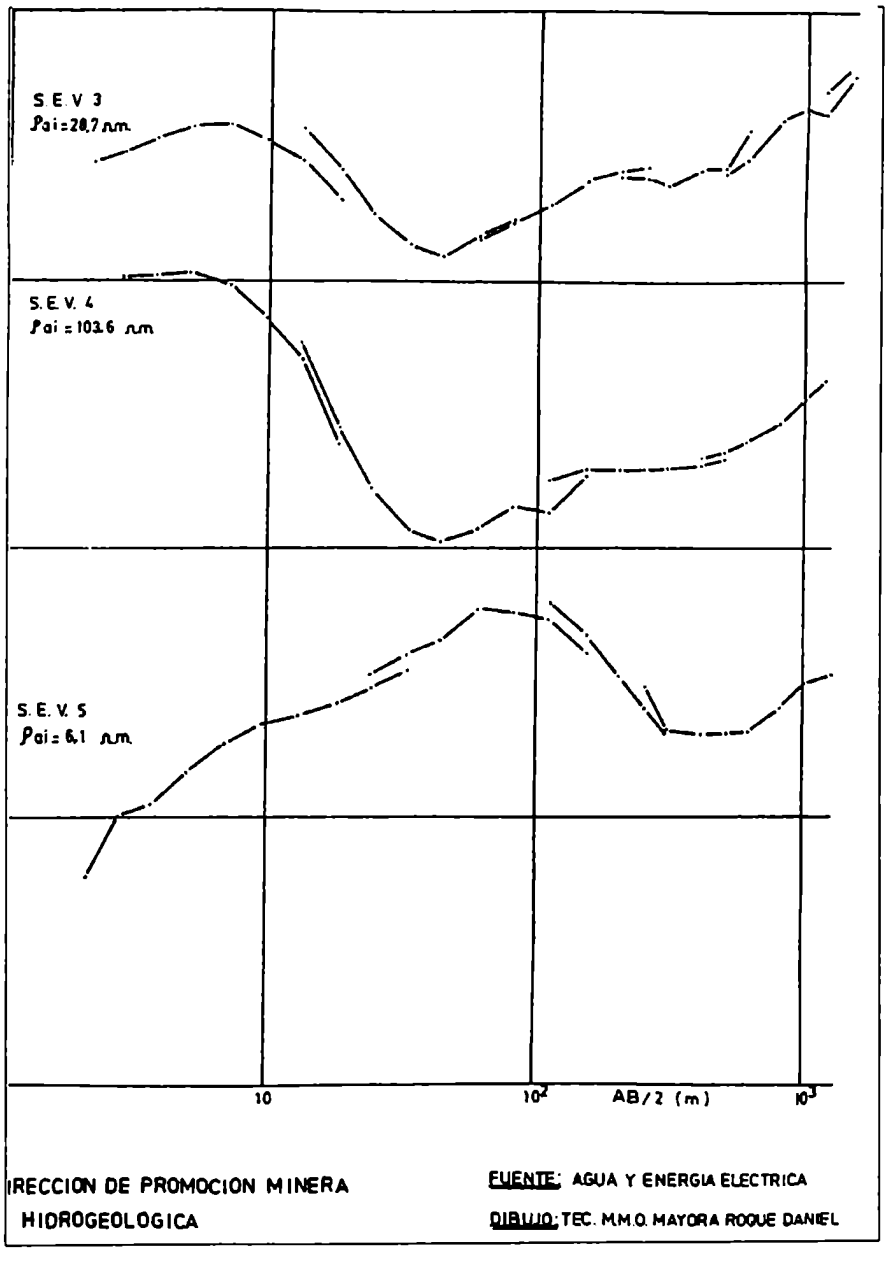


Figura N°16. Curvas Resistivos(cercanas a Colón-1) para el área de Colón. (Bertolini y Toma, 1993)

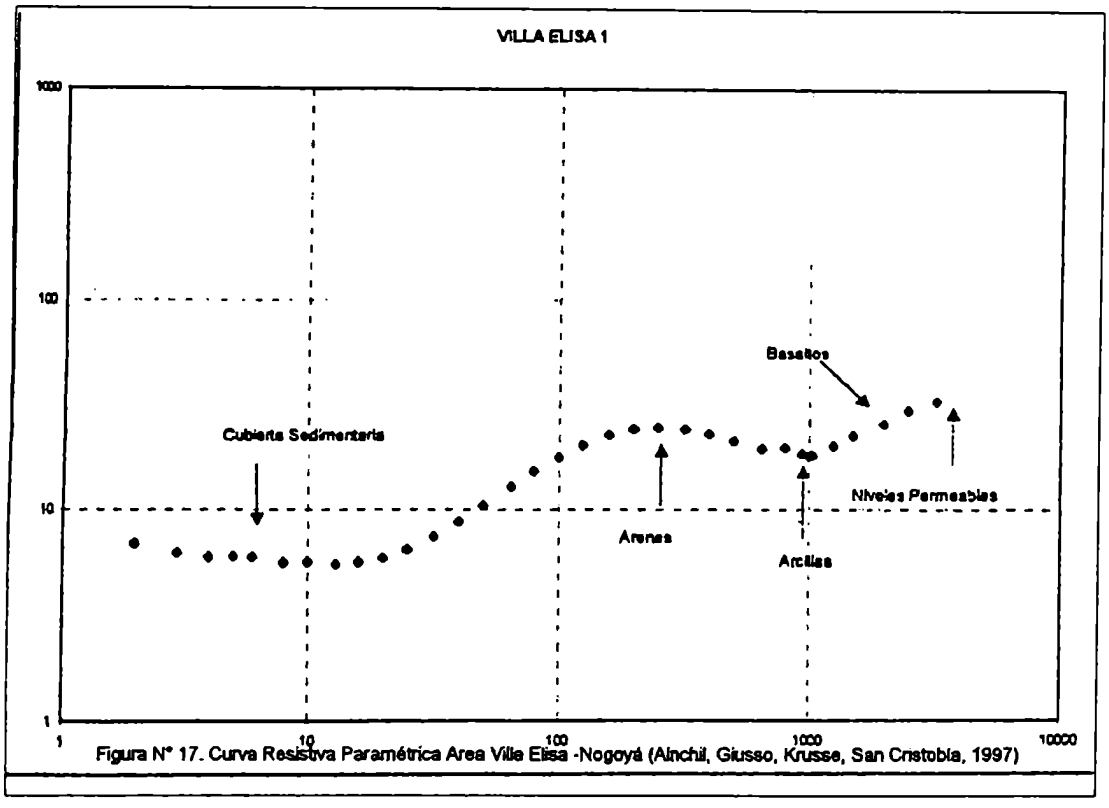


Figura N° 17. Curva Resistiva Paramétrica Area Villa Elisa -Nogoyá (Almchil, Giusso, Krusse, San Cristobla, 1997)

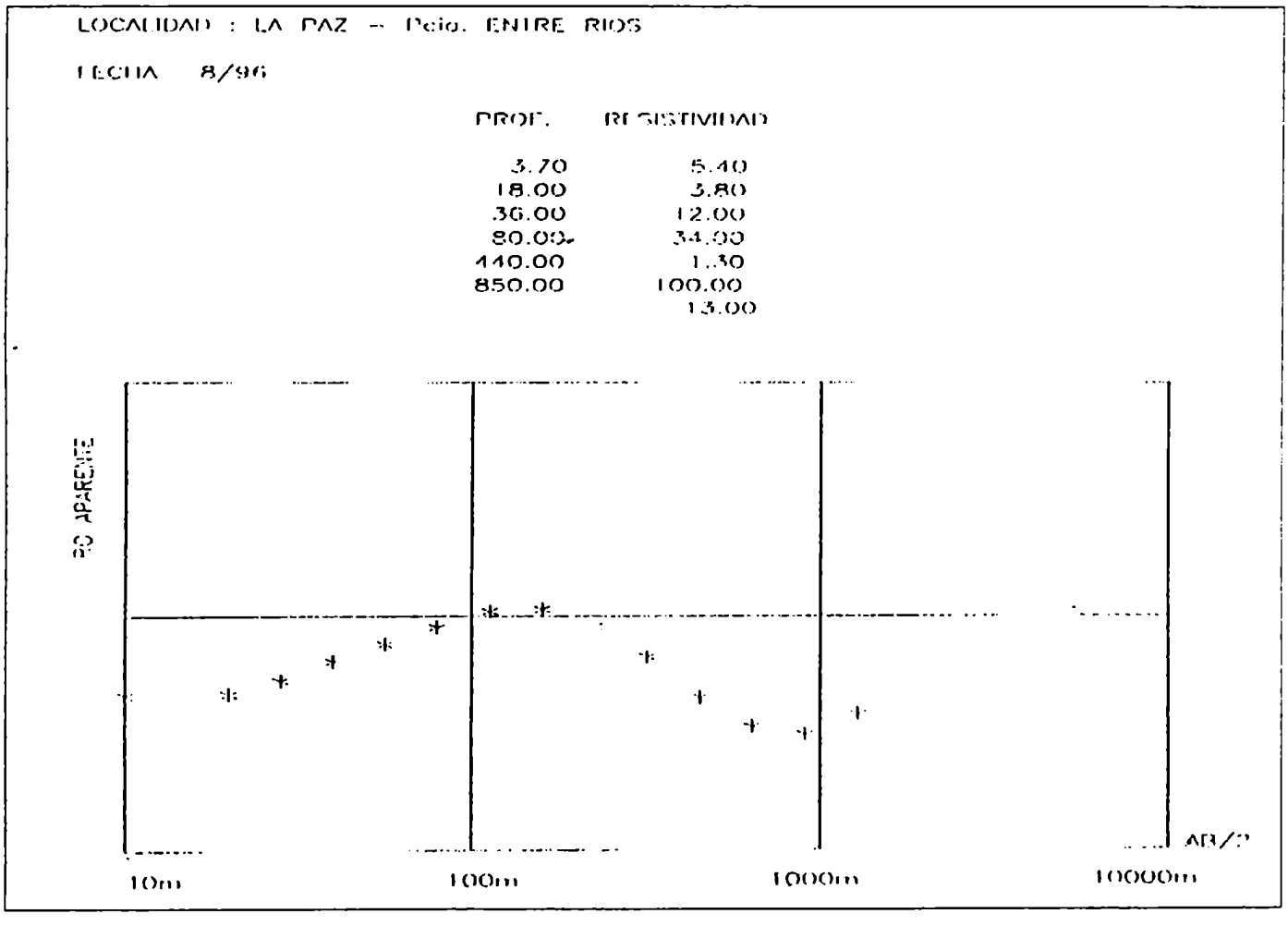


Figura N°18. Curva de Resistividades caratríasticas en la Estación Estacas, Entre Ríos

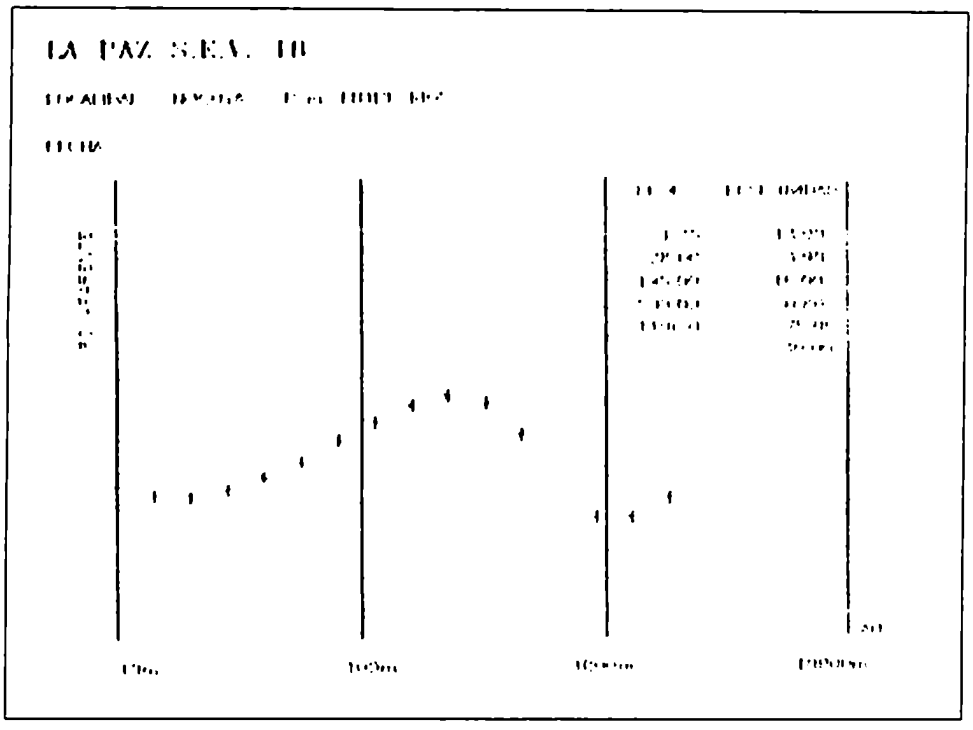


Figura N°19. Curvas Resistivas características en Nogoyá, Entre Ríos (Proyecto La Paz, 1996)

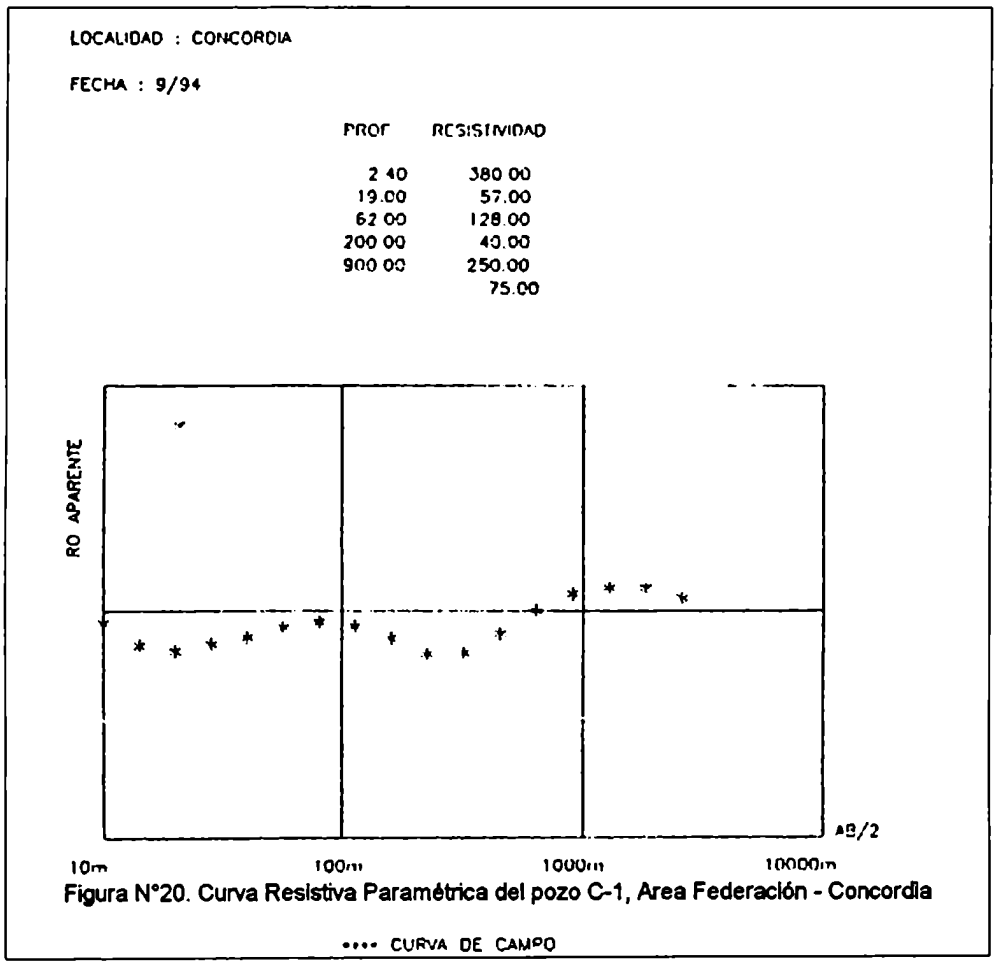


Figura N°20. Curva Resistiva Paramétrica del pozo C-1, Area Federación - Concordia

Proyecto La Paz, (1996)

ANEXO V. FOTOGRAFIAS CITADAS EN EL TEXTO

Indice

Foto N°1. Muestra 886 m.d.b.p. Cuarzo y Feldespato Alcalino en Rocas del Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°2. Muestra 926 m.d.b.p. Posible textura gnéisica cloritizada. Perforación Colón-1
Foto N°3. Muestra 1040 m.d.b.p. Fragmentos presentes en el recorte de pozo de plagioclasas (oligoclasa) y Feldespato Alcalino en Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°4. Muestra 1040 m.d.b.p. Biotita con inclusiones de apatita en rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°5. Muestra 1108 m.d.b.p. Biotita flexurada acompañada de cuarzo en Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°6. Muestra 1138m.d.b.p. Plagiclasa (oligoclasa) en Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°7. Muestra 1238 m.d.b.p. Anfiboles y Biotita cloritizada en Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°8. Muestra 1380m.d.b.p. Cuarzo, Plagioclasa y Feldespatos Alcalinos. Perforación Colón-1 en recortes de pozo de Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°9. Muestra 1470m.d.b.p. Cuarzo, Plagioclasa y Feldespatos Alcalinos. en recortes de pozo de Rocas de Basamento. Perforación Colón-1
Foto N°10 Muestra 723m.d.b.p.Textura Intergranular con plagioclasas (Labradorita), Piroxenos y Olivinas. Roca Basaltica de la Formación Serra Geral. Perforación Federación-1
Foto N°11. Muestra 706m.d.b.p. Textura Intergranular con plagioclasas (Labradorita), Piroxenos y Olivinas. Roca Basaltica de la Formación Serra Geral. Perforación Colón-1
Foto N°12 Muestra 1258m.d.b.p. Textura Intergranular con plagioclasas (Labradorita), Piroxenos y Olivinas. Cuerpo intrusivo Basalto-andesítico (Diabasa) de la Formación Serra Geral. Perforación Colón-1
Foto N°13 Muestra 1258m.d.b.p. Cuerpo intrusivo Basalto-andesítico (Diabasa) de la Formación Serra Geral. Perforación Colón-1
Foto N°14. Muestra 906m.d.b.p. Individuos de Cuarzo en las Areniscas de la Formación Botucatú, Federación, Entre Ríos
Foto N°15. Muestra 1112m.d.b.p. Areniscas de la Formación Misiones en la Perforación Mariano Boedo FMB-1x YPF, Mariano Boedo, Formosa.
Foto N°16 Muestra 890m.d.b.p. Areniscas de la Formación Misiones en la Perforación Ordoñez CoO-1x YPF, Ordoñez, Córdoba
Foto N°17. instalación de superficie. Ensayo de bombeo a caudal variable. Federación-1 1995.
Foto N°18. Vista de las torres de perforación de Colón-1, 1996
Foto N°19. Instalación de superficie. Manómetros de medición Daymán 1996
Foto N°20 Instalación de superficie. Manómetros de medición Arapey 1996
Foto N°21 Surgencia en boca de pozo. Colón –1 02/11/1996

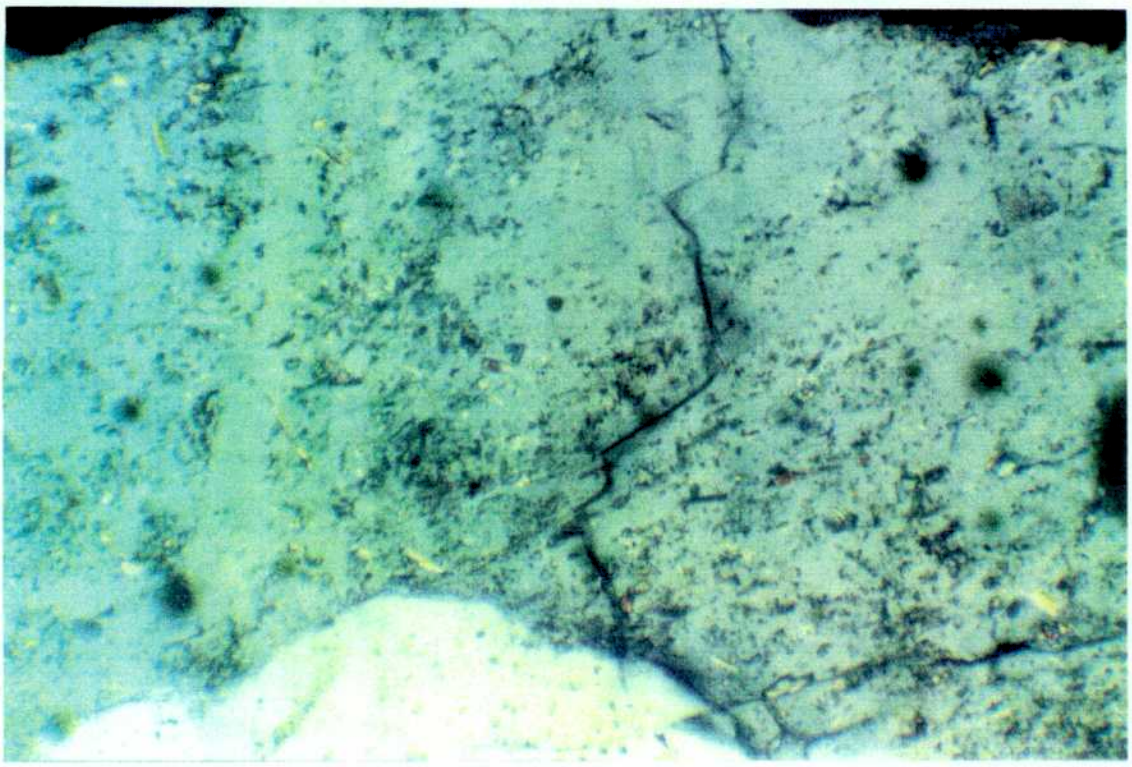


Foto 1 .Muestra 886 m.b.b.p Cuarzo y Feldespato Alcalino en rocas de Basamentol (x10). Perforación Colón-1

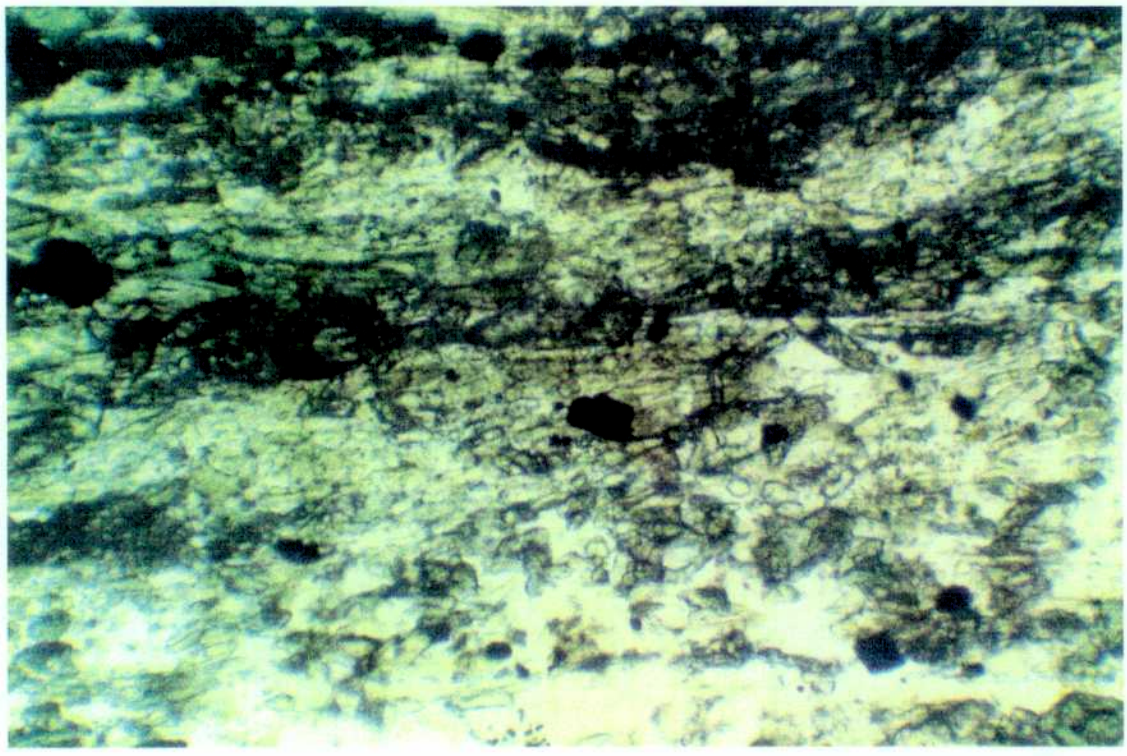


Foto 2. Muestra 926 m.b.b.p. Posible textura Gnéisica Cloritizada en Rocas de Basamento (x3,5). Perforación Colón-1

Foto 3.Muestra 1040 m.d.b.p. Fragmentos de Plagioclasa (Ortoclasa) y Feldespato Alcalino, presentes en los recortes de pozo del Basamento (x10). Perforación Colón-1.

Foto 4.Muestra1040m.d.b.p. Biotita con inclusiones de apatita en rocas de Basamento (x10). Perforación Colón-1.

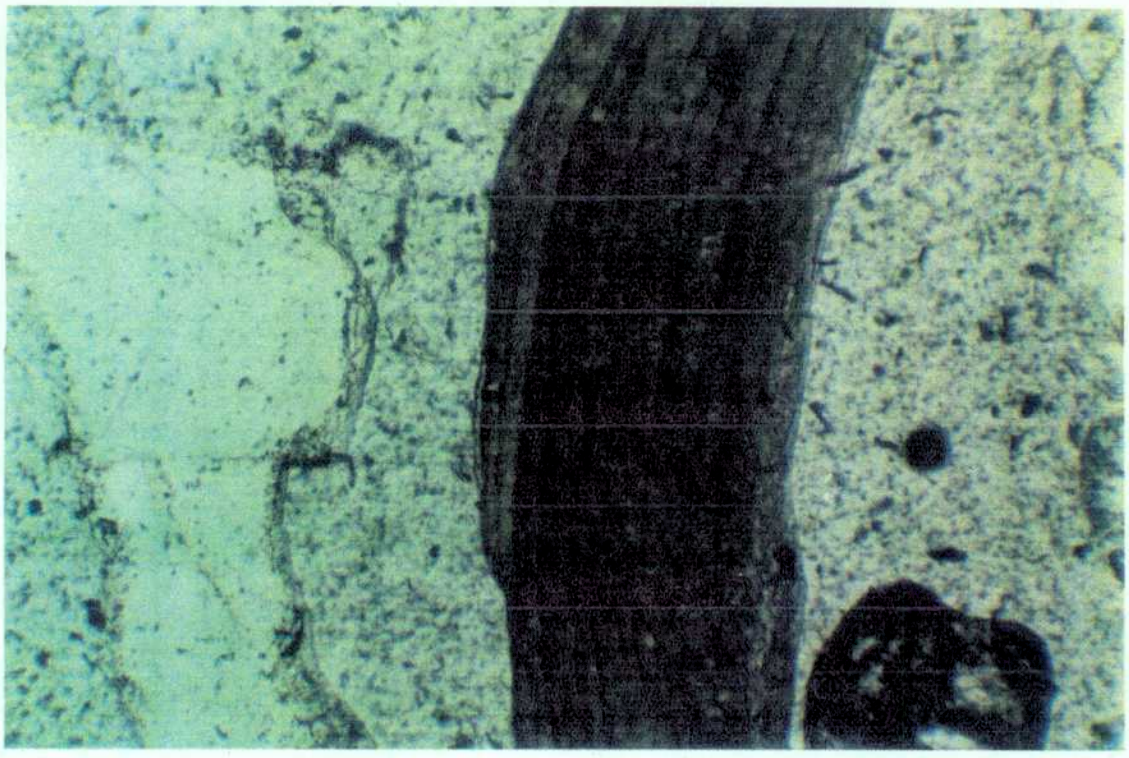


Foto 5 .Muestra 1108m.d.b.p.Biotita flexurada acompañada de cuarzo en Rocas de Basamento (x10) Perforación Colón-1

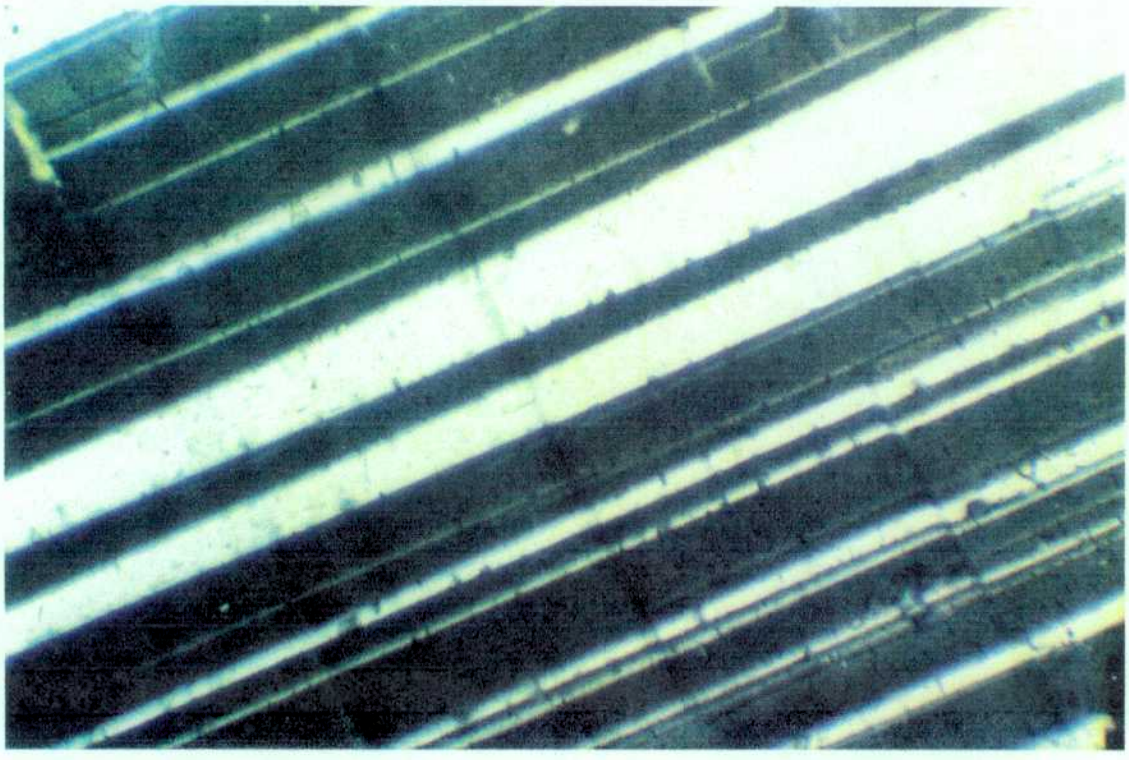


Foto 6. Muestra 1138m.d.b.p.Plagioclasa (ortoclasa) en Rocas el Basamento. (x10). Perforación Colón-1.

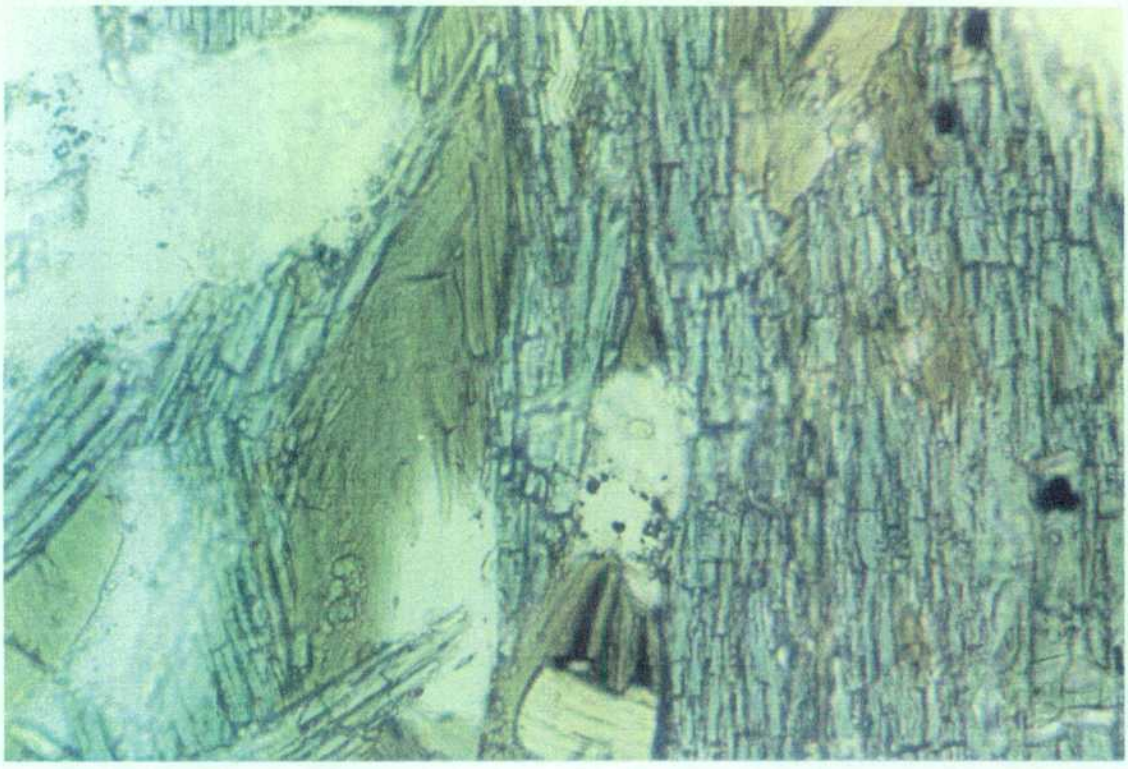


Foto 7 .Muestra 1238m.b.b.p.Anfíboles y Biotita cloritizados en Rocas de Basamento (x10). Perforación Colón-1.

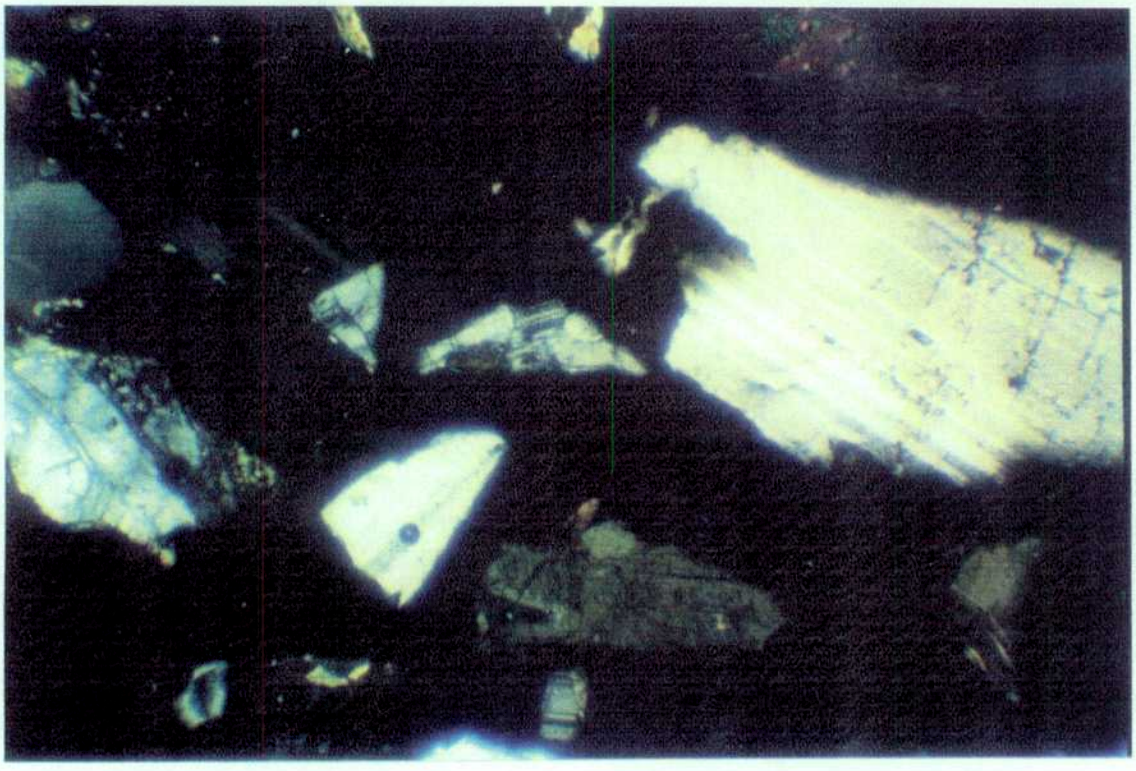


Foto 8. Muestra 1380m.b.b.p.Cuarzo, Plagioclasa y Feldespatos Alcalinos en recortes de pozo del Basamento (x3,5). Perforación Colón-1

Foto 9 .Muestra 1470m.b.b.p.Cuarzo, Plagioclasas y Feldespatos Alcalinos en los recortes de pozo del Basamento (x3,5). Perforación Colón-1.

Foto 10. Muestra 723m.b.b.p. Textura intergranular con Plagioclasas (labradorita) Piroxenos y Olivinas. Roca Basáltica de la Formación Serra Geral (x10). Perforación Federación-1

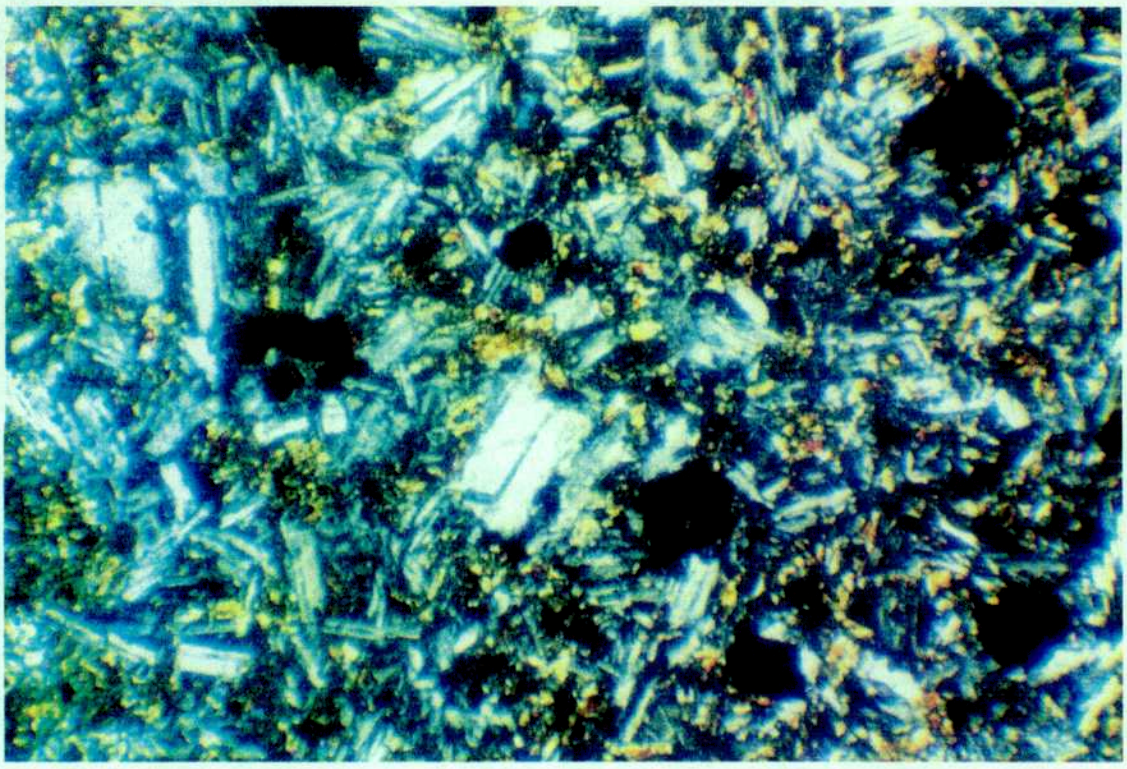


Foto 11 .Muestra 706m.b.b.p Textura intergranular con Plagioclasas (Labradorita) Piroxenos y Olivinas. Rocas Basalticas de la Formación Serra Geral (x10). Perforación Colón-1

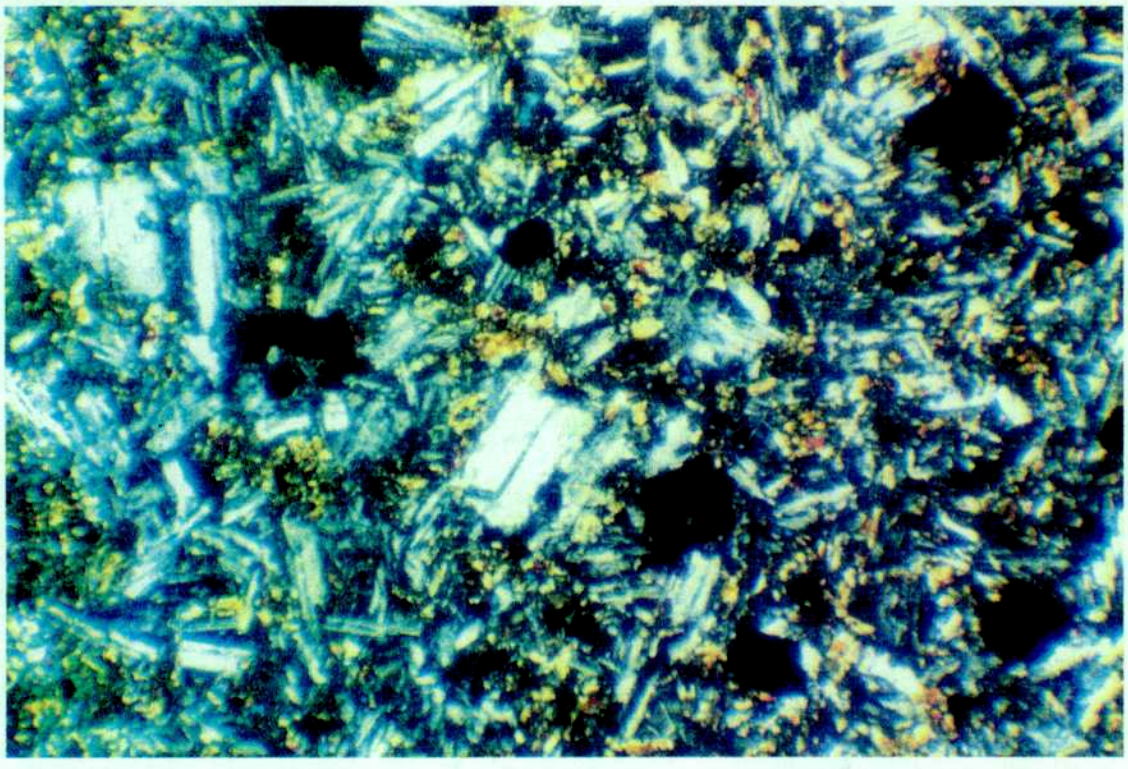


Foto 12. Muestra 1258m.b.b.p. Textura intergranular con Palgioclasas (labradorita) Piroxenos y Olivinas. Cuerpo Intrusivo Basalto-Andesítico (Diabasa, Formación Serra Geral)(x10). Perforación Colón-1

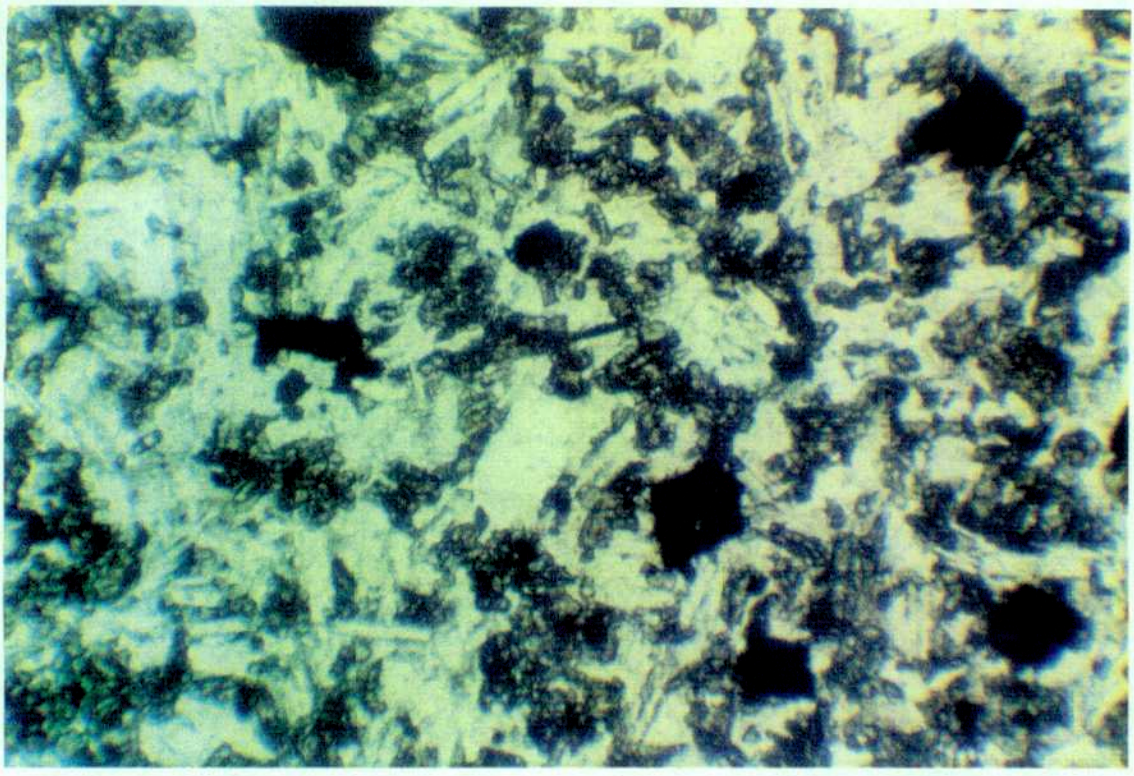


Foto 13 .Muestra 1258 m.b.b.p Cuerpo Intrusivo Basalto-andesítico (Diabasa, Formación Serra Geral).Nicoles paralelos (x10). Perforación Colón-1

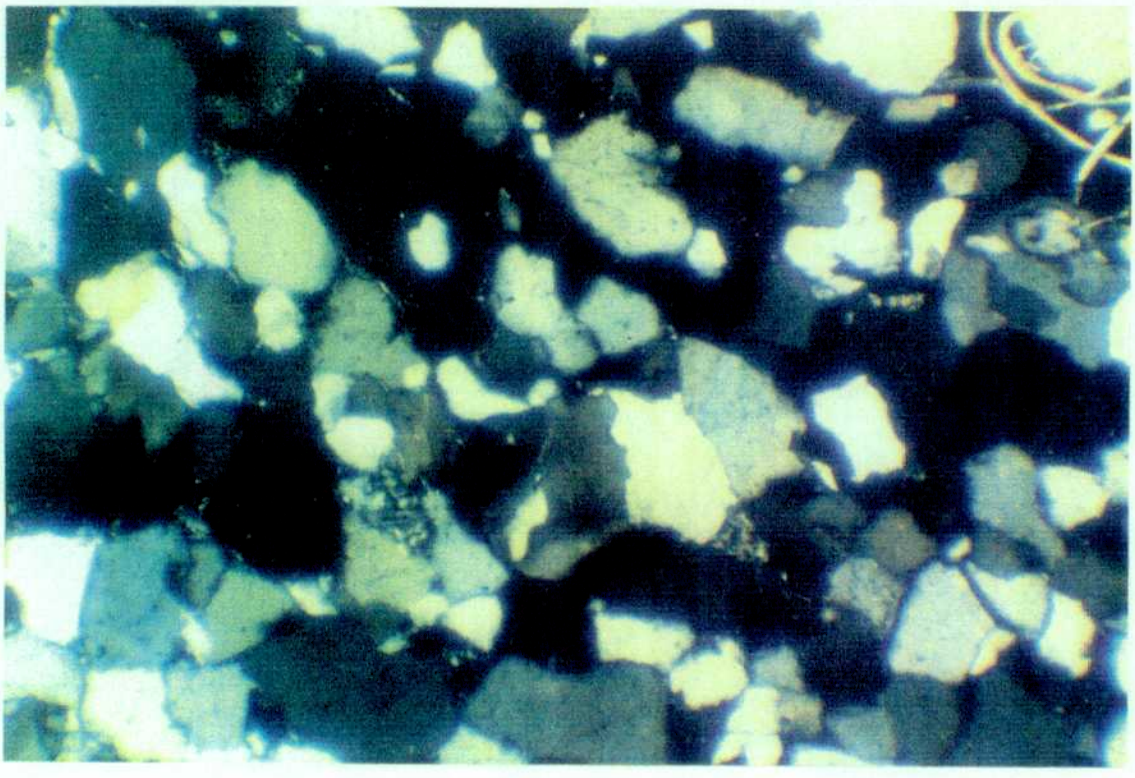


Foto 14. Muestra 906m.b.b.p. Individuos de cuarzo en las areniscas de la Formación Botucatú, Entre Ríos (x3,5). Perforación Federación-1.

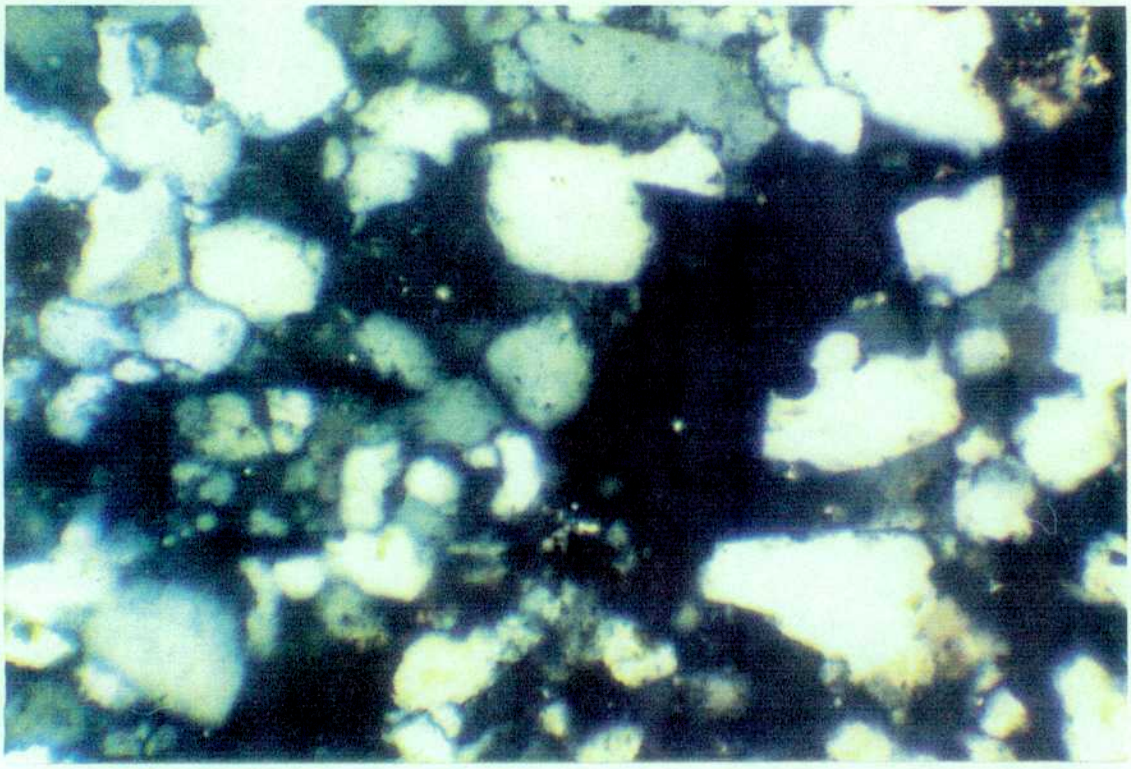


Foto 15 .Muestra 1112 m.b.b.p Areniscas de la Formación Misiones en la perforación Mariano Boedo FMB-1x YPF, Mariano Boedo, Formosa (x3,5)

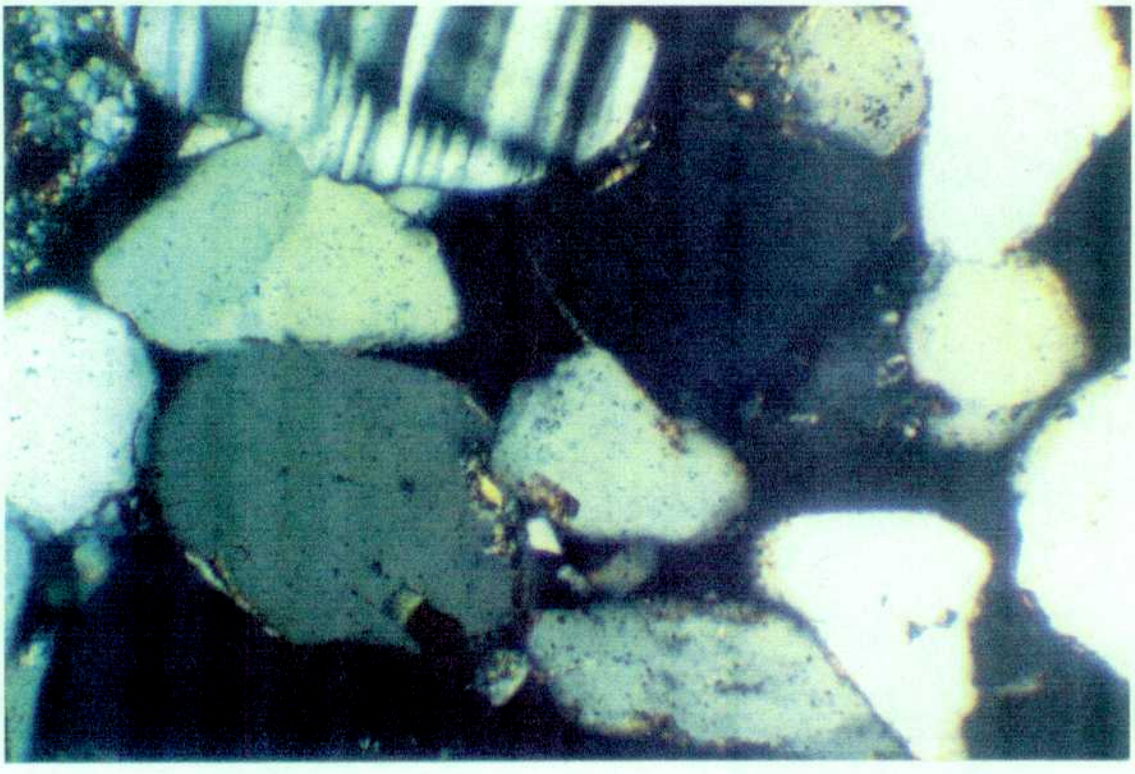


Foto 16. Muestra 906 m.b.b.p.Areniscas de la Formación Misiones en la perforación Ordoñez CoO-1x YPF, Ordoñez, Córdoba (x3,5)

Foto 17 Instalación de superficie. Ensayo de bombeo escalonado. Federación-1,1995

Foto 18. Vista de las torres de perforación de Colón-1, 1996

Foto 19 Instalación de superficie. Manómetros de medición. Daymán, 1996

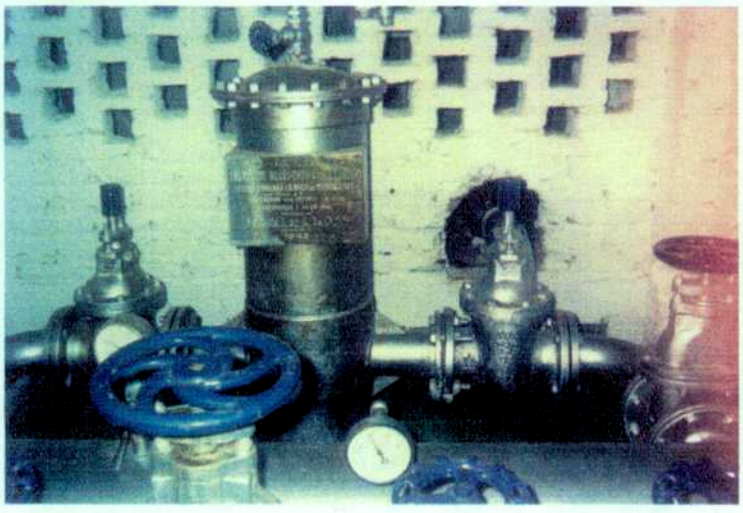


Foto 20. Instalación de superficie. Manómetro de medición. Arapey, 1996

Foto 21. Surgencia en boca de pozo. Colón-1 02/11/1996

ANEXO VI. GRAFICOS CITADOS EN EL TEXTO

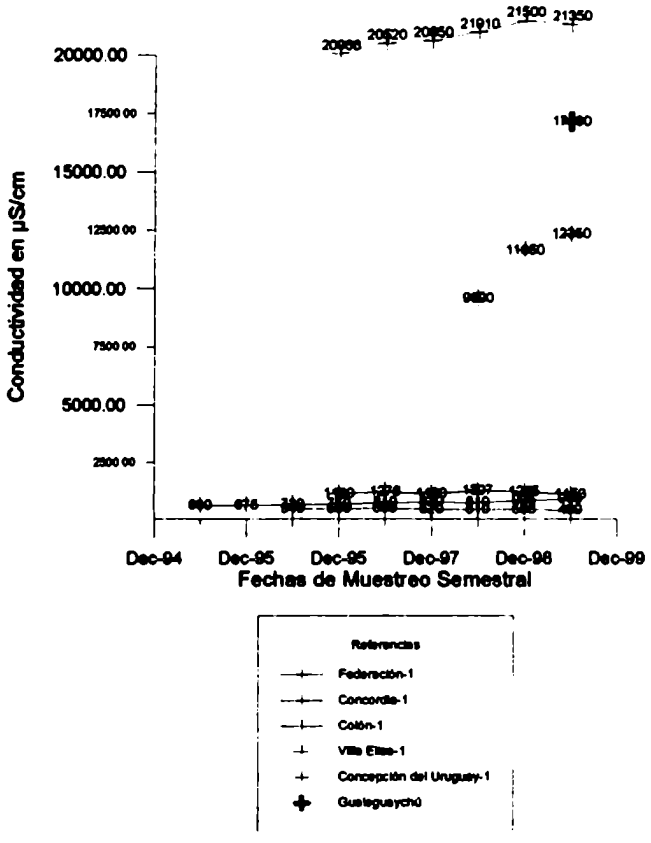
Indice

Gráfico N°1. Variación de las Conductividades en las captaciones del Sector Argentino
Gráfico N°2. Variación de las Sales Totales en las captaciones del Sector Argentino
Gráfico N°3. Variación de las Conductividades en las captaciones del Sector Uruguayo
Gráfico N°4. Variación de las sales Totales en las captaciones del Sector Uruguayo
Gráfico N°5. Gradiente geotérmico a partir de los valores de temperatura en fondo de perforación para los pozos perfilados Colón-1, Concordia-1, Federación-1 y Gualeguaychú-1
Gráfico N°6. Relación entre las temperaturas del agua en boca de pozo y el intervalo de temperaturas calculadas a partir del gradiente geotérmico para los acuíferos más importantes de cada perforación Argentina
Gráfico N°7 Variación de las Presiones de Carga y Descarga medida en boca de perforación en las captaciones del Sector Argentino.
Gráfico N°8 Variación de las Presiones de Carga y Descarga medida en boca de perforación en las captaciones del Sector Uruguayo.
Gráfico N°9. Granulometría de las unidades clasticas psemíticas (Formación Botucatú y Miembro Solari)
Gráfico N°10. Granulometría de las unidades clasticas psemíticas (Formación Botucatú y Miembro Solari)
Gráfico N°11. Curva Acumulativa en base al análisis granulométrico (Formación Botucatú y Miembro Solari)
Gráfico N°12. Curva Acumulativa en base al análisis granulométrico (Formación Botucatú y Miembro Solari)
Gráfico N°13. Variación de los niveles dinámicos (presiones de descarga) medidas a lo largo de 30 días consecutivos posteriores al ensayo escalonado en Federación-1 y Colón-1.
Gráfico N°14. Variación semanal del nivel dinámicos (presiones de descarga) en la captación Colón-1 durante el periodo Dic-1996/Sep-1997.
Gráfico N°15. Relación Descenso en función del Caudal. Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Federación-1
Gráfico N°16. Relación Descenso en función del Caudal. Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Concordia-1
Gráfico N°17. Relación Descenso en función del Caudal. Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Colón-1
Gráfico N°18. Comparación de la Relación Descenso en función del Caudal. Ensayo a Caudal Variable de las Perforaciones Ensayadas
Gráfico N°19. Descensos Reales, Teóricos y Pérdidas de Carga Totales medidas y calculadas en el Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Federación-1
Gráfico N°20. Descensos Reales, Teóricos y Pérdidas de Carga Totales medidas y calculadas en el Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Concordia-1
Gráfico N°21. Descensos Reales, Teóricos y Pérdidas de Carga Totales medidas y calculadas en el Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Colón-1
Gráfico N°22. Relación entre el Rendimiento Porcentual de cada captación a su correspondiente caudal de descarga. Eficiencia de las captaciones
Gráfico N°23. Comparación de las Perdidas de Carga Totales calculadas en los ensayos a Caudal Variable de las Perforaciones Federación-1, Concordia-1 y Colón-1
Gráfico N°24. Curvas características teóricas y reales en la perforación Federación-1
Gráfico N°25. Curvas características teóricas y reales en la perforación Concordia-1
Gráfico N°26. Curvas características teóricas y reales en la perforación Colón-1
Gráfico N°27. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la Serie 1960-1990 (Salto y San Jorge)

Gráfico N°28. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la Serie 1960-1990 (Paysandú y Rivera)
Gráfico N°29. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la serie 1960-1990 (Mercedes y Santa Isabel)
Gráfico N°30. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la serie 1960-1990 (Tacuarembó Bella Unión)
Gráfico N°31. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la serie 1960-1990 (Artigas y Young)
Gráfico N°32. Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la serie 1960-1990 (Paso de los Toros)
Gráfico N° 33. Distribución de la Concentración de Na^+ y K^+ en las Aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 34. Distribución de la Concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} en las Aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 35. Relación de la Concentración de Na^+ vs. Ca^{2+} (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 36. Relación de la Concentración de Na^+ vs. Mg^{2+} (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 37. Relación de la Concentración de Mg^{2+} vs. Ca^{2+} (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 38. Relación de la Concentración de rK/Na vs. rMg/Ca (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 39. Variación de la Relación Na/Ca vs. Distancia E-O (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 40. Relación Conductividad vs. rK/Na(Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 41. Relación de la Concentración de Na^+ vs. Ca^{2+} (Cond<10000 µS/cm)
Gráfico N° 42. Relación de la Concentración de Na^+ vs. Mg^{2+} (Cond>10000 µS/cm)
Gráfico N° 43. Relación de la Concentración de Mg^{2+} vs. Ca^{2+} (Cond<10000 µS/cm)
Gráfico N° 44. Distribución de la Concentración de Cl^- y HCO_3^- en las Aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 45. Distribución de la Concentración de SO_4^{2-} y SiO_2 en las Aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 46. Evolución de la relación rCl/HCO_3 en la dirección N-S. (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 47. Evolución de la relación rCl/HCO_3 en la dirección E-O. (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 48. Evolución de la relación rSO_4/Cl en la dirección N-S. (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 49. Evolución de la relación rSO_4/Cl en la dirección E-O. (Cond<2000 µS/cm)
Gráfico N° 50. Evolución de la relación rCl/HCO_3 en la dirección E-O. (Cond>10000 µS/cm)
Gráfico N° 51. Evolución de la relación rSO_4/Cl en la dirección E-0. (Cond>10000 µS/cm)
Gráfico N° 52. Relación de la Concentración de F^- y As^{3+} en las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 53. Relación de la Concentración de Mn y Fe en las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 54. Relación As, Mn y Fe en las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 55. Relación F, Fe y Mn en las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 56. Variación de la Relación rF/Fe vs. Distancia E-O Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 57. Relación rF/Fe vs. Profundidad del Techo del Acuífero. Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 58. Diagrama de Piper, (1953)de las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 59 y 60. Diagramas triangulares de cationes y aniones mayoritarios para las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 61. Diagrama de Schöeller, (1962) para las aguas del Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 62. Relación entre la Actividad de $CaCO_3$ (Calcita) y la Temperatura
Gráfico N° 63. Relación entre el Indice de saturación de la Calcita y la Temperatura
Gráfico N° 64. Relación entre la Actividad de las especies Ca^{2+} y CO_3^{2-}
Gráfico N° 65. Relación entre el Indice de saturación de la Aragonita y la Temperatura
Gráfico N° 66. Relación entre la Actividad del SiO_2 (Calcedonia) con la Temperatura
Gráfico N° 67. Relación entre el Indice de saturación del SiO_2 y la Temperatura
Gráfico N° 68. Relación entre la Actividad del SiO_2 (Cuarzo) con la Temperatura

Gráfico N° 69. Relación entre el Indice de saturación del SiO_2 con la Temperatura
Gráfico N° 70. Relación entre la Actividad de la Siderita con la Temperatura
Gráfico N° 71. Relación entre el Indice de saturación (Siderita) con la Temperatura
Gráfico N° 72. clasificación de los Acuíferos de la Sección Suprabasaltica del Area de Estudio. Diagrama de Piper, (1953)
Gráfico N° 73. Diagrama Triangular de las Especies Aniónicas de los Acuíferos de la Sección Suprabasaltica del Area de Estudio
Gráfico N° 74. Diagrama Triangular de las Especies Catiónicas de los Acuíferos de la Sección Suprabasaltica del Area de Estudio
Gráfico N° 75. Relación de la Concentración de SiO_2 con la temperatura en boca de pozo. Sistema Acuífero Termal
Gráfico N° 76. Relación de la Concentración de Sílice la Temperatura y las Curvas d equilibrio de sus variedades cristalinas. Sistema Acuífero Termal (Fournier, 1977)
Gráfico N° 77. Geotermómetros Cualitativos considerando la relación de Na^+, K^+ y Mg^{2+}
Gráfico N° 78. Relación entre F^-, SO_4^{2-} y $HCO3^-$, utilizada frecuentemente como Geotermómetros Cualitativo.
Gráfico N° 79.Geotermómetro de Griggenbach, (1983) relación Na/Mg vs. Temperatura.
Gráfico N° 80. Reservas Totales del Sistema Acuífero Termal. Sectores Argentino y Uruguayo.
Gráfico N° 81. Reservas Totales del Sistema Acuífero Termal. Zonas Hidroquímicas
Gráfico N° 82. Reservas Totales del Sistema Acuífero Termal. Zonas Hidroquímicas por países.

Variación de las Conductividades en las Captaciones del Sector Argentino



Variación de las Conductividades en las Captaciones del Sector Argentino con aguas inferiores a los 2000 µS/cm

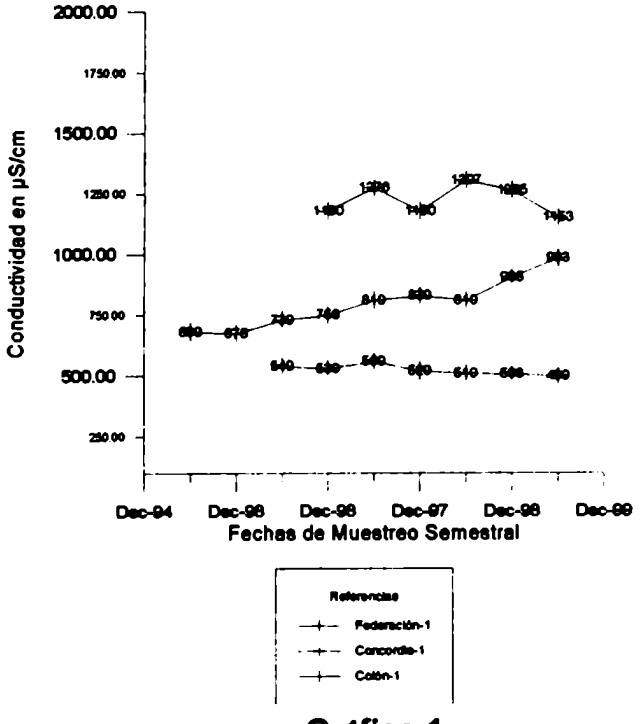
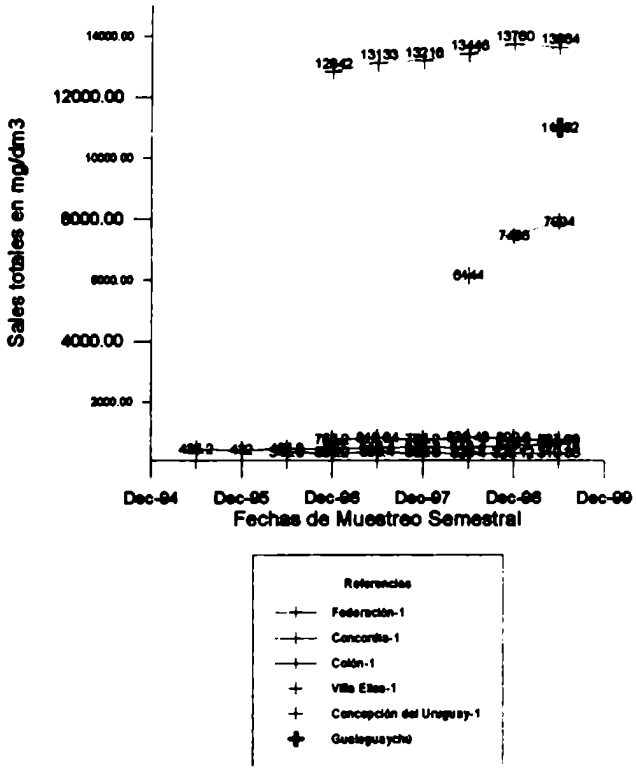


Gráfico 1

Variación de las Sales Totales en las Captaciones del Sector Argentino



Variación de las Sales Totales en las Captaciones del Sector Argentino con aguas inferiores a los 1000 mg/dm3

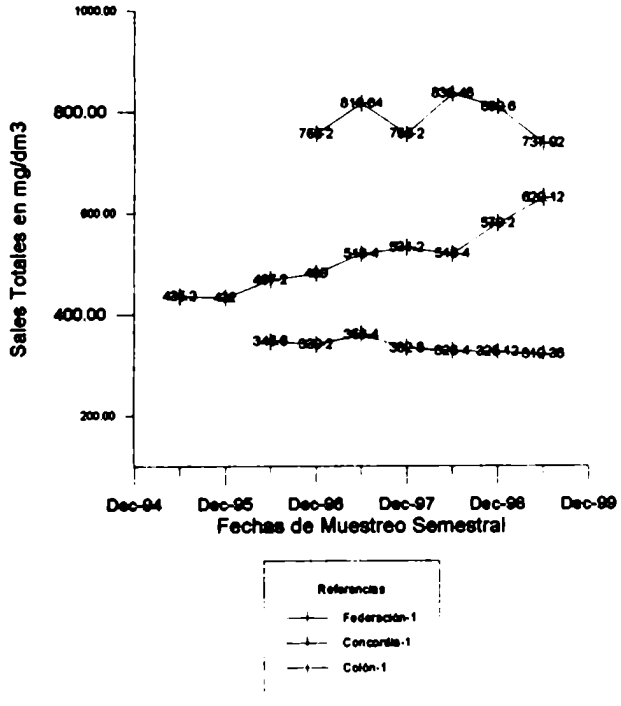
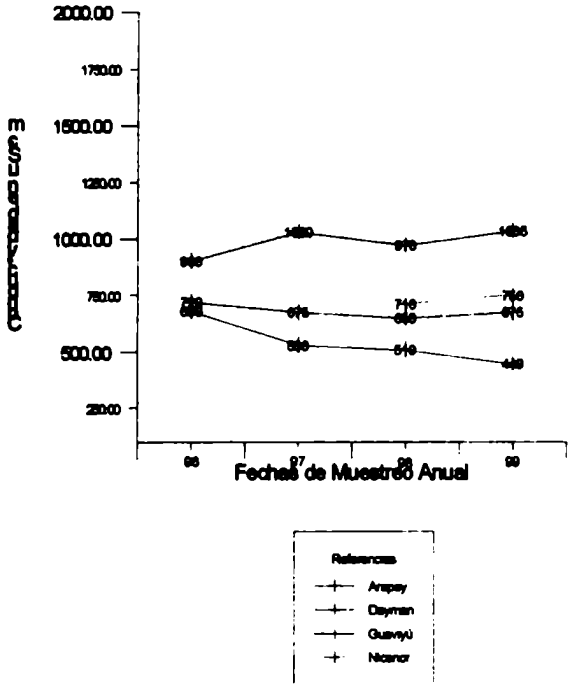


Gráfico 2

Variación de las Conductividades en las Captaciones del Sector Uruguayo



Variación de las Conductividades en las Captaciones del Sector Argentino

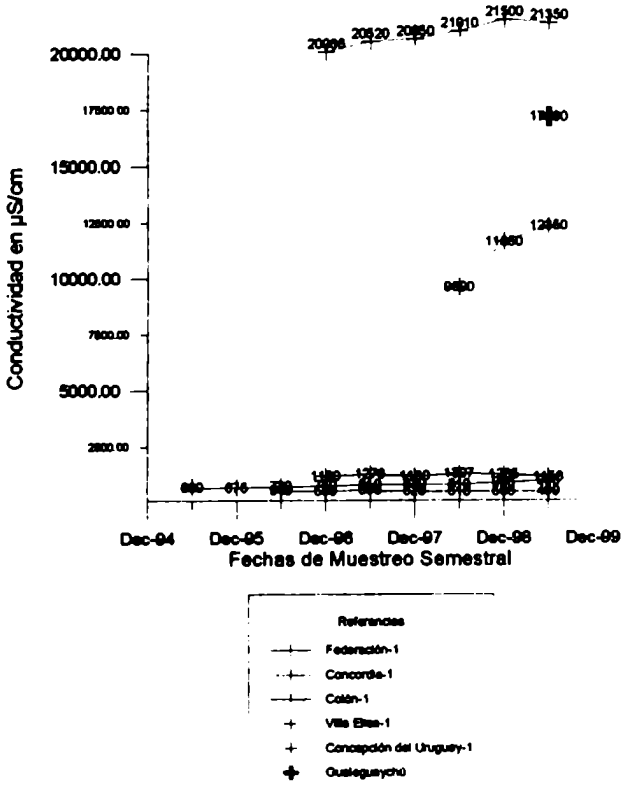
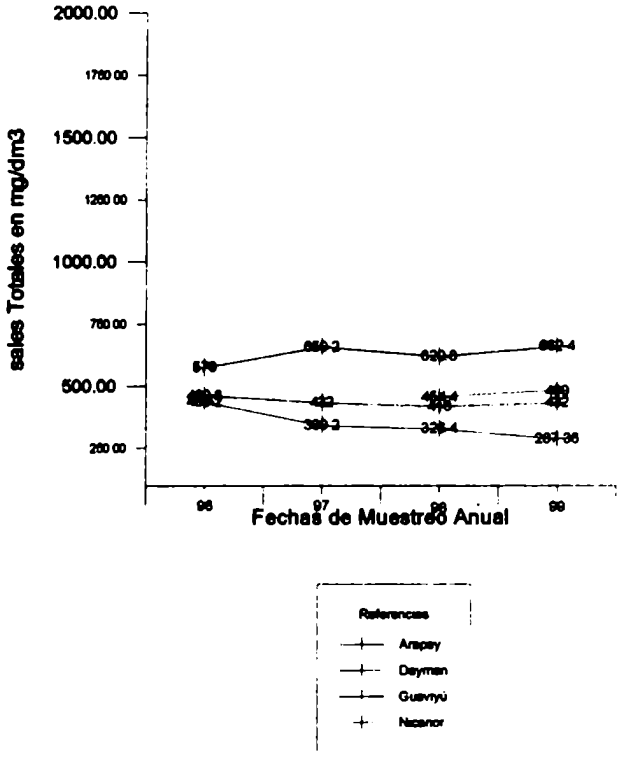


Gráfico 3

Variación de las Sales Totales en las Captaciones del Sector Uruguayo



Variación de las Sales Totales en las Captaciones del Sector Argentino

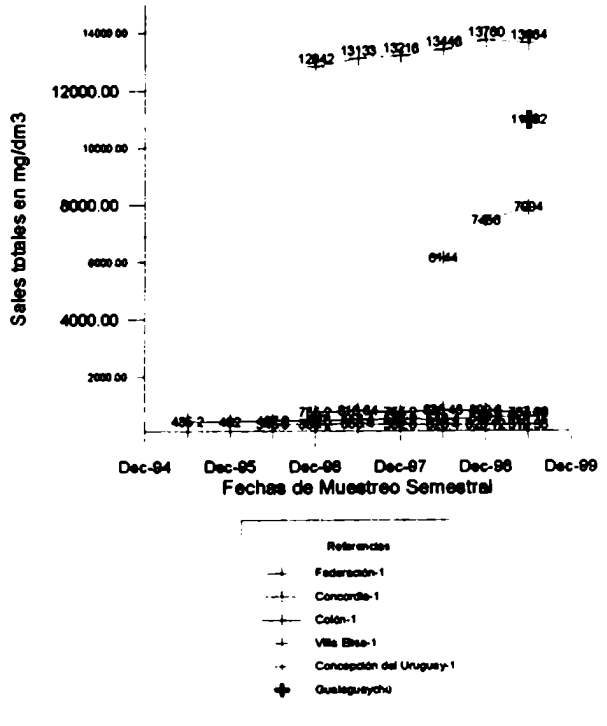


Gráfico 4

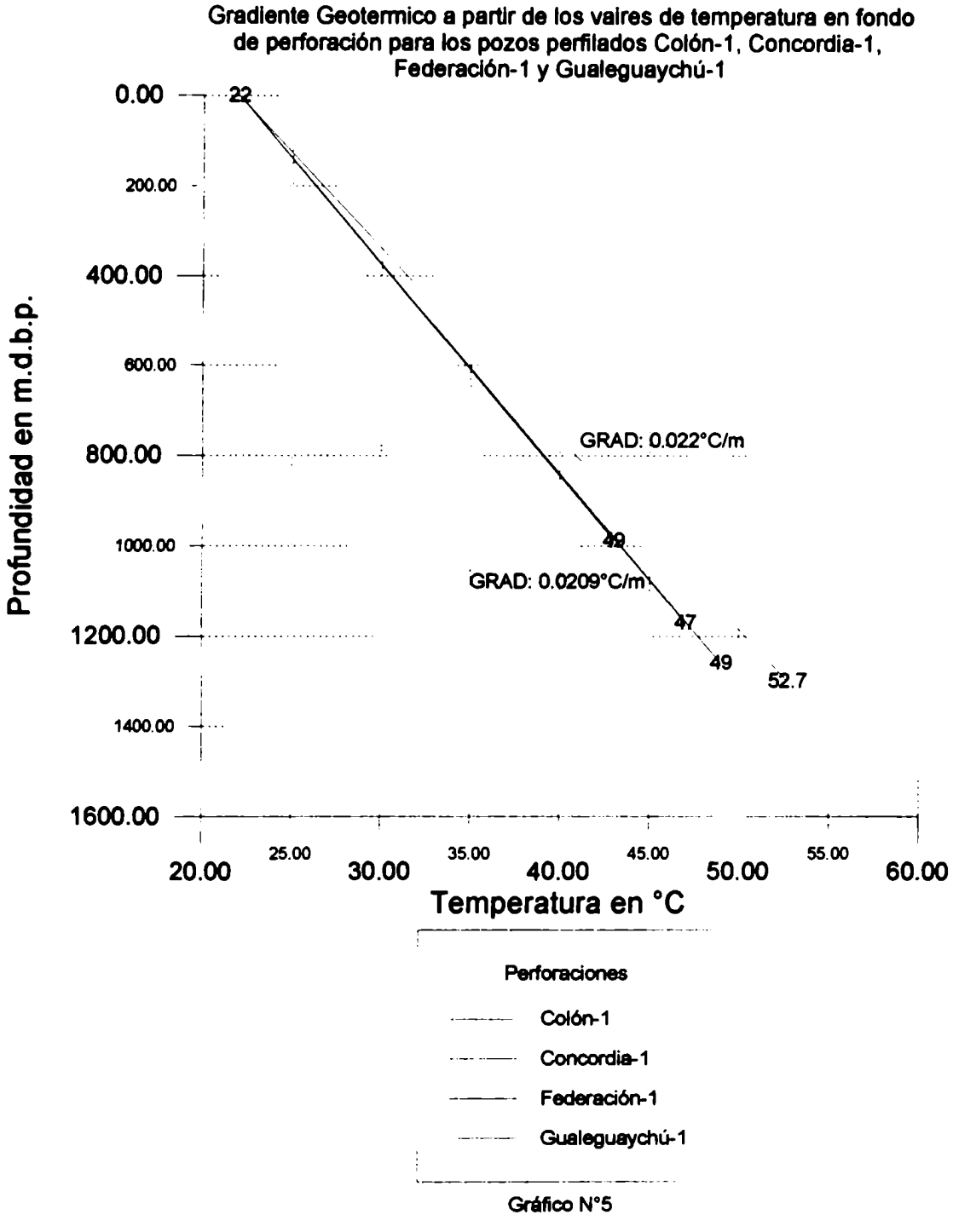

Gradiente Geotermico a partir de los vaires de temperatura en fondo de perforación para los pozos perfilados Colón-1, Concordia-1, Federación-1 y Gualeguaychú-1
Profundidad en m.d.b.p.
0.00
200.00
400.00
600.00
800.00
1000.00
1200.00
1400.00
1600.00
22
GRAD: 0.022°C/m
49
GRAD: 0.0209°C/m
47
49
52.7
20.00
25.00
30.00
35.00
40.00
45.00
50.00
55.00
60.00
Temperatura en °C
Perforaciones
Colón-1
Concordia-1
Federación-1
Gualeguaychú-1

Gráfico N°5

Relación entre las temperaturas del agua en boca de pozo y el intervalo de temperaturas calculadas a partir del gradiente geotermico para los acuíferos más importantes en cada perforación Argentina

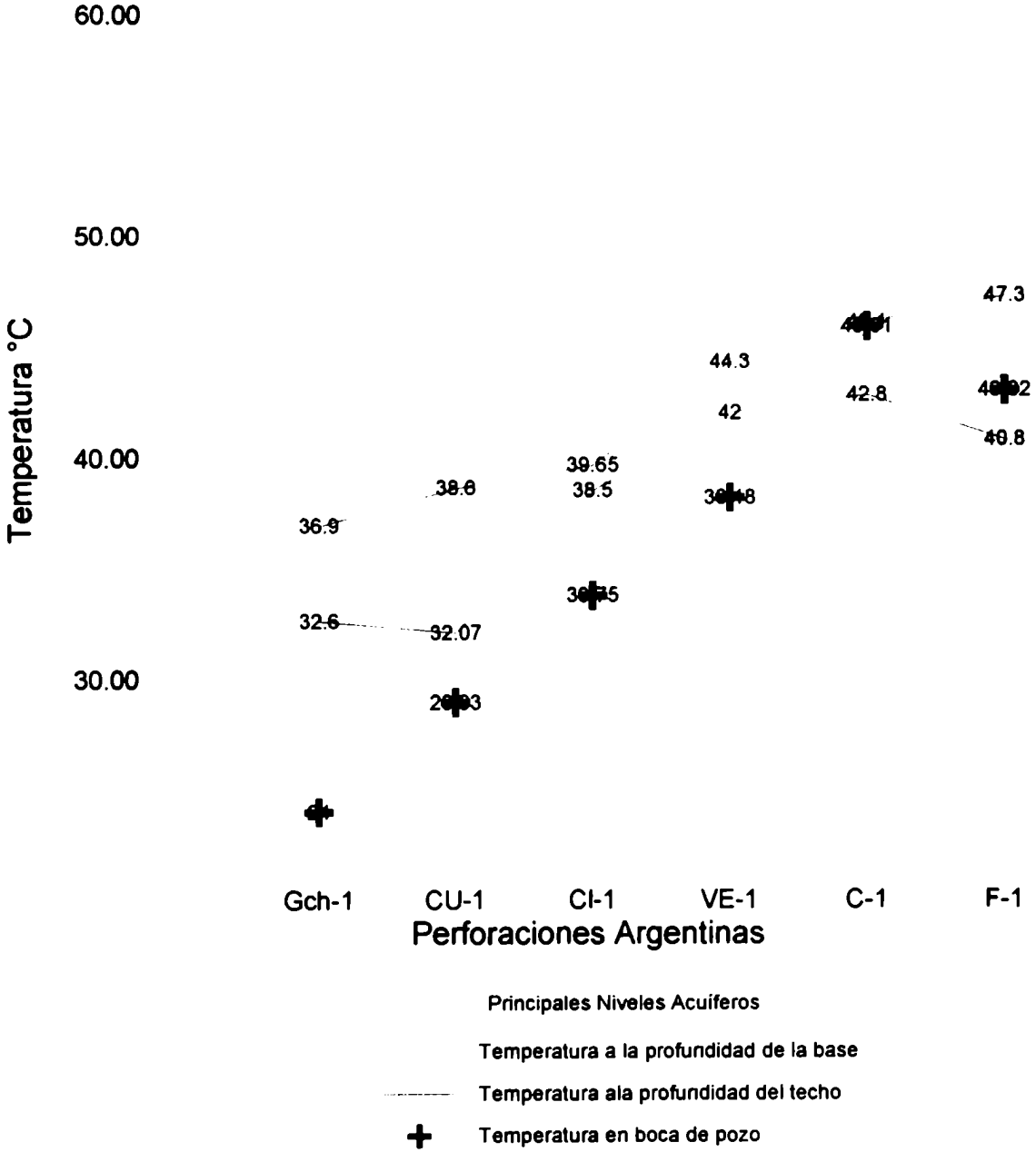


Gráfico N°6

Variación de las Presiones de Carga y Descarga medida en boca de perforación en las Captaciones del Sector Argentino

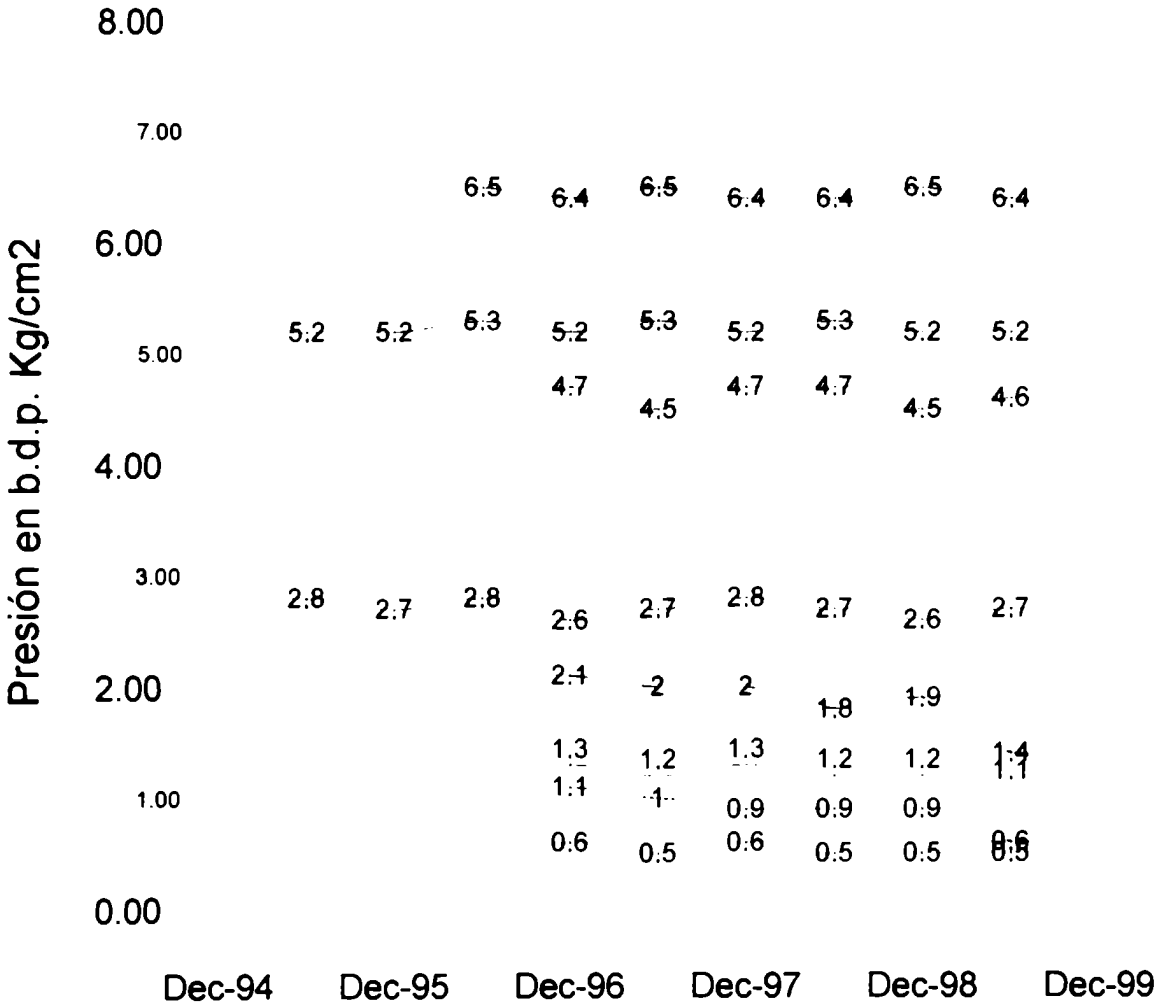


Gráfico N°7

Variación de Presiones de carga y descarga (caudales surgente medio)

- Federación-1
- Concordia-1
- Colón-1
- Villa Elisa-1
- Federación-1 (300m3/h)
- Concordia-1 (272 m3/h)
- Colón-1 (144 m3/h)
- Villa Elisa-1 (50 m3/h)

Variación de la Presión de Carga

Varaición de la Presión de Descarga o Surgencia

Valores Medios (kg/cm2)

Federación-1: Pd: 5.23
Pc: 2.71
Concordia-1: Pd: 6.4
Pc: 4.62
Colón-1: Pd: 1.86
Pd: 0.89
Villa Elisa:-1 Pd: 1.21
Pc: 0.53

Variación de las Presiones de Carga y Descarga medida en boca de perforación en las Captaciones del Sector Uruguayo

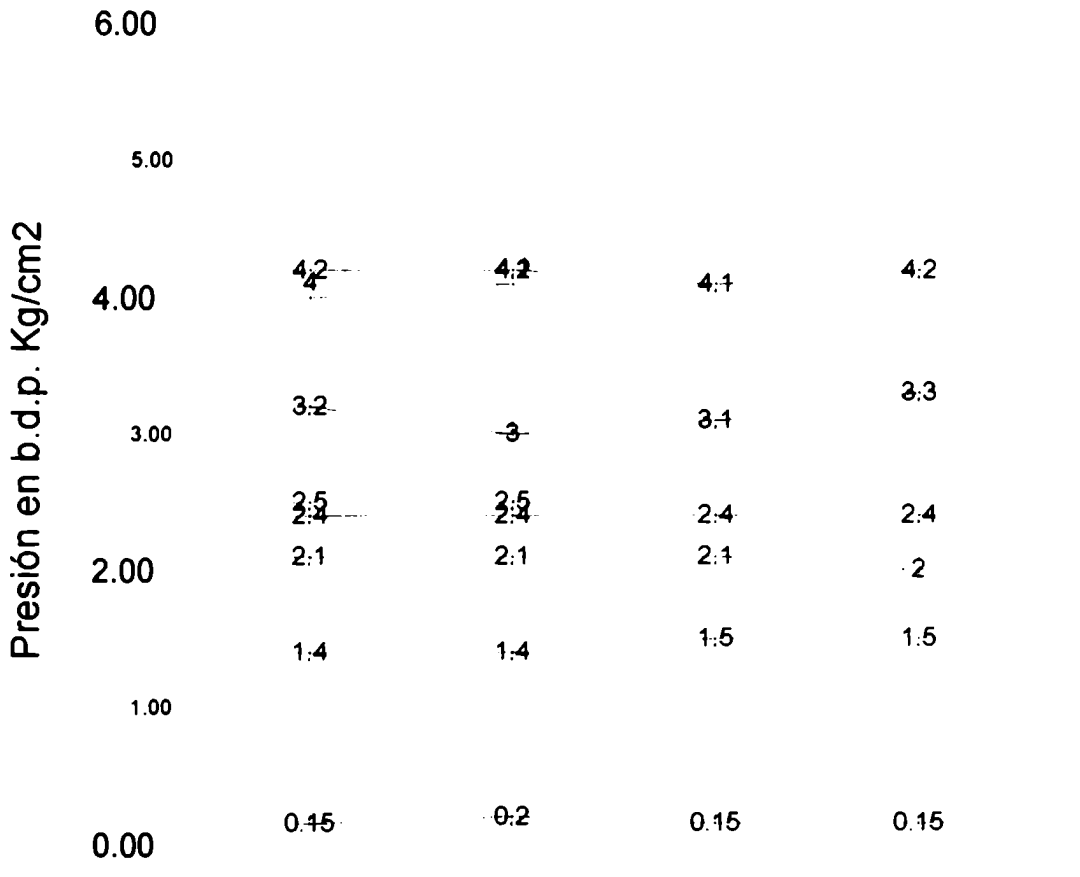


Gráfico N°8

Referencias

Arapey
Daynán
Gauviyú
Nicanor
Arapey
Daymán
Gauviyú
Nicanor

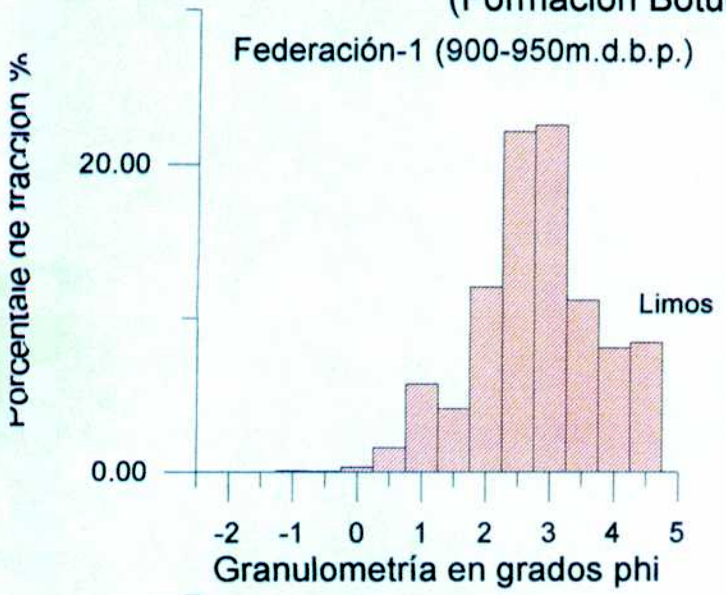
Variación de la Presión de Carga

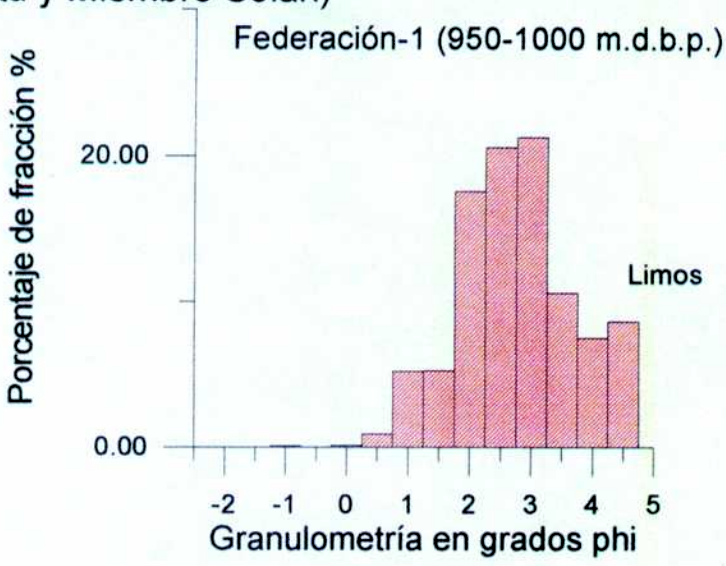
Varaición de la Presión de Descarga o Surgencia

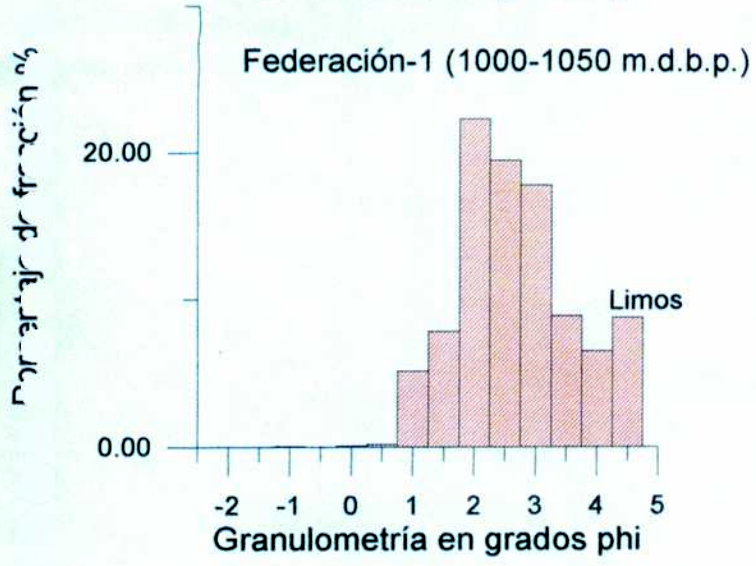
Valores Medios (kg/cm2)

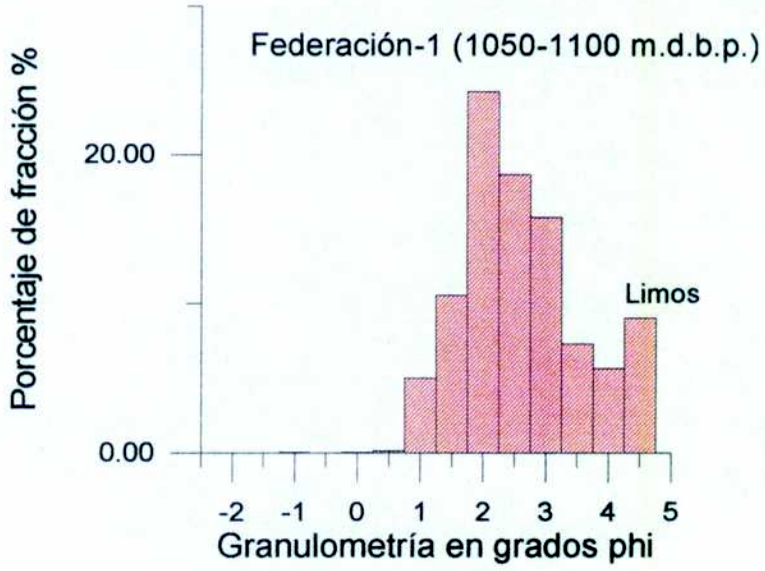
Arapey: 4.17 2.07
Daymán: 3.15 1.45
Gauviyú: 2.4 0.16
Nicanor: 4.05 2.5

Granulometría de las unidades clasticas psemíticas (Formación Botucatú y Miembro Solari)









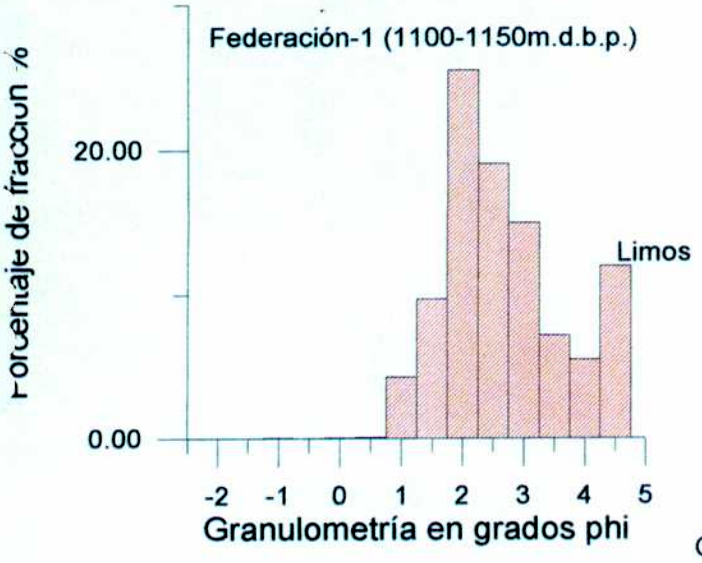


Grafico N°9

Granulometría de las unidades clasticas psemíticas (Formación Botucatú y Miembro Solari)

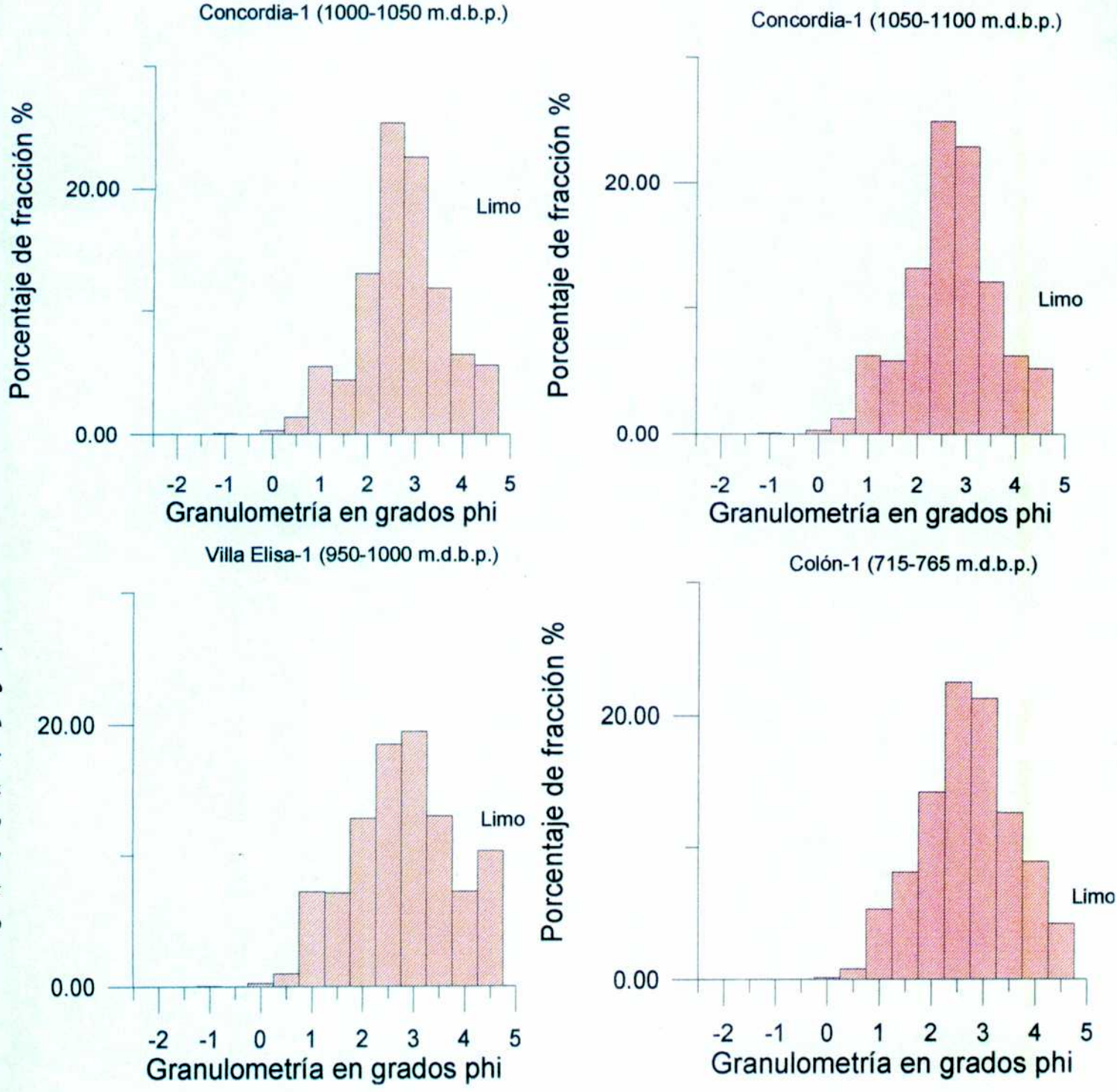


Gráfico N°10

Curvas Acumulativas en base al análisis granulométrico (Formación Botucatú y Miembro Solari)

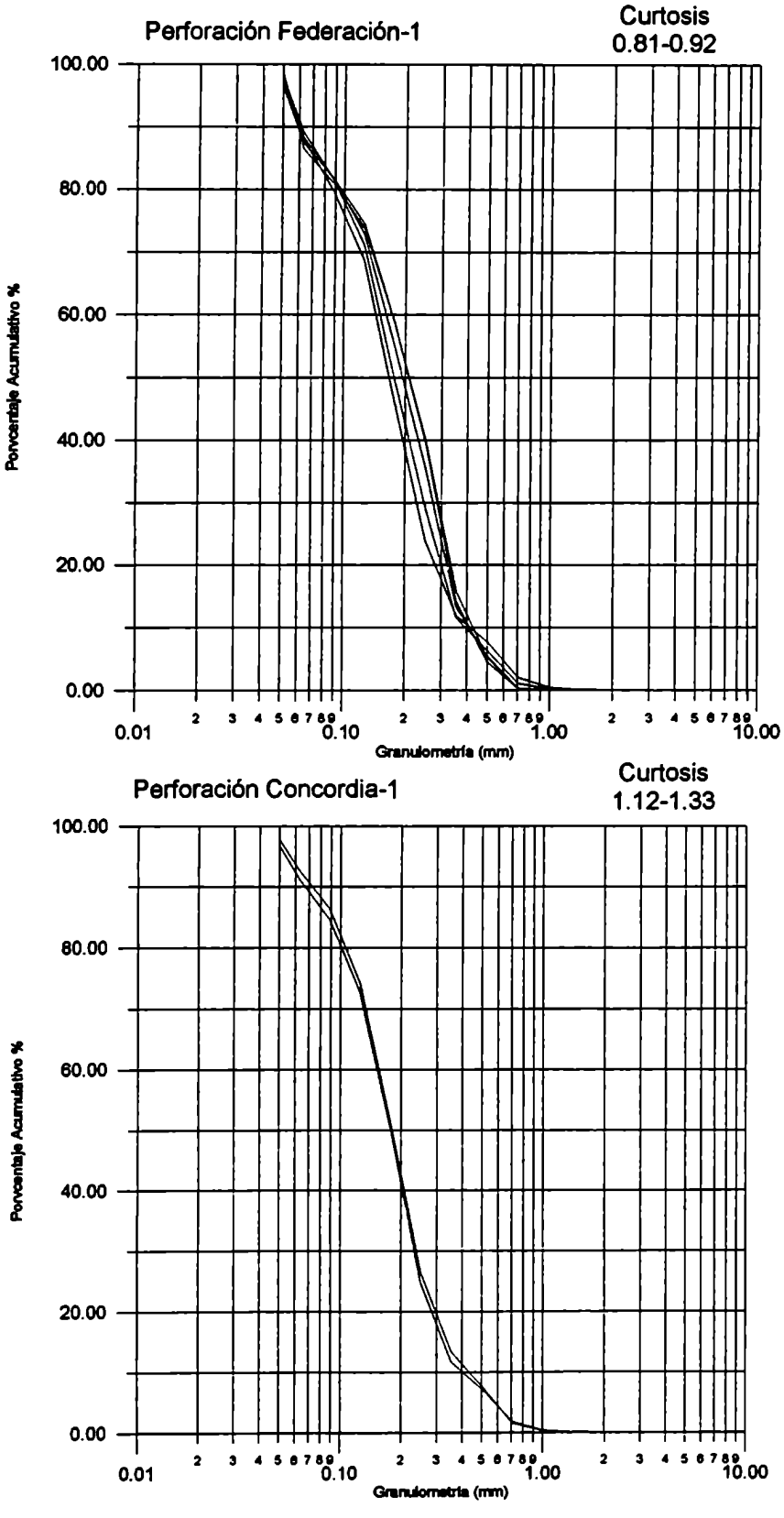


Gráfico N°11

Curvas Acumulativas en base al análisis granulométrico (Formación Botucatú y Miembro Solari)

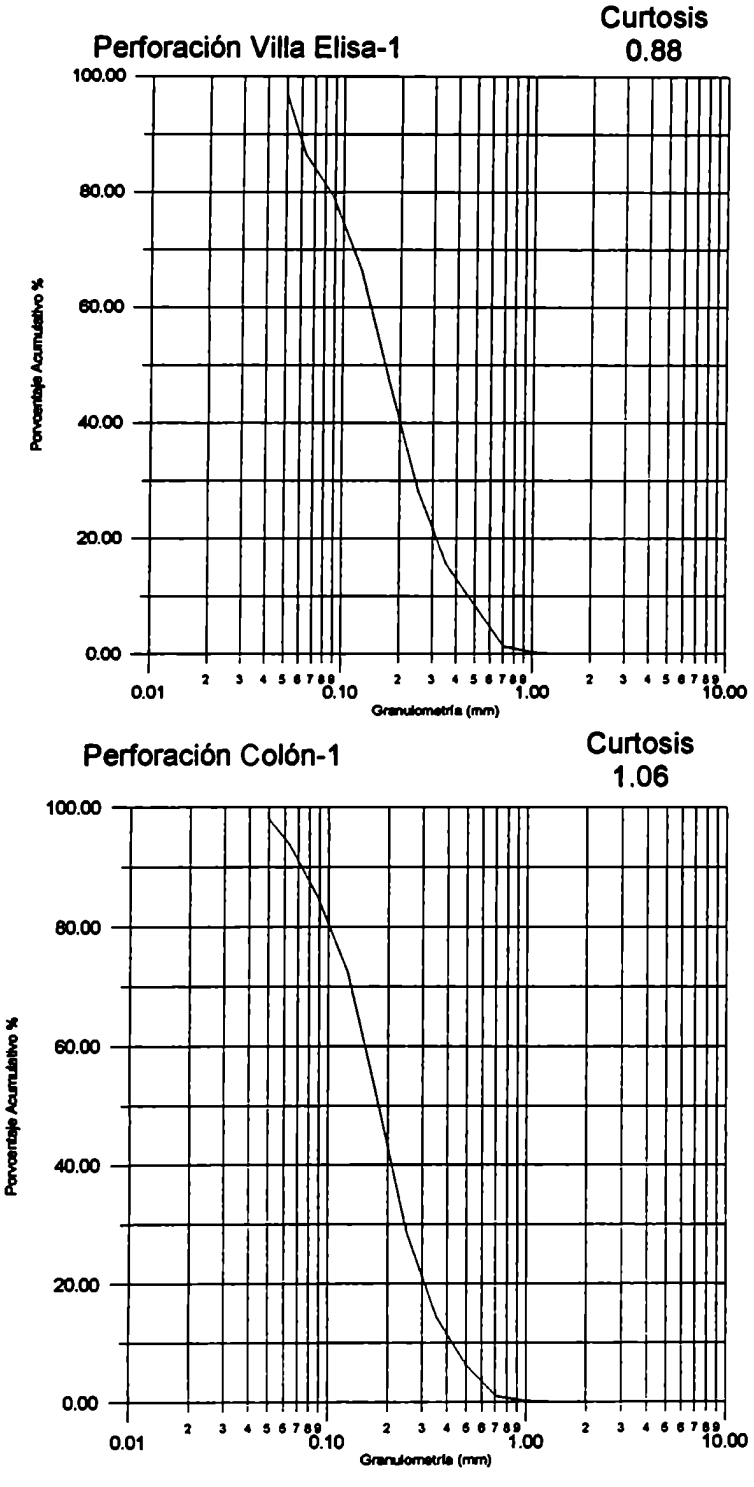
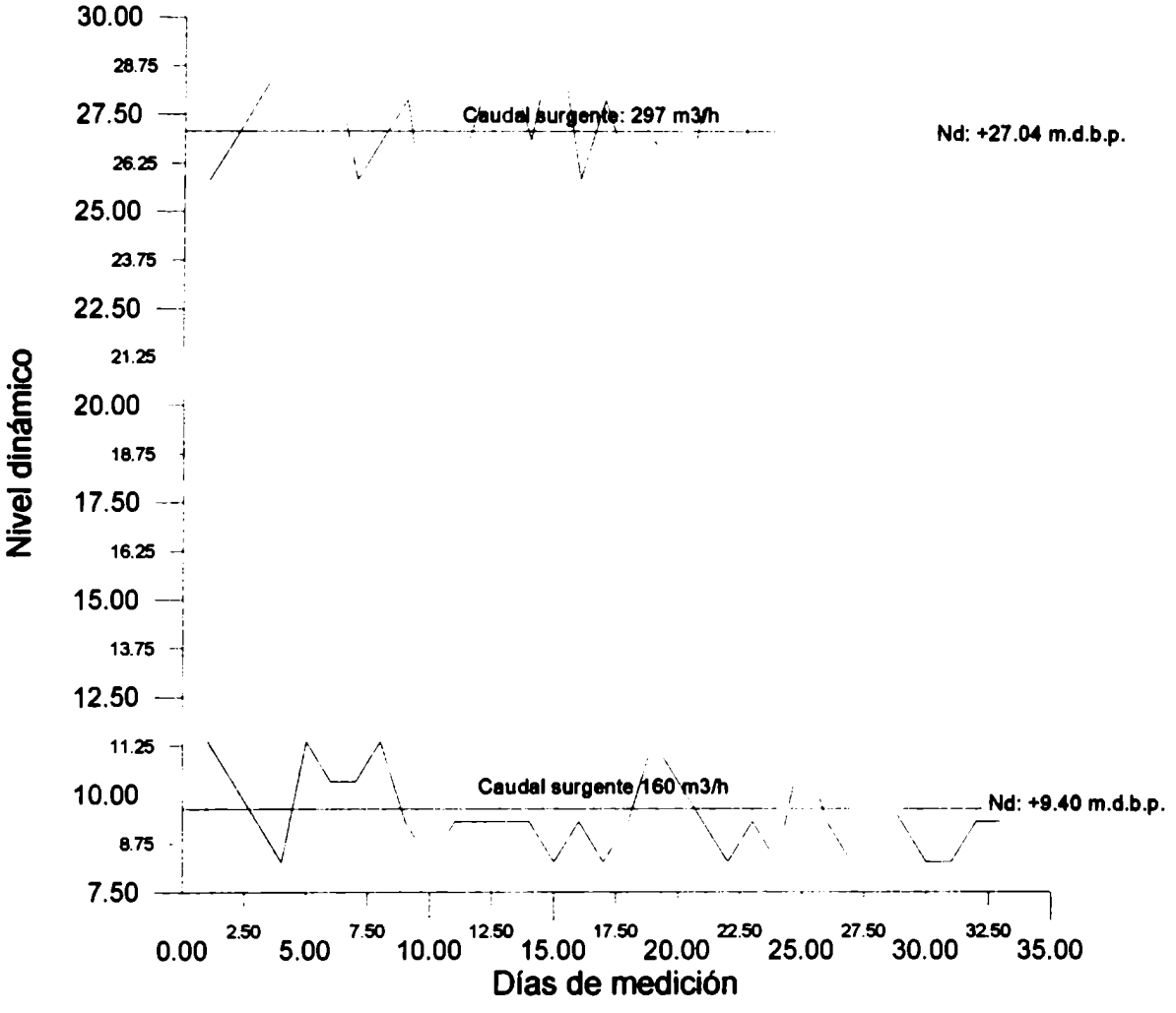


Gráfico N°12

Variación de los niveles dinámicos (presiones de descarga) medidos a lo largo de 30 días consecutivos posteriores al ensayo escalonado



Niveles Dinámicos medios en m.d.b.p.

——— Federación-1 (Acuífero Botucatú)

——— Colón-1 (Acuífero Solari)

Perforación Federación -1 a 297 m3/h
Nivel dinámico medio: +27.04 m.d.b.p.
SD: 1.54 m

Perforación Colón-1 a 160 m3/h
Nivel dinámico medio: +9.40 m.d.b.p.
SD: 1.033 m

Gráfico N°13

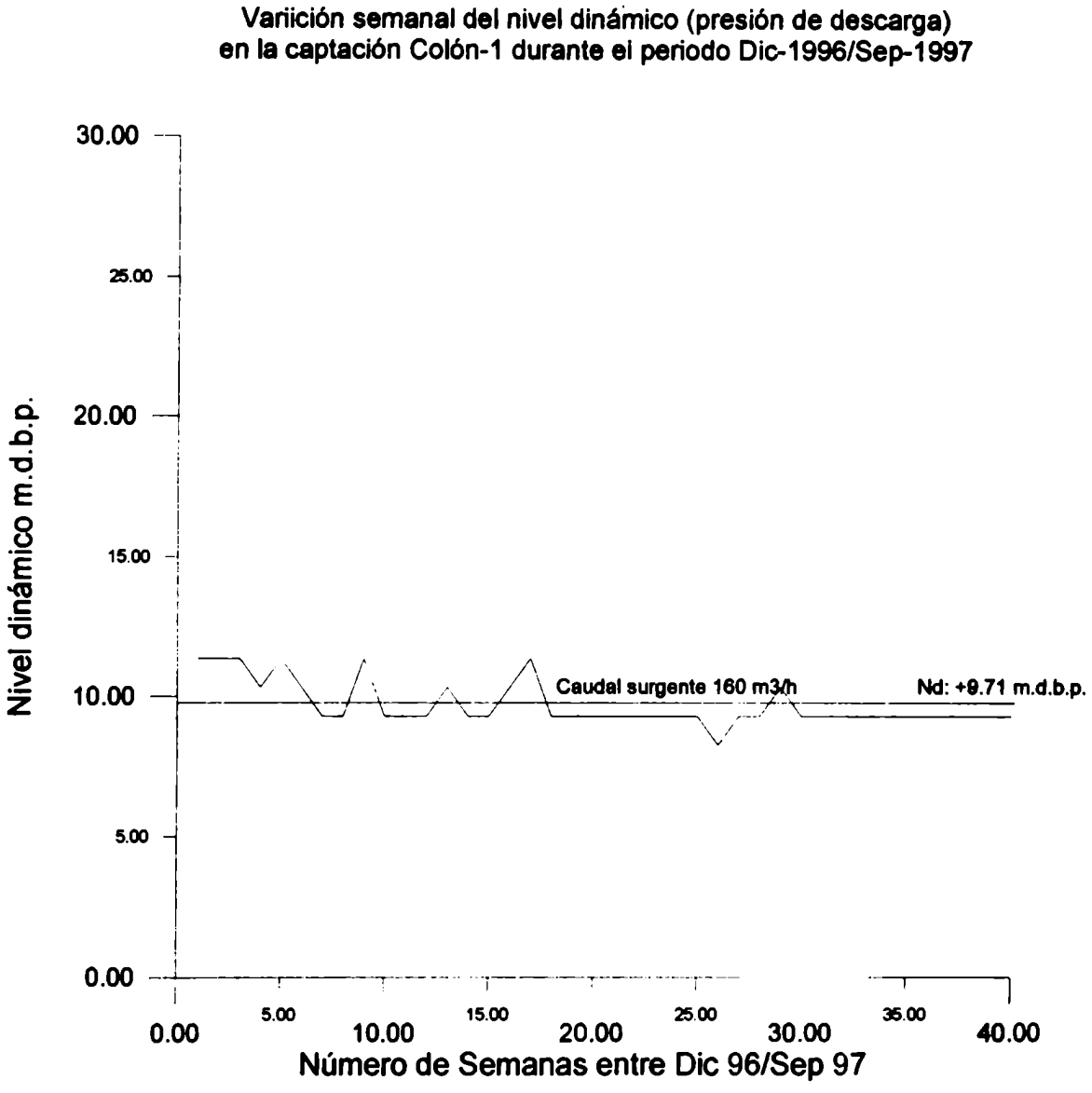
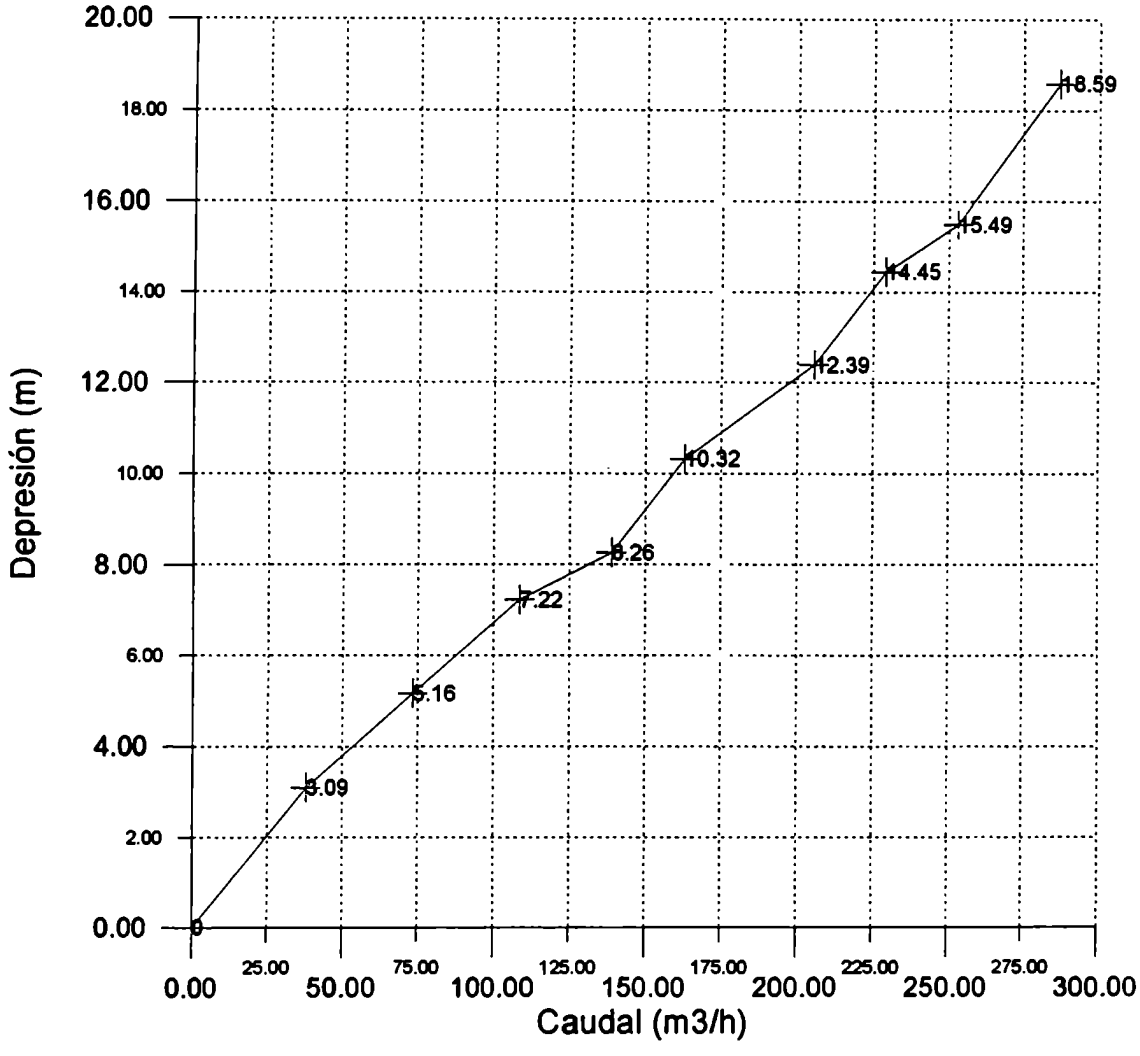

Variición semanal del nivel dinámico (presión de descarga)
en la captación Colón-1 durante el periodo Dic-1996/Sep-1997
Nivel dinámico m.d.b.p.
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
Caudal surgente 160 m3/h
Nd: +9.71 m.d.b.p.
0.00
5.00
10.00
15.00
20.00
25.00
30.00
35.00
40.00
Número de Semanas entre Dic 96/Sep 97
Nivle dinámico medio
Colón-1 (Acuífero Solari)
Caudal surgente 160 m3/h
Nivel dinámico medio: +9,71 m.d.b.p.
SD: 0.8m

Gráfico N°14

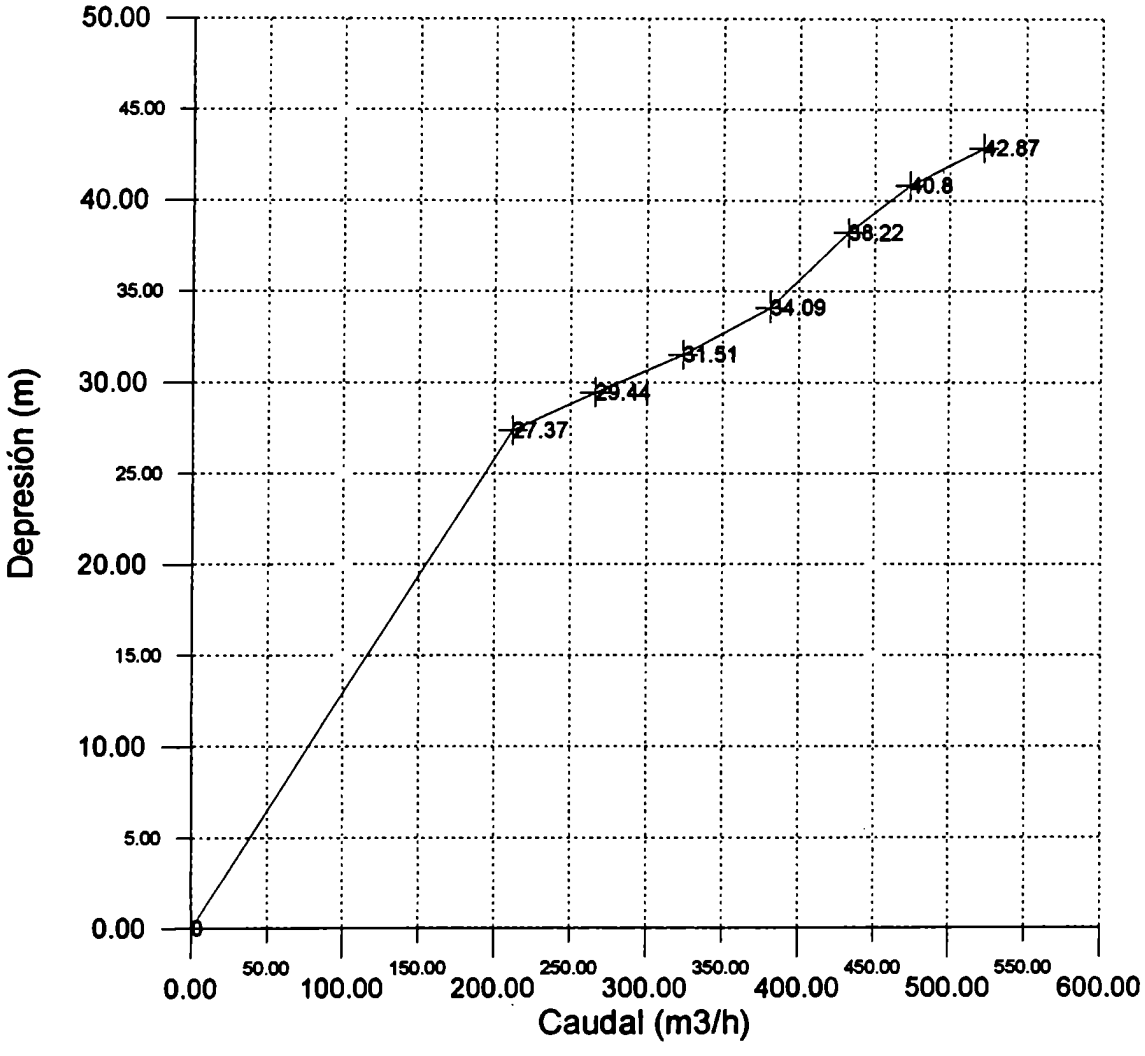
Variación del Descenso en función del Caudal
Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Federación-1



Acuífero Botucatú

Gráfico N°15

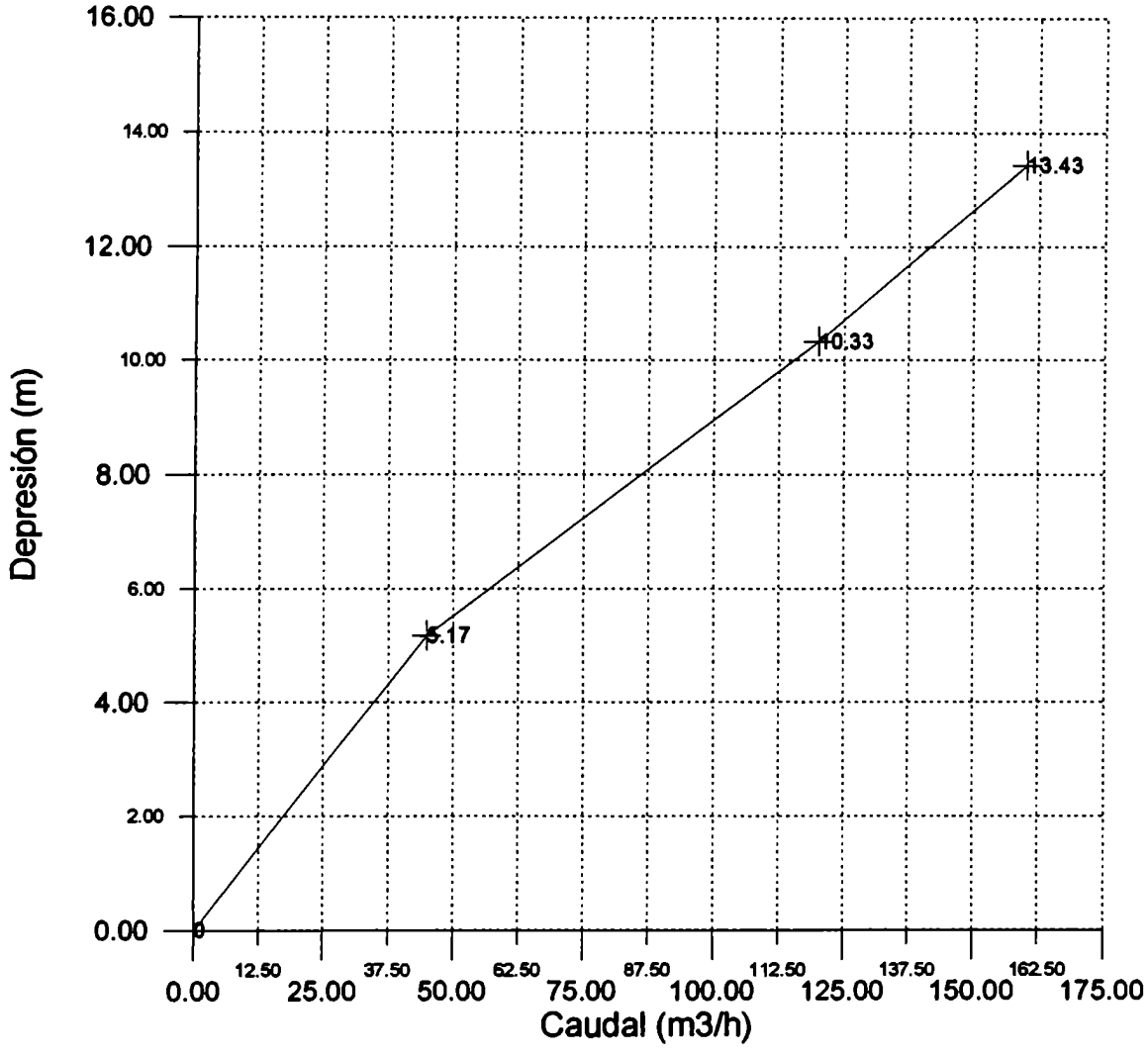
Variación del Descenso en función del Caudal
Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Concordia-1



Acuífero Botucatú

Gráfico N°16

Variación del Descenso en función del Caudal
Ensayo a Caudal Variable de la Perforación Colón-1



Acuífero Solari

Gráfico N°17

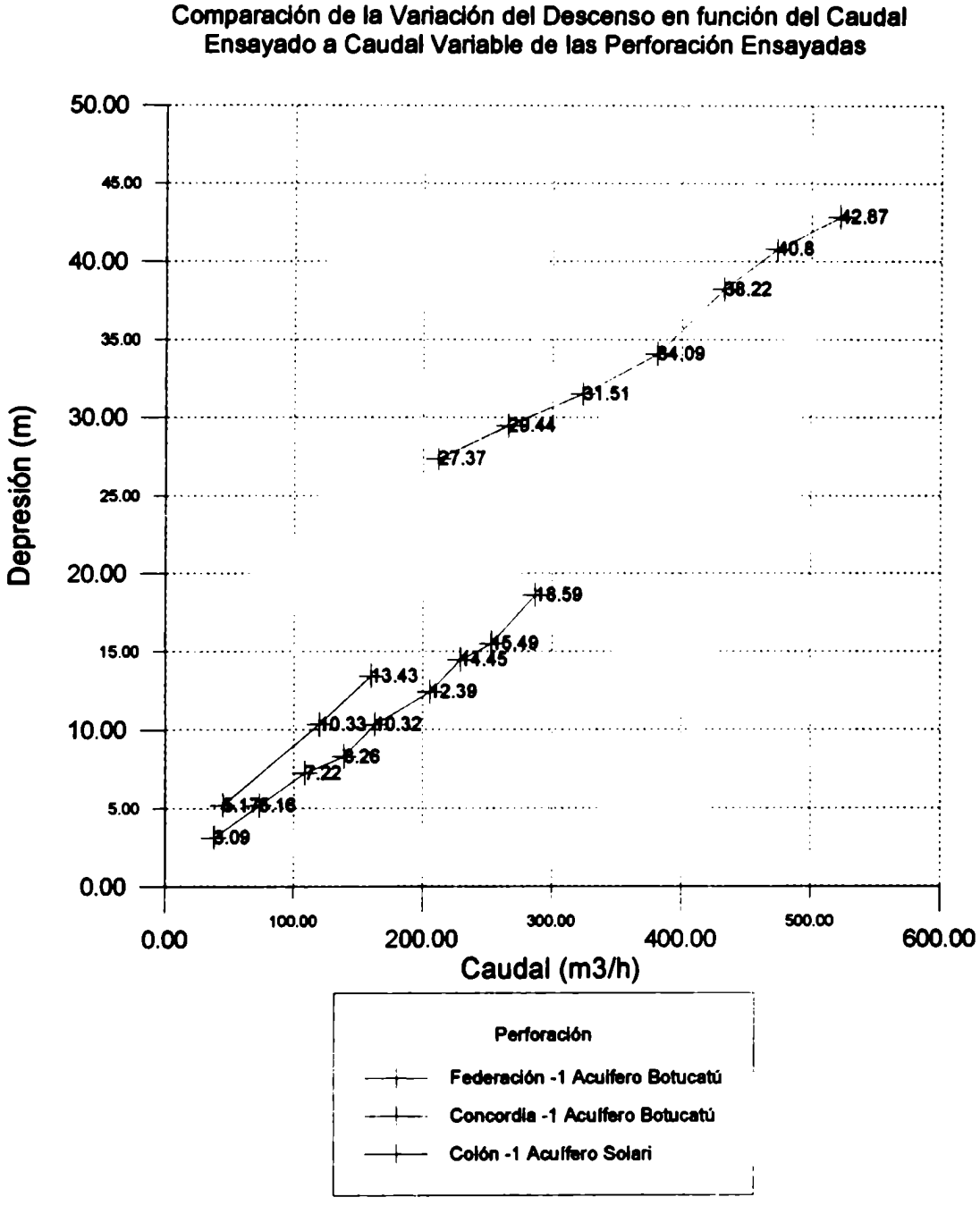

Comparación de la Variación del Descenso en función del Caudal
Ensayado a Caudal Variable de las Perforación Ensayadas
Depresión (m)
50.00
45.00
40.00
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
0.00
100.00
200.00
300.00
400.00
500.00
600.00
Caudal (m3/h)
42.87
40.8
38.22
34.09
31.51
29.44
27.37
18.59
15.49
14.45
13.43
12.39
10.33
10.32
9.26
7.22
5.18
5.09
Perforación
Federación -1 Acuífero Botucatú
Concordia -1 Acuífero Botucatú
Colón -1 Acuífero Solari

Gráfico N°18

Descensos Reales, Teóricos y Perdidas de Carga totales medidos y calculados en el ensayo a caudal variable de la Perforación Federación-1

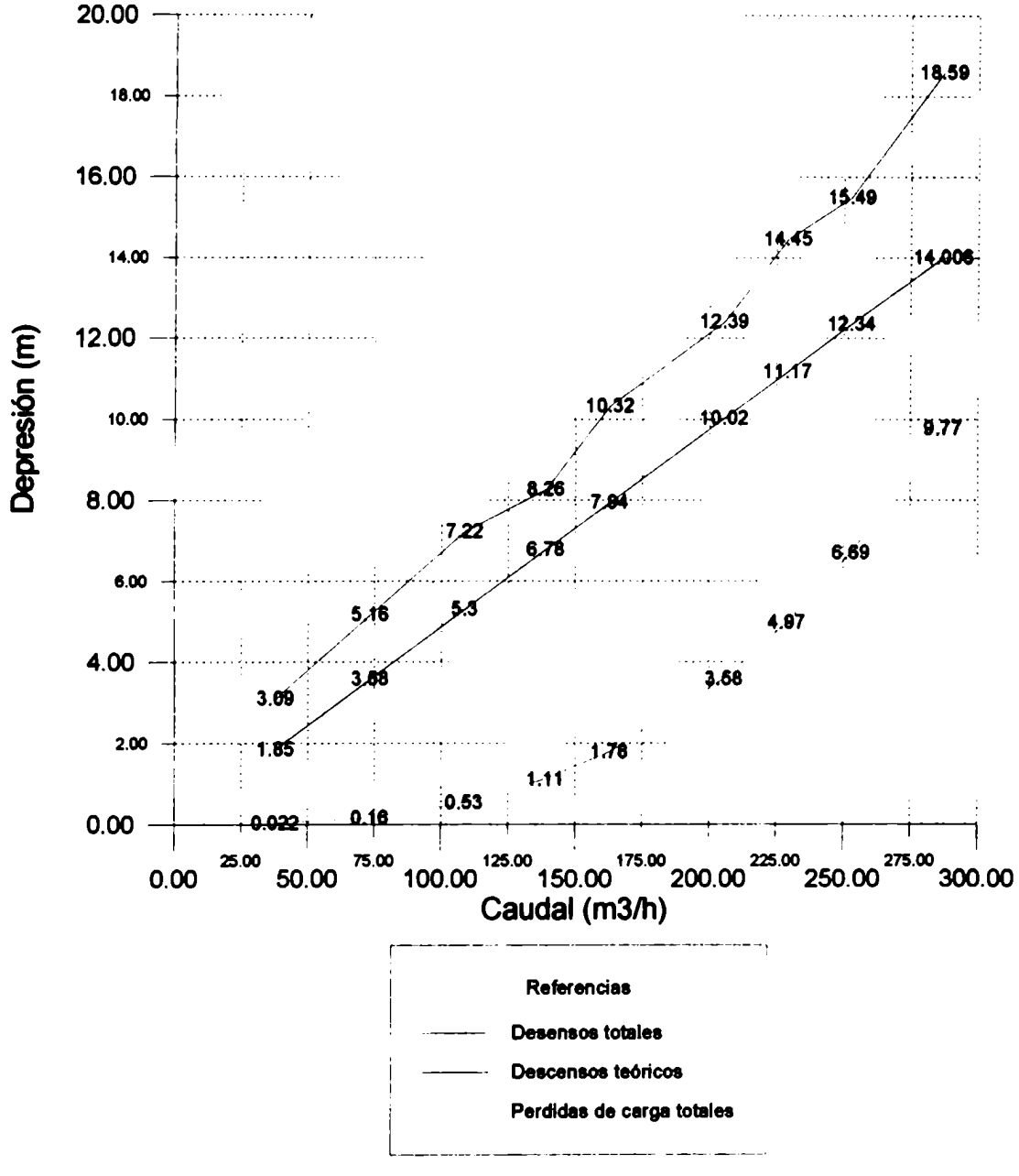


Gráfico N°19

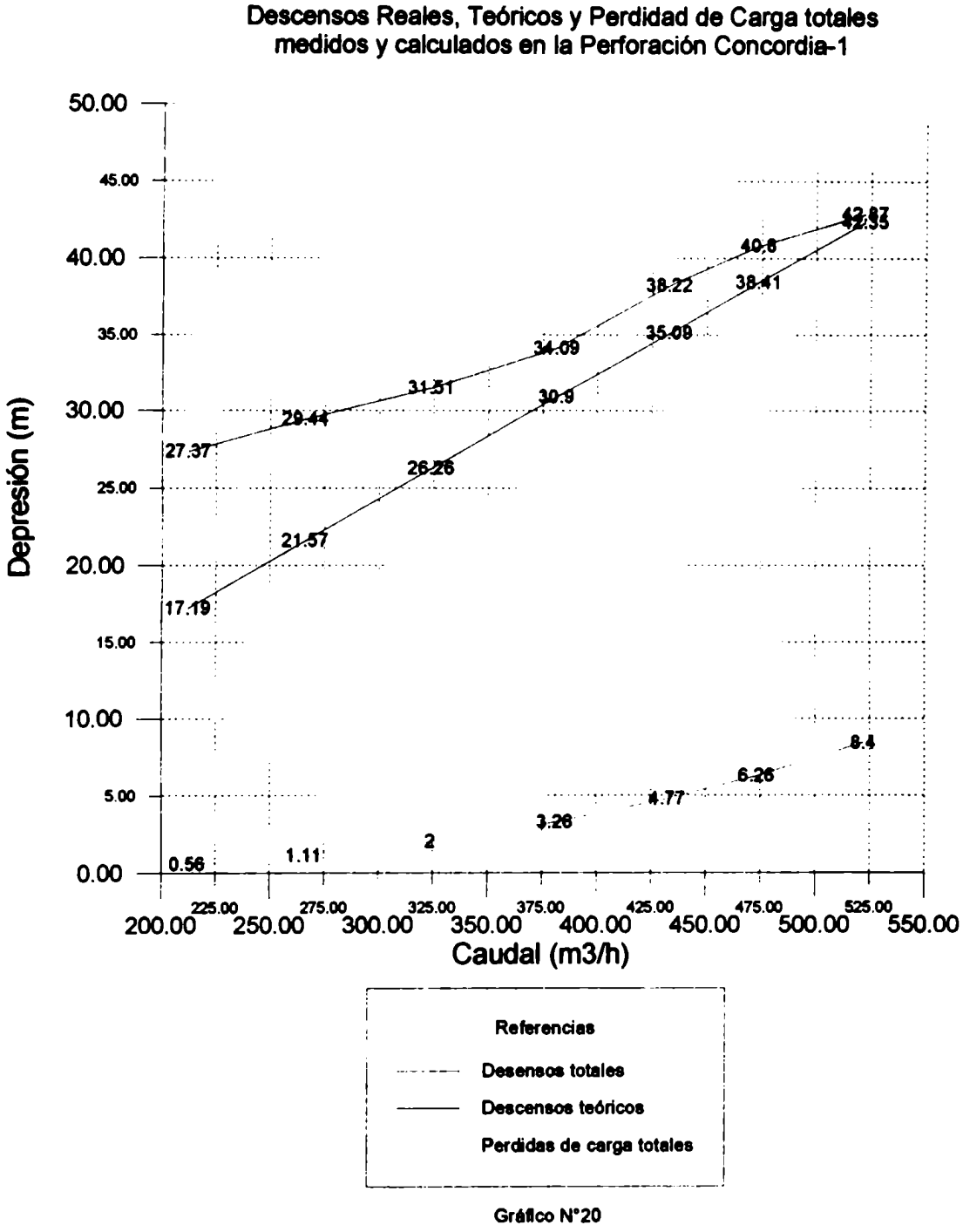

Descensos Reales, Teóricos y Perdidad de Carga totales
medidos y calculados en la Perforación Concordia-1
Depresión (m)
50.00
45.00
40.00
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
27.37
29.44
31.51
34.09
38.22
40.6
42.87
17.19
21.57
26.26
30.9
35.09
38.41
42.55
0.56
1.11
2
3.26
4.77
6.26
8.4
200.00
225.00
250.00
275.00
300.00
325.00
350.00
375.00
400.00
425.00
450.00
475.00
500.00
525.00
550.00
Caudal (m3/h)
Referencias
Desensos totales
Descensos teóricos
Perdidas de carga totales

Gráfico N°20

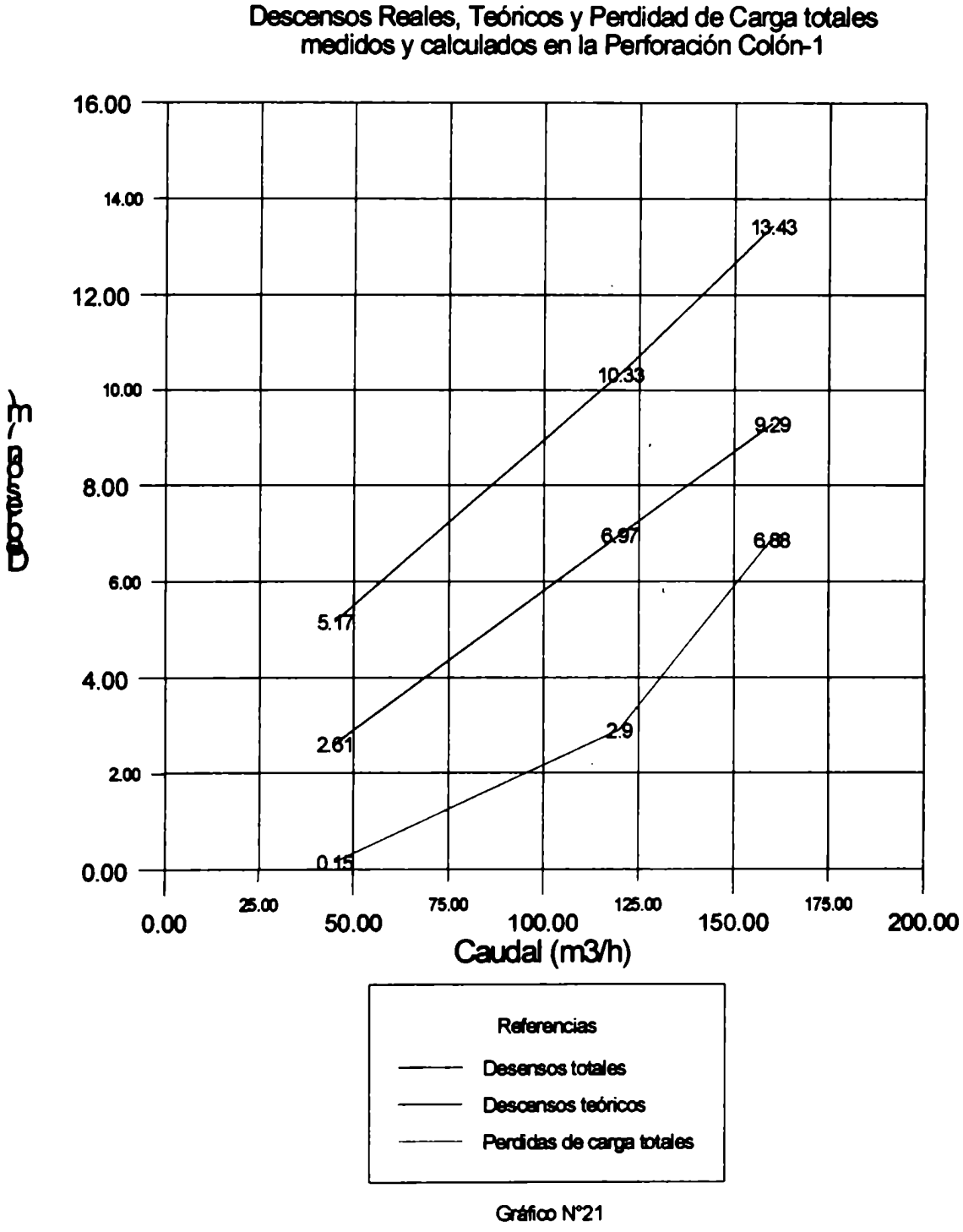

Descensos Reales, Teóricos y Perdidad de Carga totales
medidos y calculados en la Perforación Colón-1
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
0.00
25.00
50.00
75.00
100.00
125.00
150.00
175.00
200.00
Caudal (m3/h)
13.43
10.33
9.29
6.97
6.88
5.17
2.61
2.9
0.15
Referencias
Desensos totales
Descansos teóricos
Perdidas de carga totales

Gráfico N°21

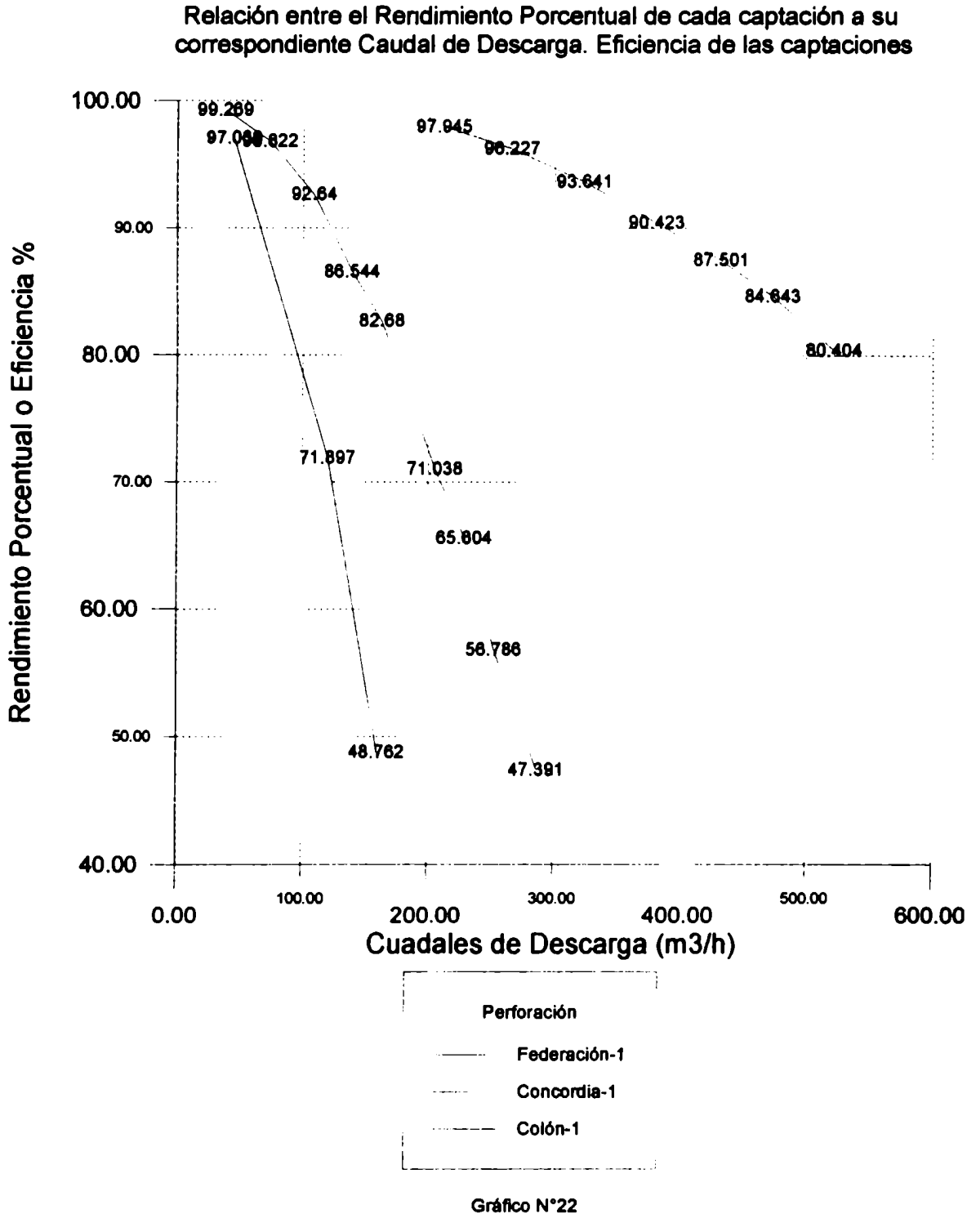

Relación entre el Rendimiento Porcentual de cada captación a su correspondiente Caudal de Descarga. Eficiencia de las captaciones
Rendimiento Porcentual o Eficiencia %
100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
99.269
97.945
96.227
93.641
92.64
90.423
87.501
86.544
84.643
82.68
80.404
71.897
71.038
65.804
58.786
48.762
47.391
0.00
100.00
200.00
300.00
400.00
500.00
600.00
Cuadales de Descarga (m3/h)
Perforación
Federación-1
Concordia-1
Colón-1

Gráfico N°22

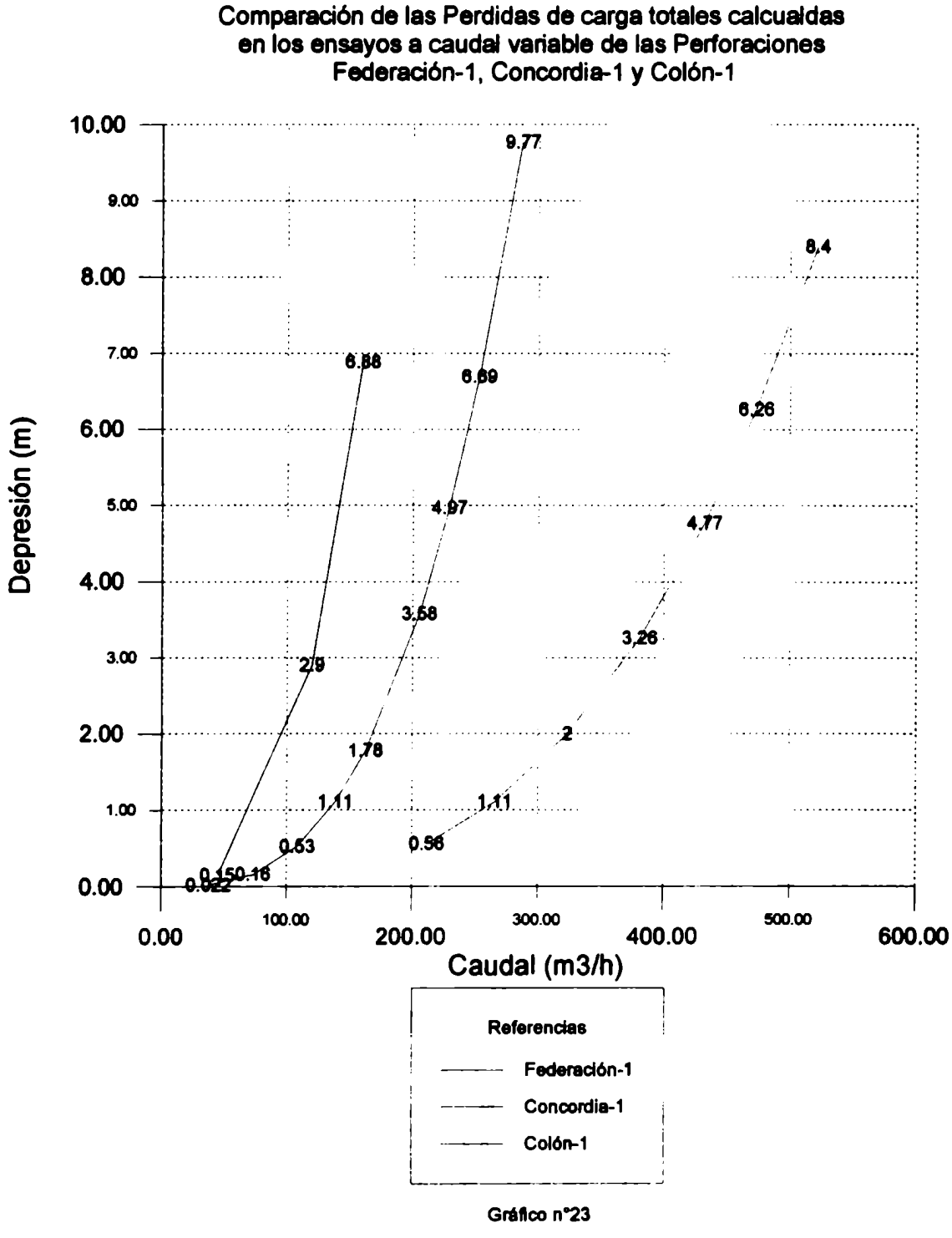

Comparación de las Perdidas de carga totales calcualdas
en los ensayos a caudal variable de las Perforaciones
Federación-1, Concordia-1 y Colón-1
Depresión (m)
10.00
9.00
8.00
7.00
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
9.77
8.4
6.88
6.89
6.26
4.97
4.77
3.58
3.26
2.9
2
1.78
1.11
1.11
0.53
0.56
0.16
0.15
0.022
0.00
100.00
200.00
300.00
400.00
500.00
600.00
Caudal (m3/h)
Referencias
Federación-1
Concordia-1
Colón-1

Gráfico n°23

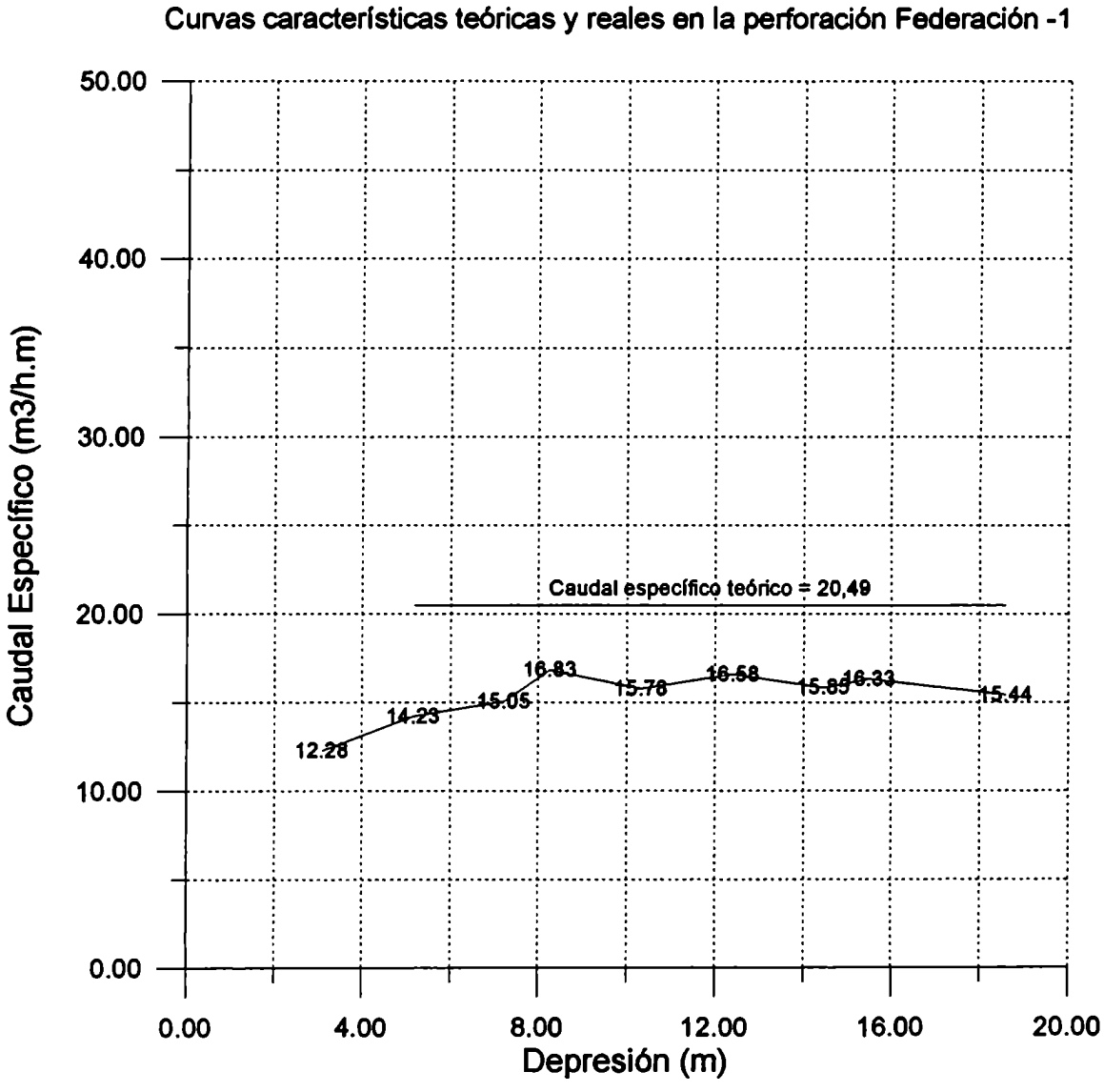

Curvas características teóricas y reales en la perforación Federación -1
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
Caudal Específico (m3/h.m)
Caudal específico teórico = 20,49
12.28
14.23
15.05
16.83
15.78
16.58
15.85
16.33
15.44
0.00
4.00
8.00
12.00
16.00
20.00
Depresión (m)

Gráfico N°24

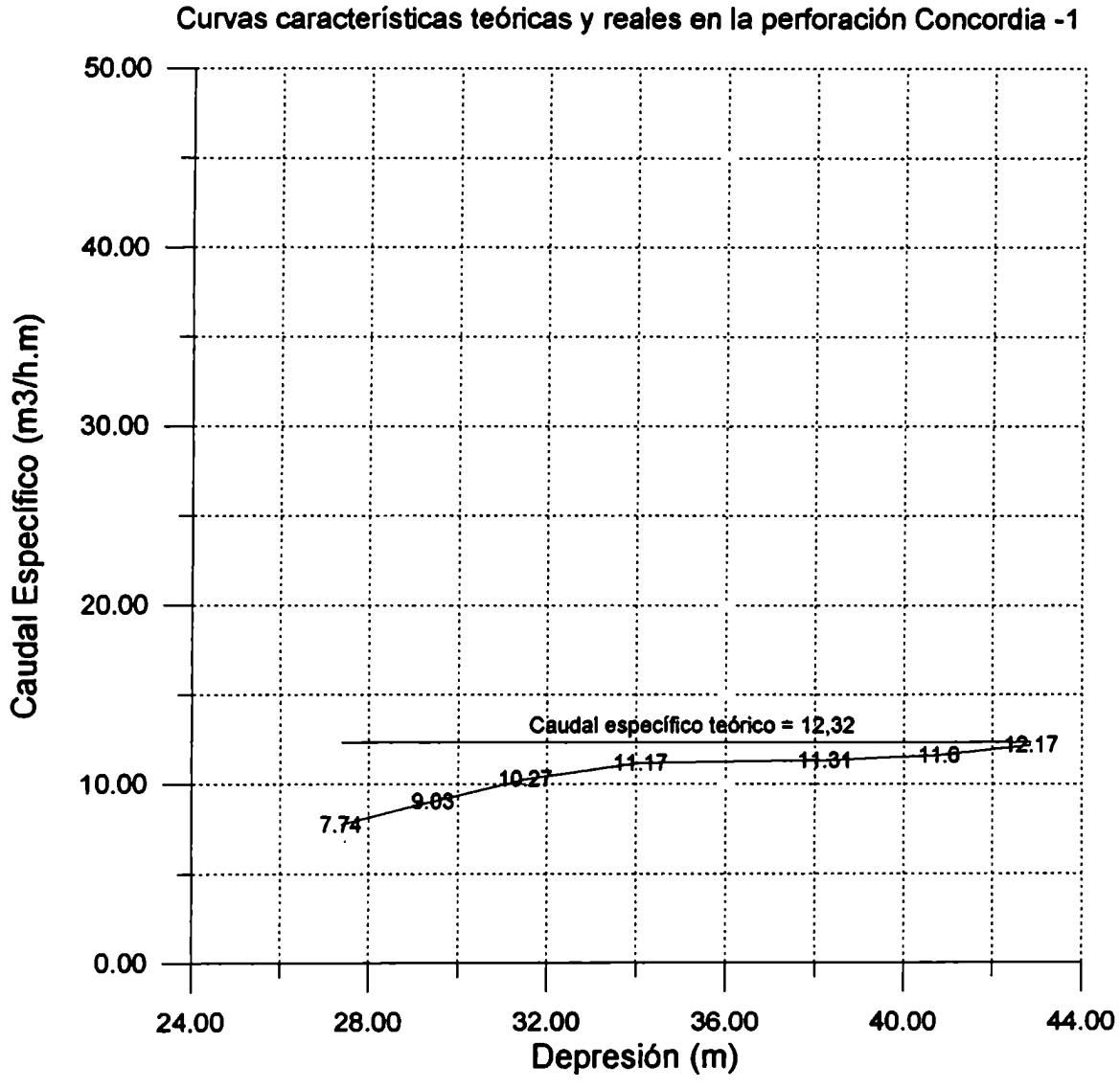

Curvas características teóricas y reales en la perforación Concordia -1
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
Caudal Específico (m3/h.m)
Caudal específico teórico = 12,32
7.74
9.03
10.27
11.17
11.31
11.6
12.17
24.00
28.00
32.00
36.00
40.00
44.00
Depresión (m)

Gráfico N°25

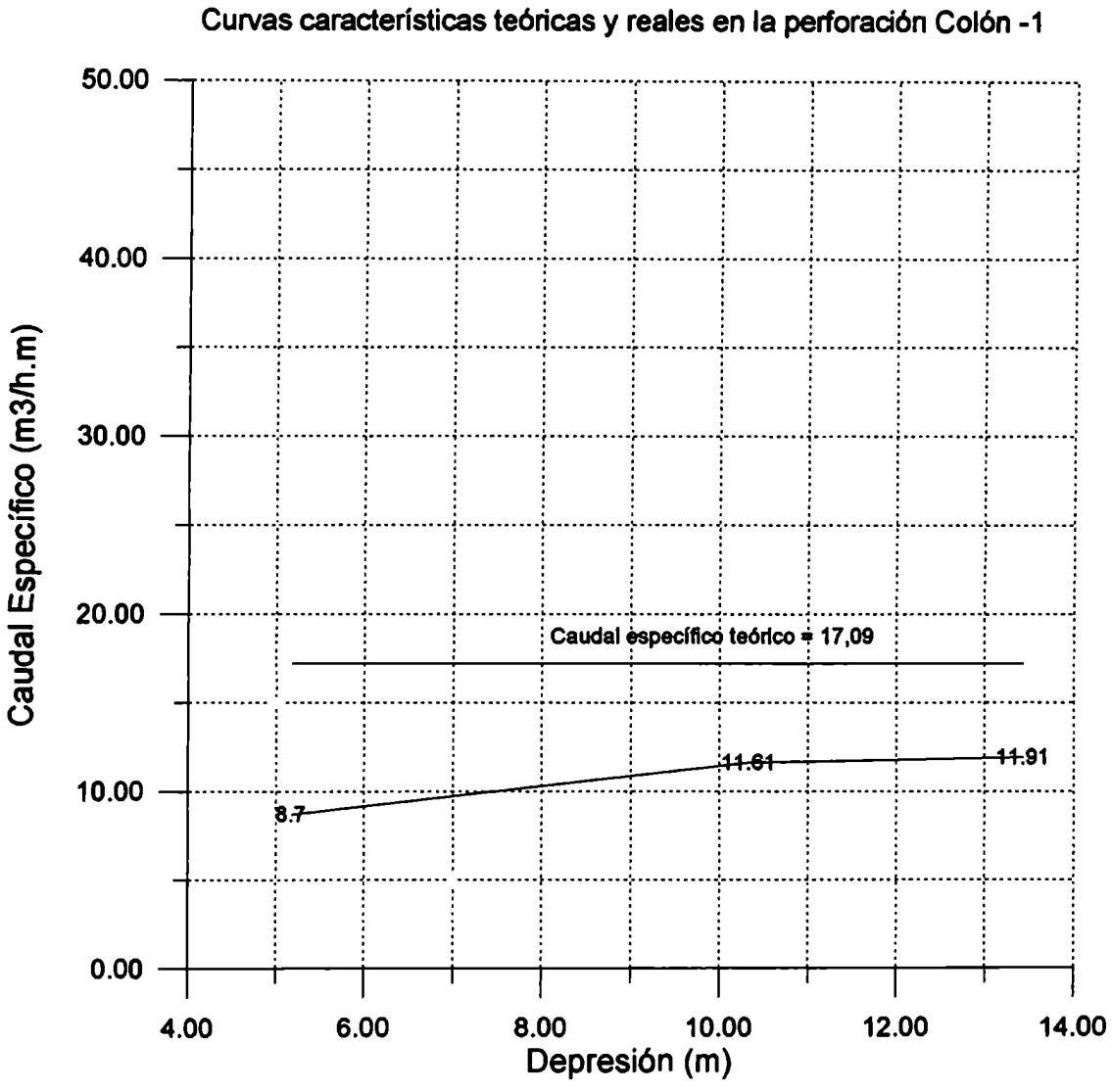
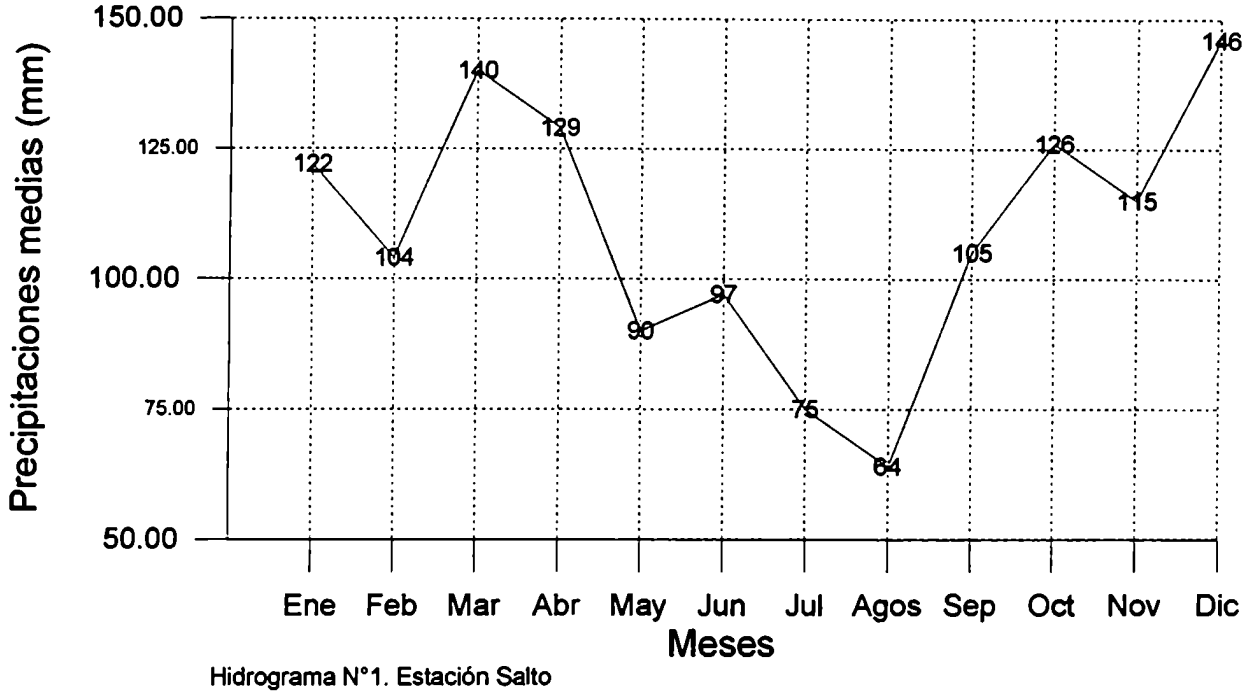
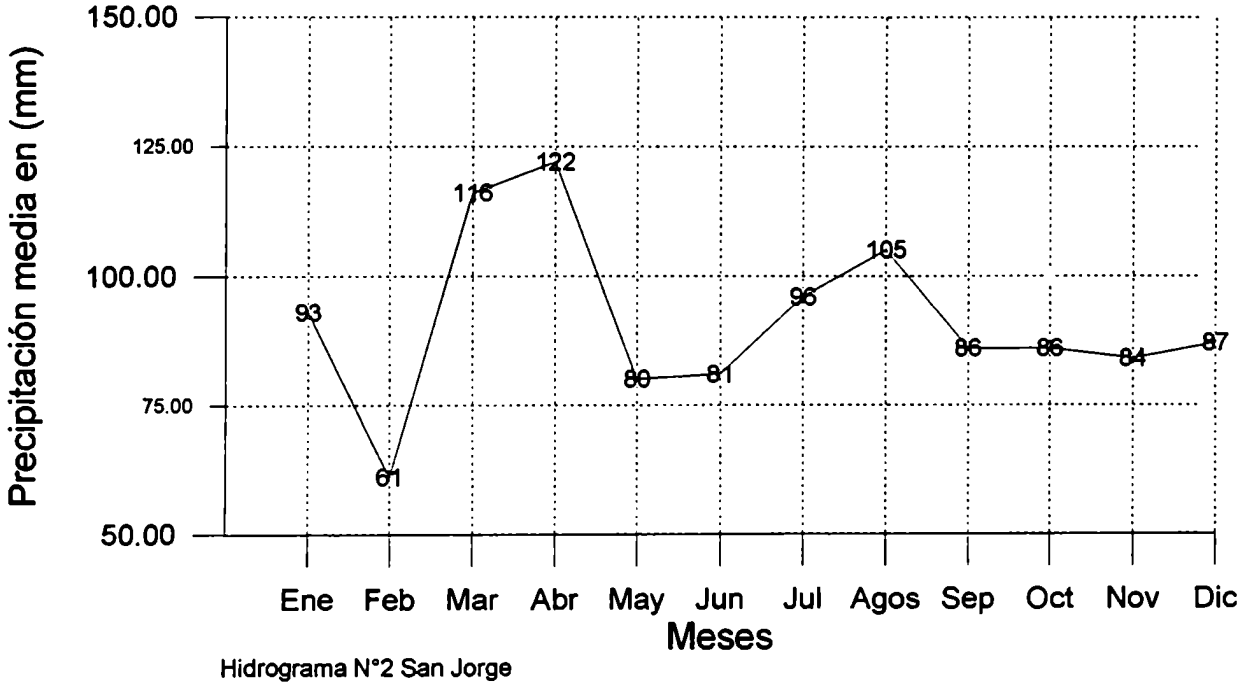

Curvas características teóricas y reales en la perforación Colón -1
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
Caudal Específico (m3/h.m)
Caudal específico teórico = 17,09
11.61
11.91
8.7
4.00
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
Depresión (m)

Gráfico N°26

Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la Serie 1960-1990

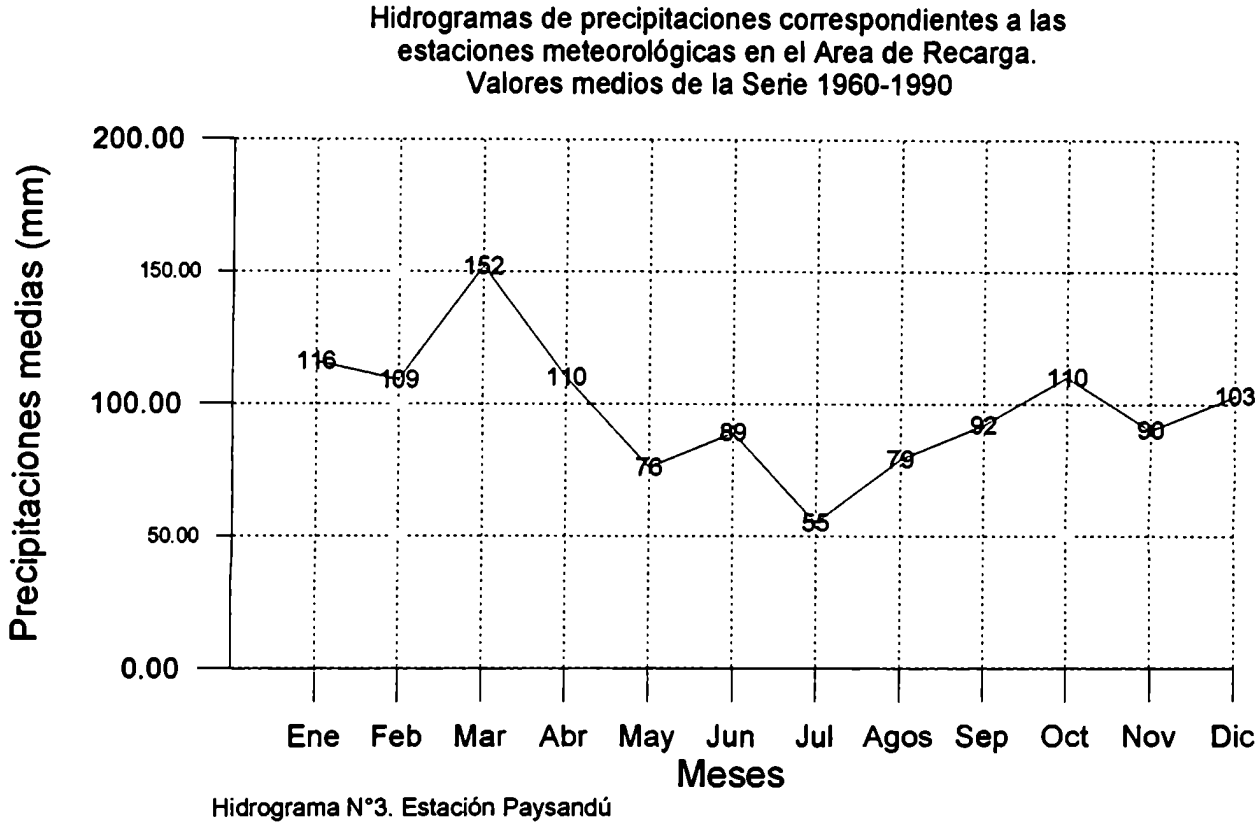


Hidrograma N°1. Estación Salto

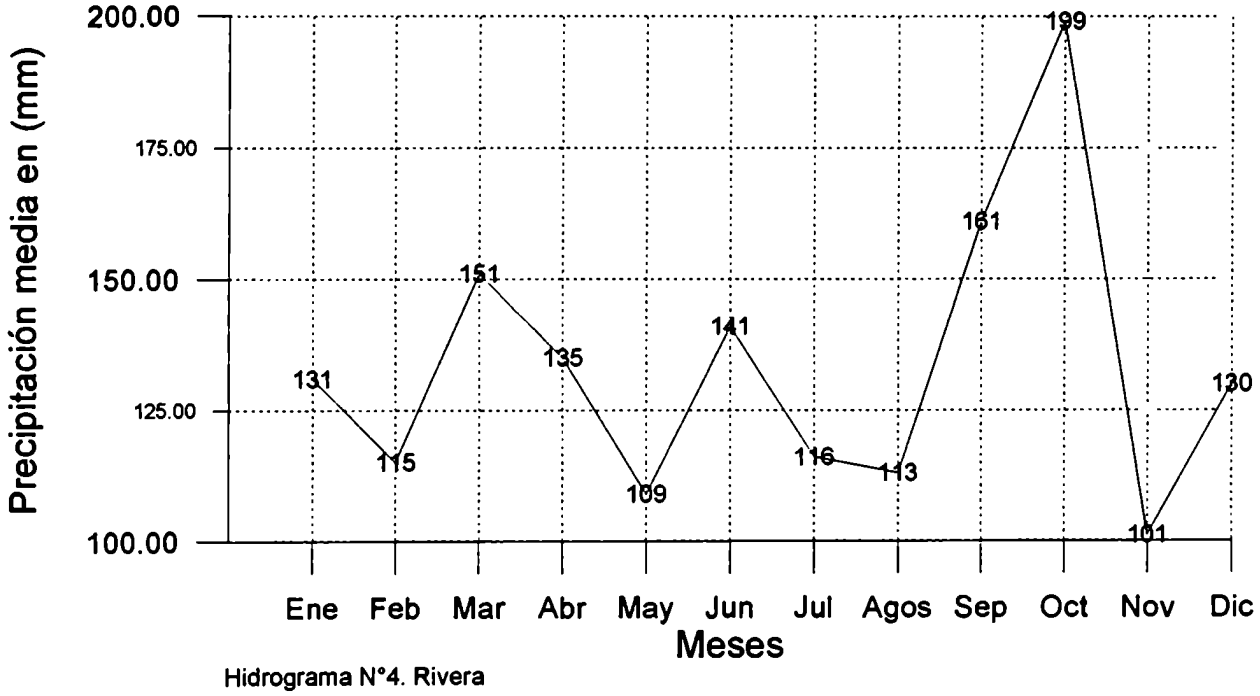


Hidrograma N°2 San Jorge

Gráfico N°27

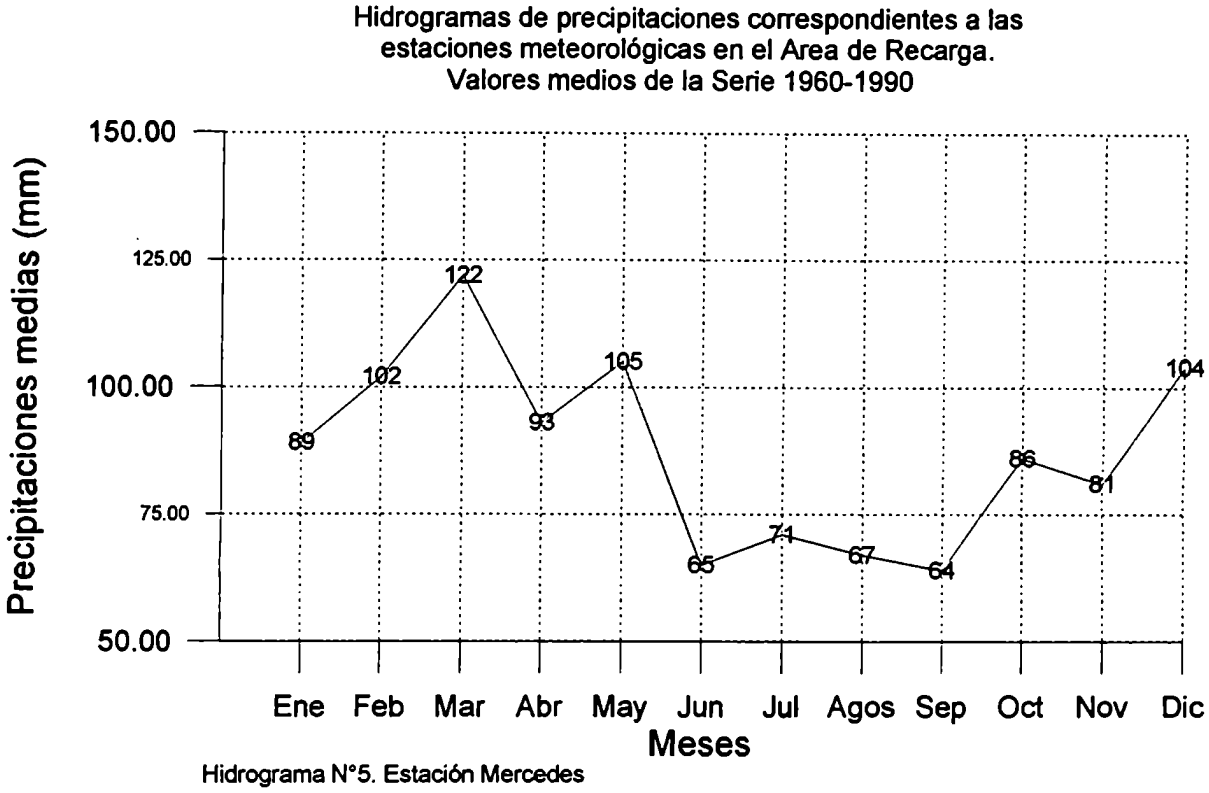


Hidrograma N°3. Estación Paysandú

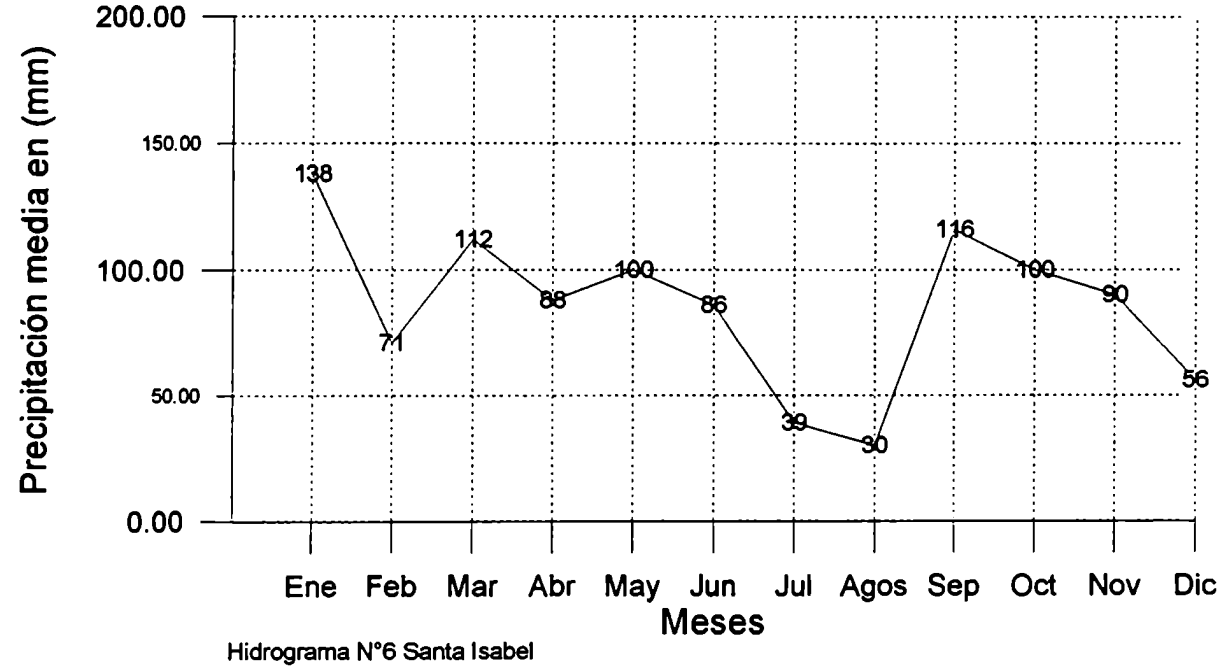


Hidrograma N°4. Rivera

Gráfico N°28

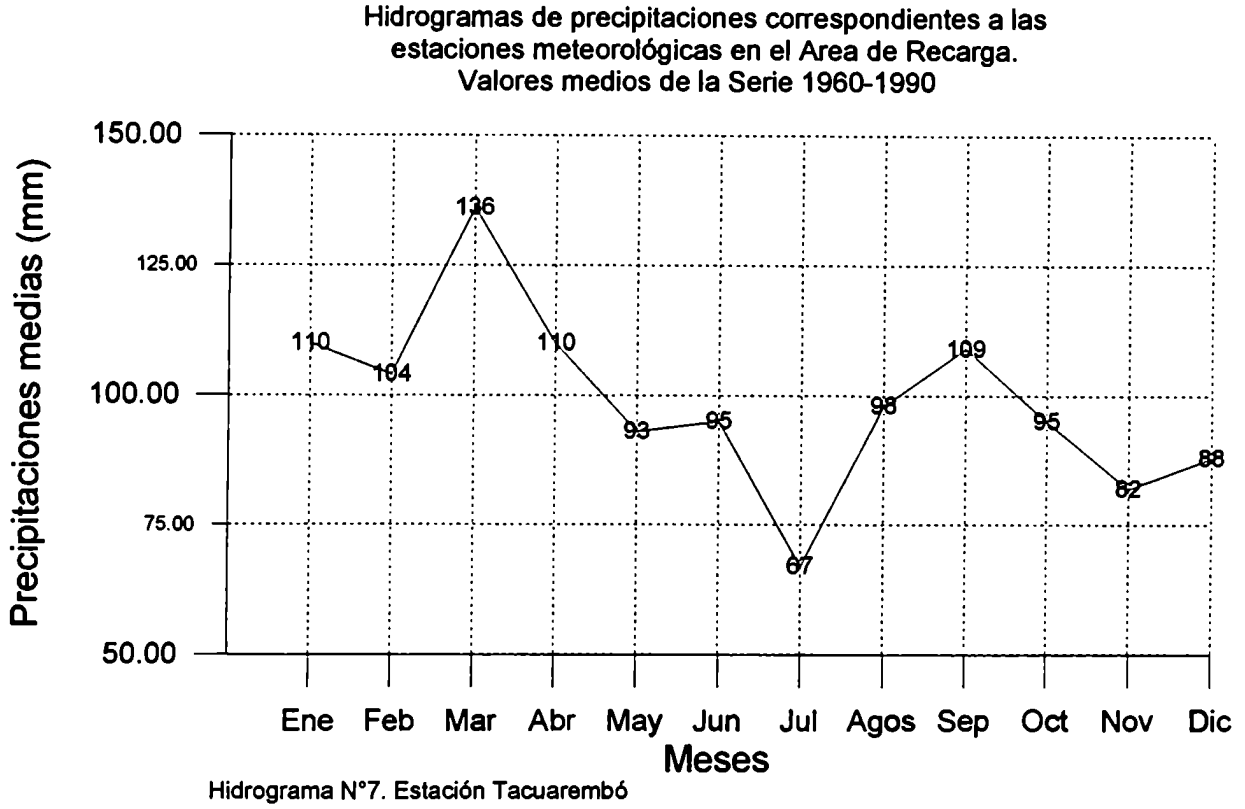


Hidrograma N°5. Estación Mercedes

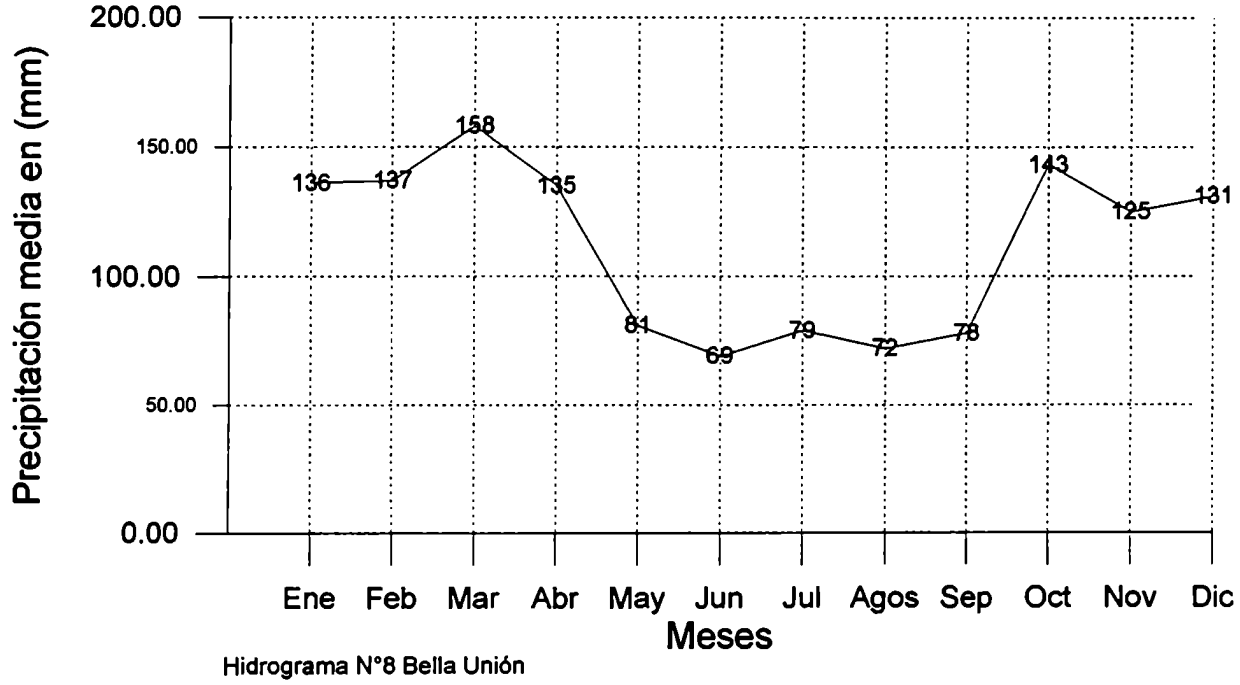


Hidrograma N°6 Santa Isabel

Gráfico N°29



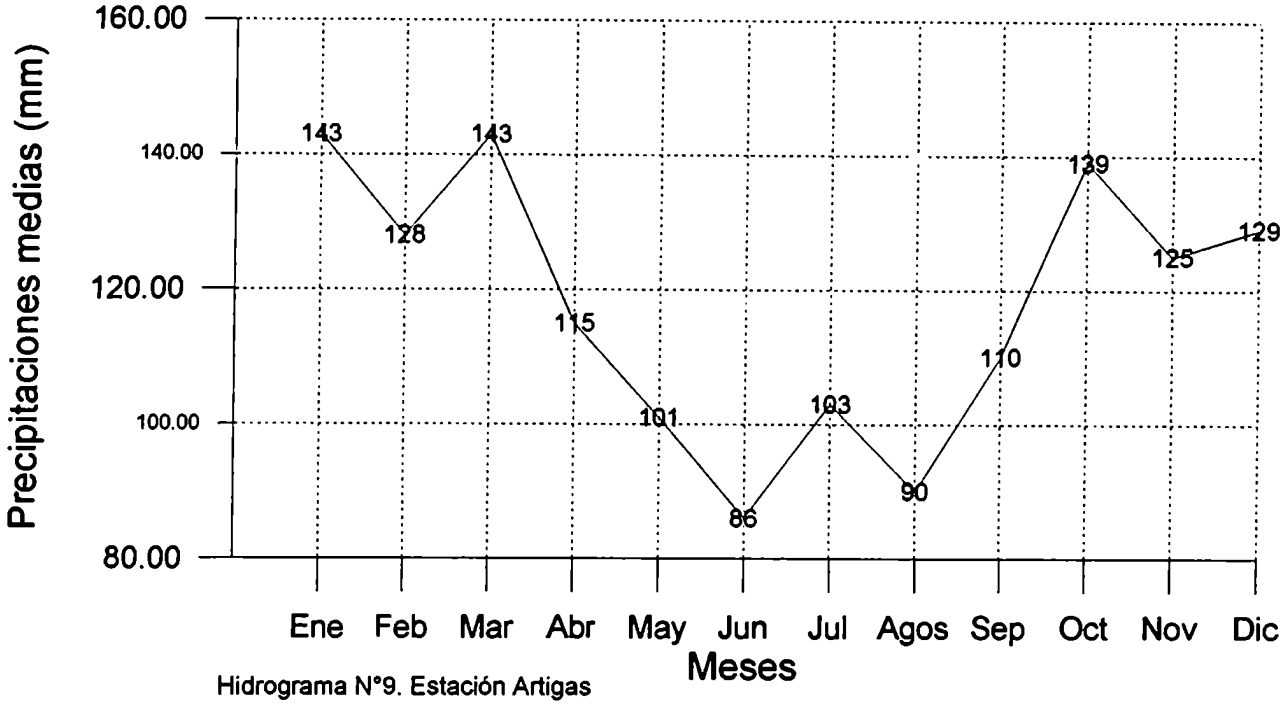
Hidrograma N°7. Estación Tacuarembó



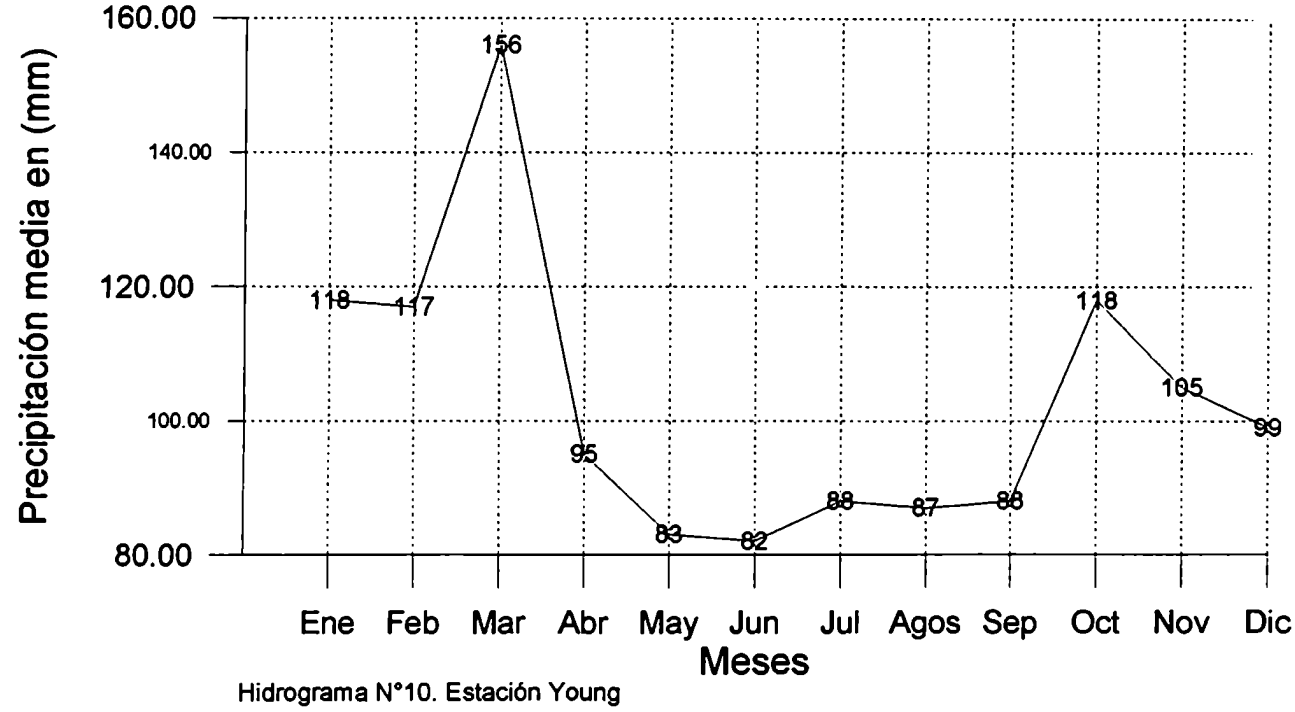
Hidrograma N°8 Bella Unión

Gráfico N°30

Hidrogramas de precipitaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas en el Area de Recarga. Valores medios de la Serie 1960-1990

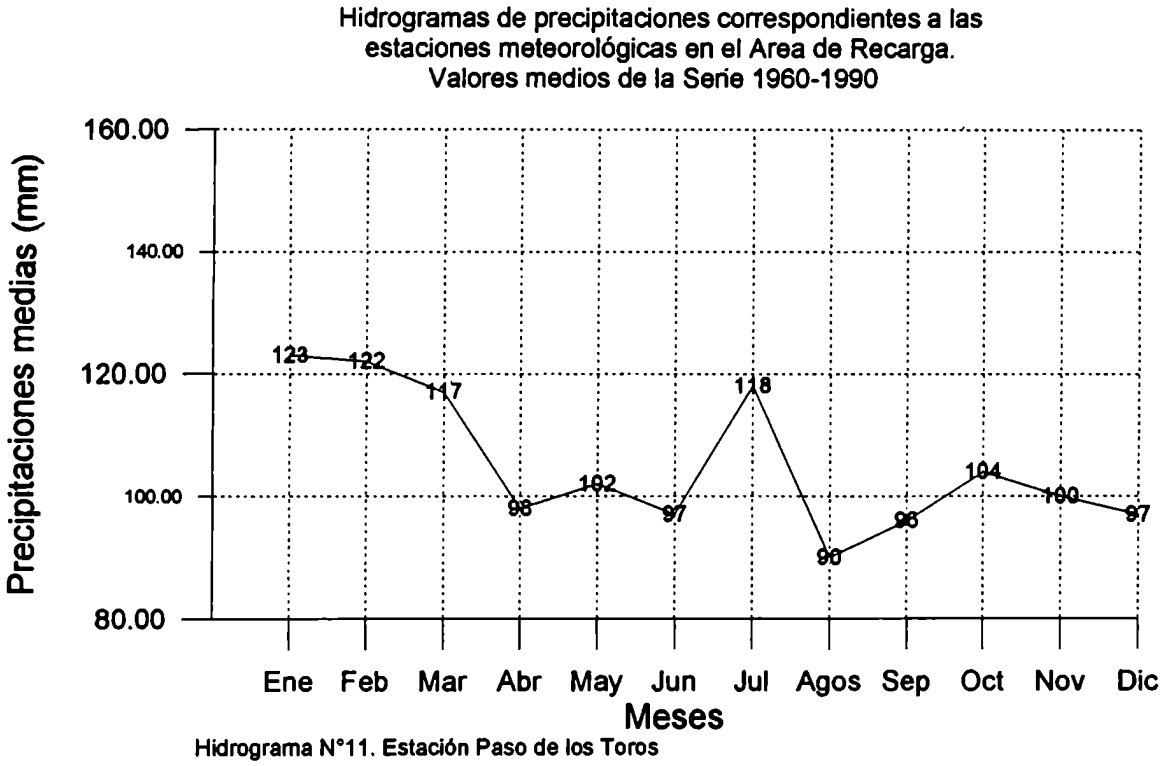


Hidrograma N°9. Estación Artigas



Hidrograma N°10. Estación Young

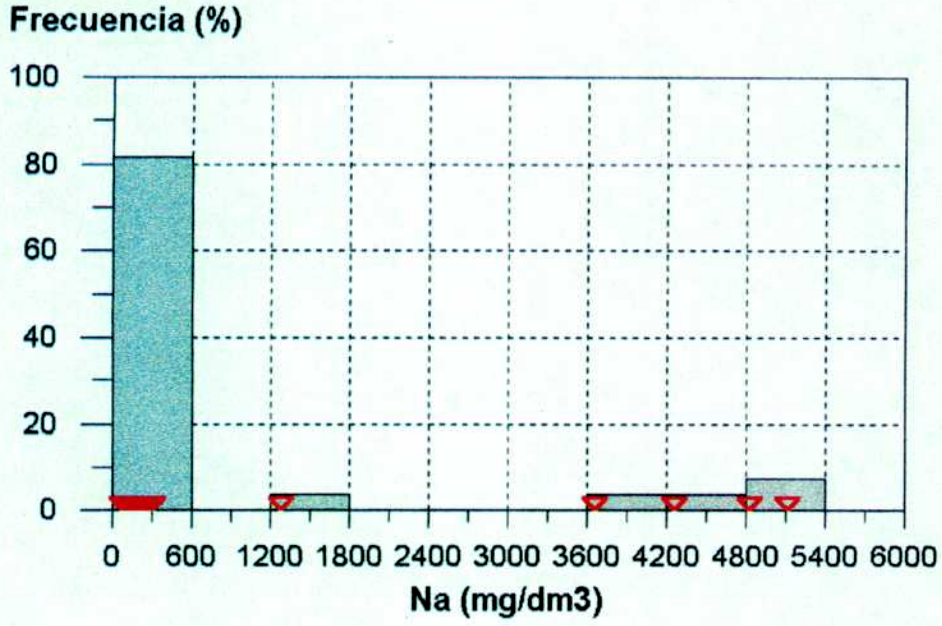
Gráfico N°31



Hidrograma N°11. Estación Paso de los Toros

Gráfico N°32

Distribución de la Concentración de Na^+ y K^+ en las aguas del Sitema Acuífero Termal



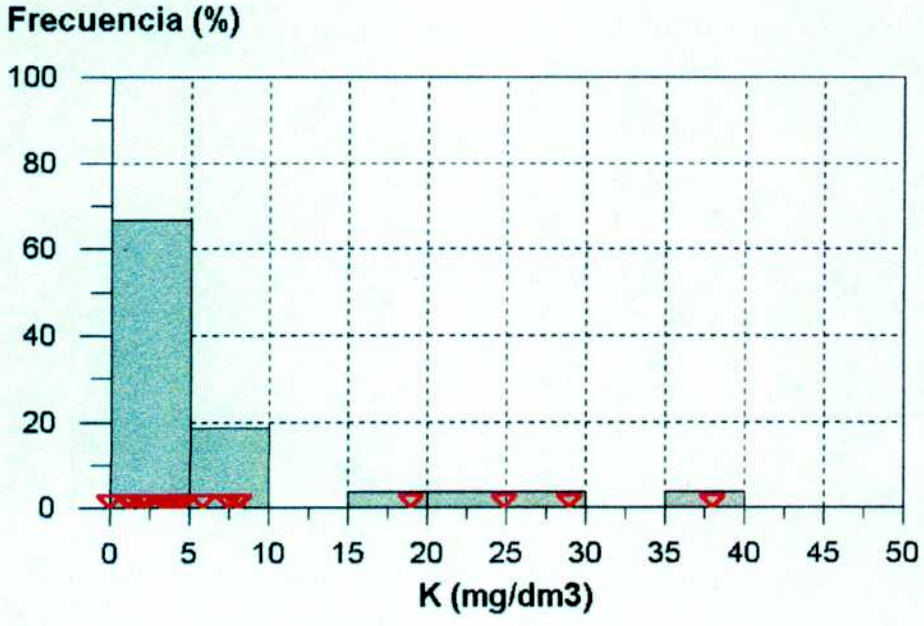
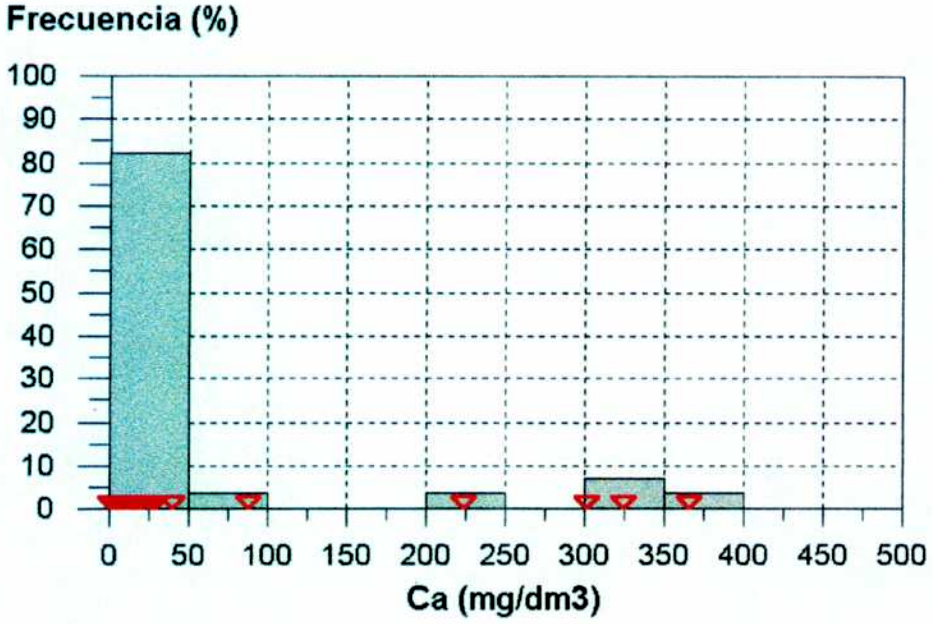


Gráfico 33

Distribución de la Concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} en las aguas del Sistema Acuífero Termal



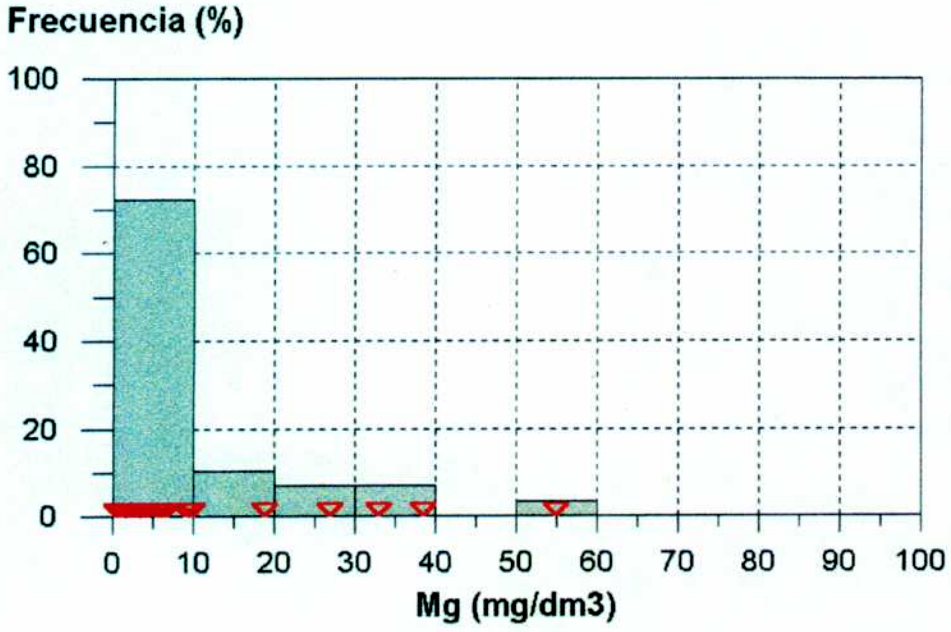


Gráfico 34

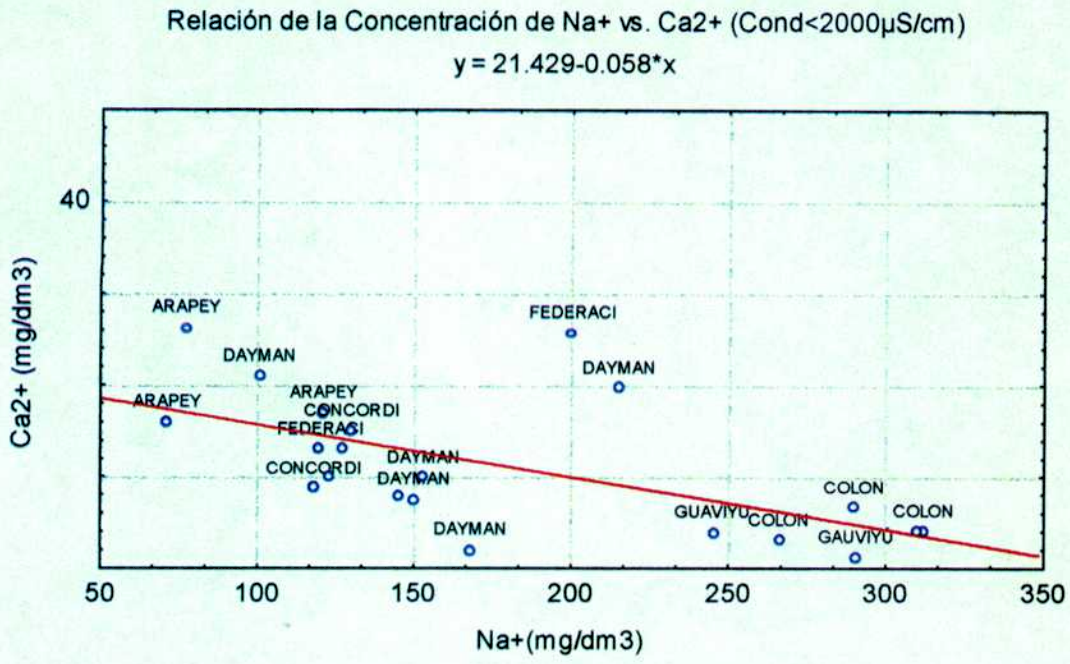


Gráfico 35

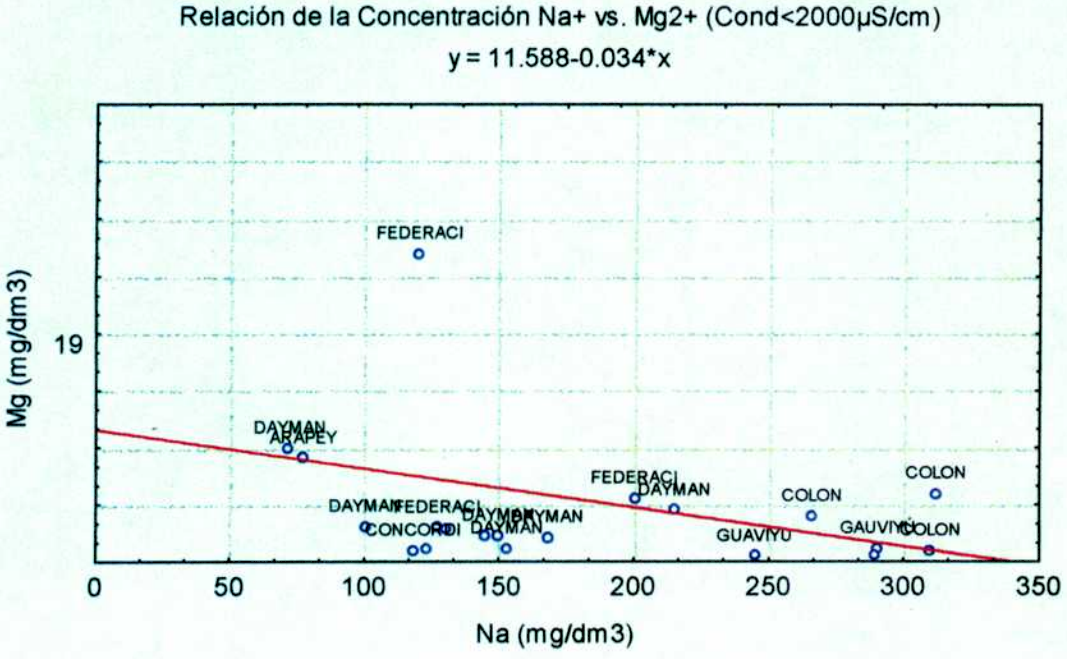


Gráfico 36

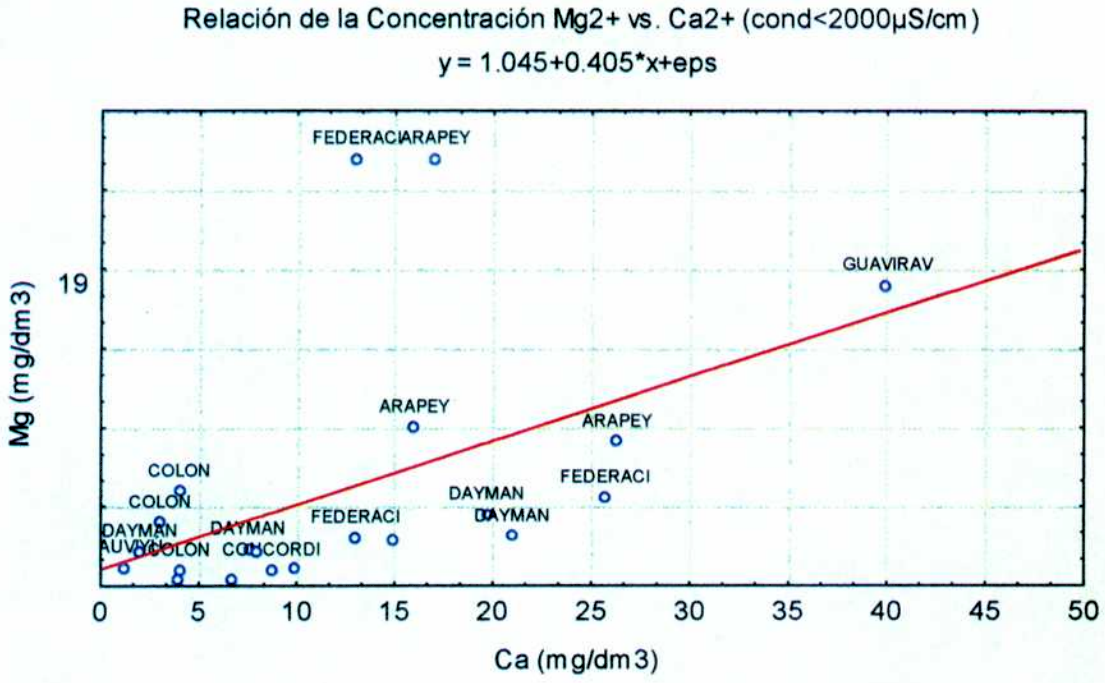


Gráfico 37

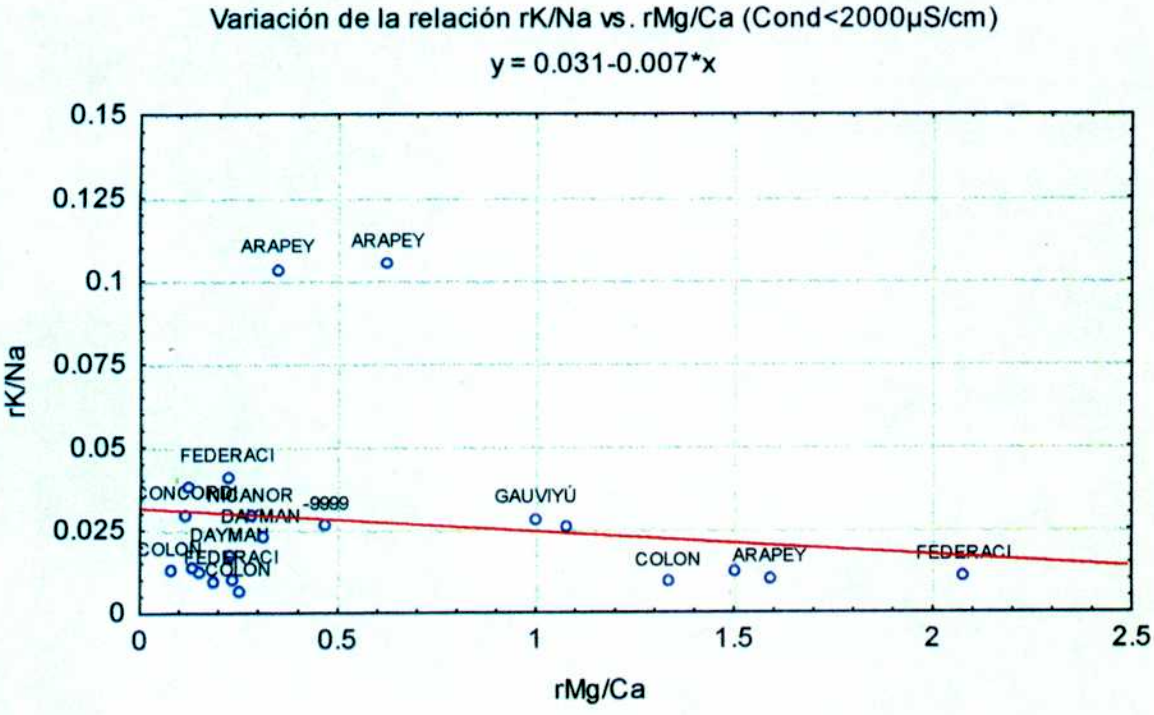


Gráfico 38

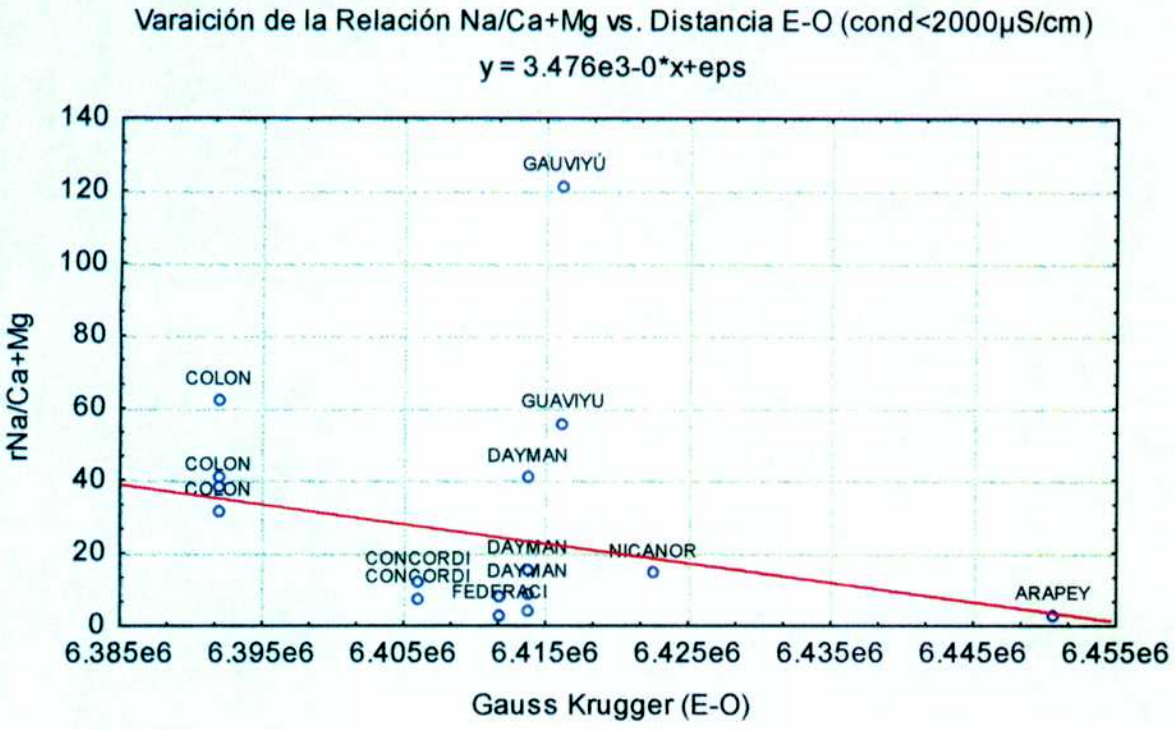


Gráfico 39

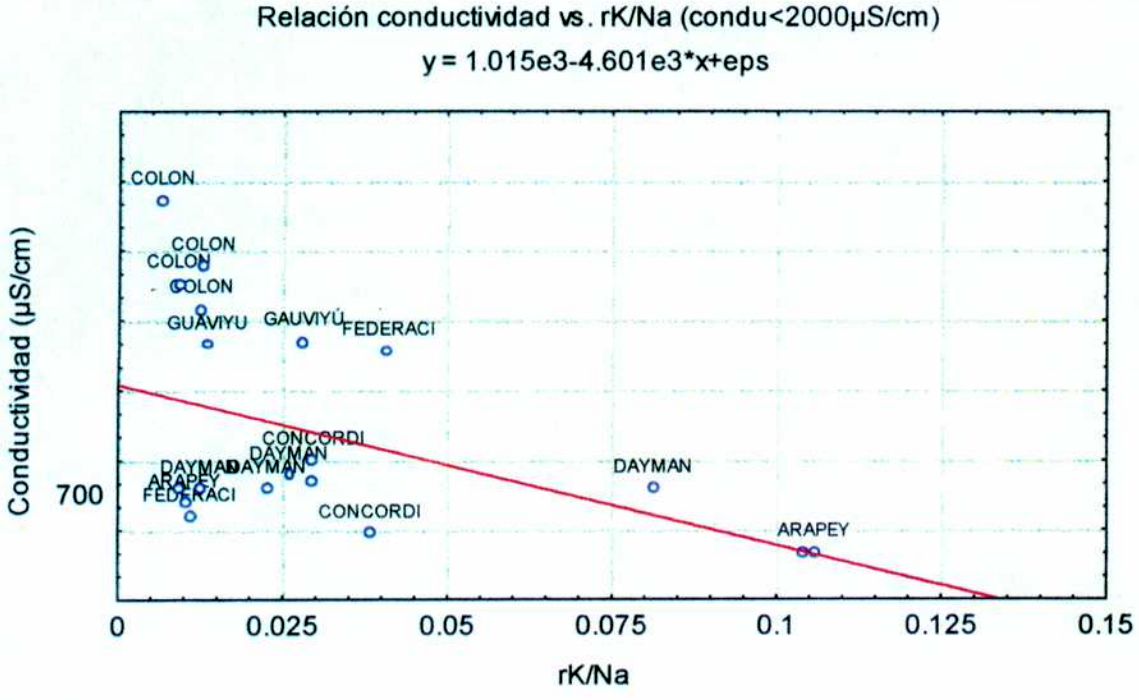


Gráfico 40

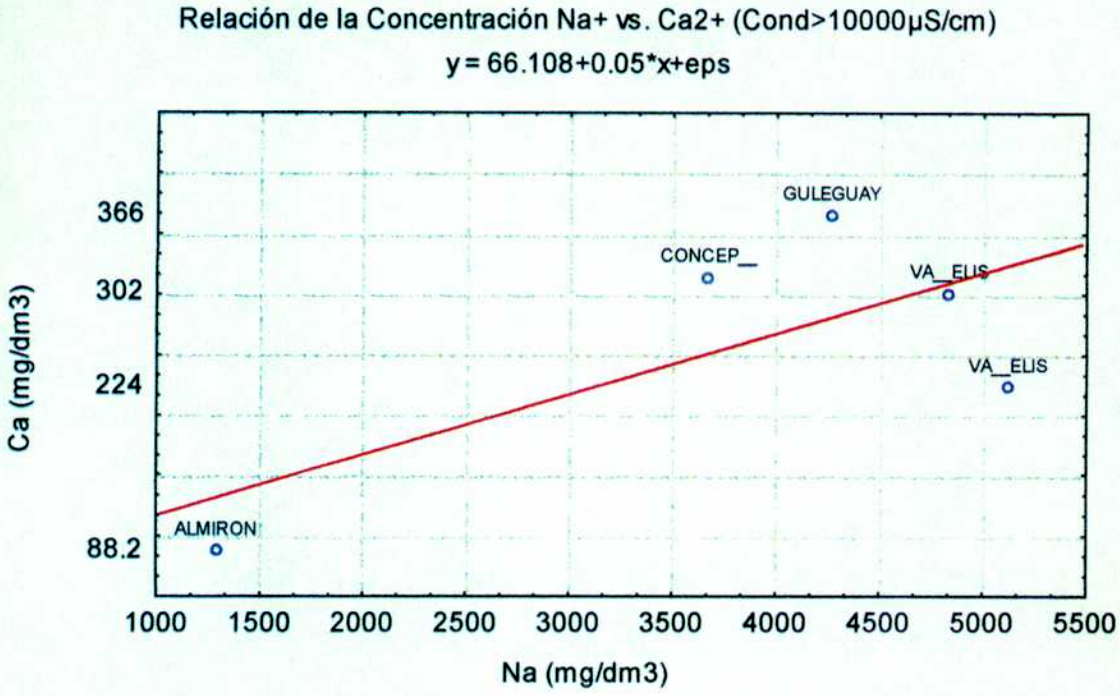


Gráfico 41

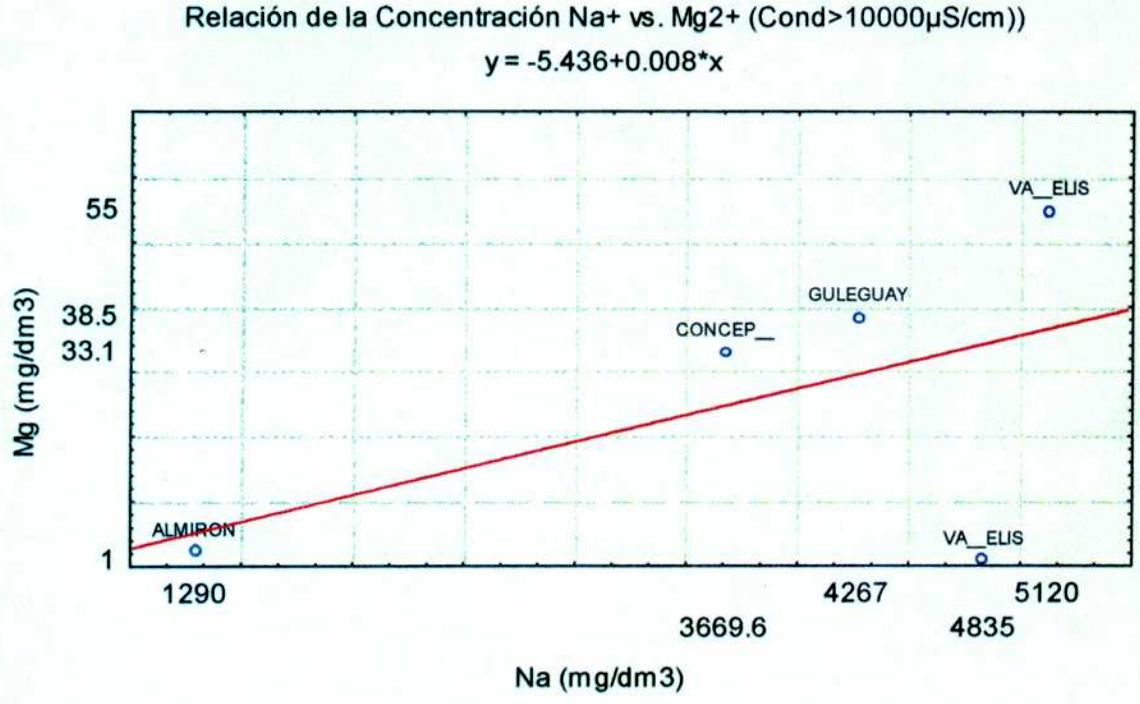


Gráfico 42

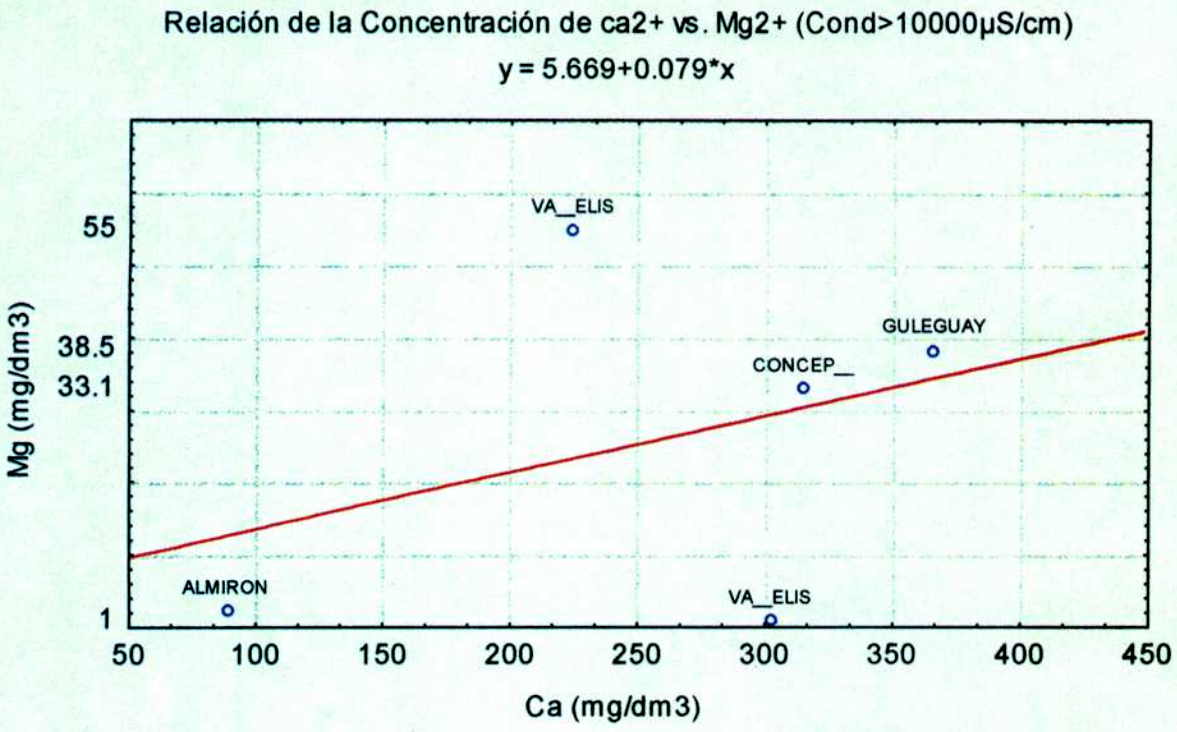
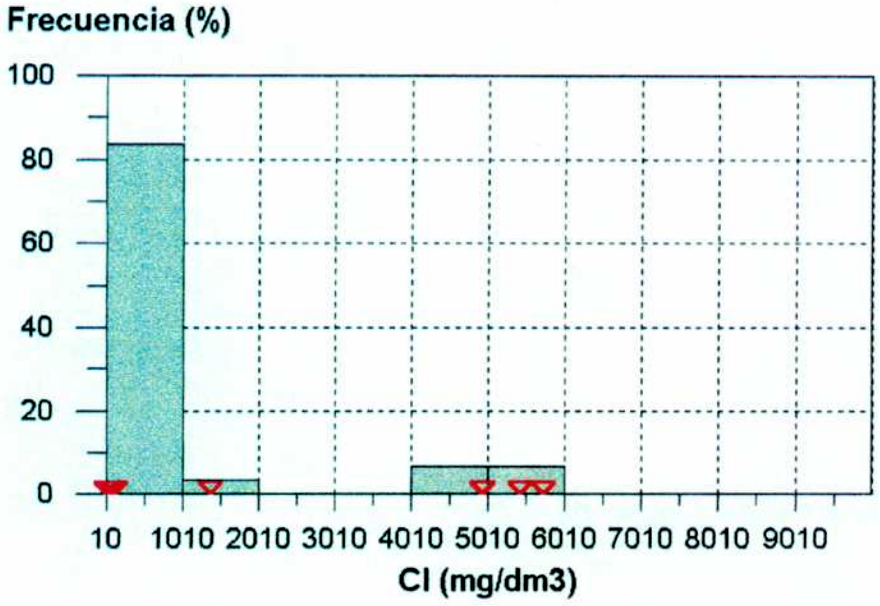

Relación de la Concentración de ca2+ vs. Mg2+ (Cond>10000µS/cm)
y = 5.669+0.079*x
VA_ELIS
GULEGUAY
CONCEP_
ALMIRON
VA_ELIS
55
38.5
33.1
1
Mg (mg/dm3)
50
100
150
200
250
300
350
400
450
Ca (mg/dm3)

Gráfico 43

Distribución de la Concentración de Cl^- y $HCO3^-$ en las aguas del Sistema Acuífero Termal



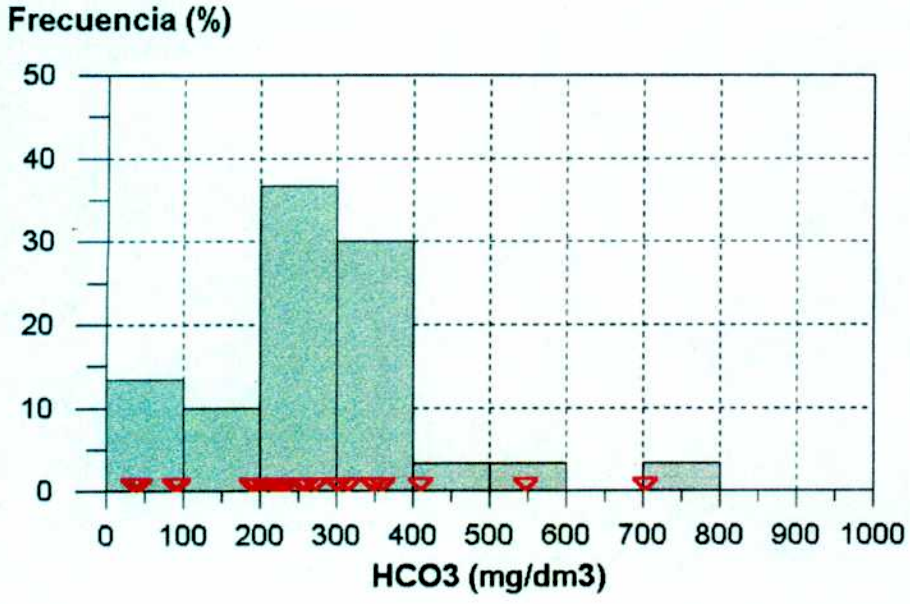
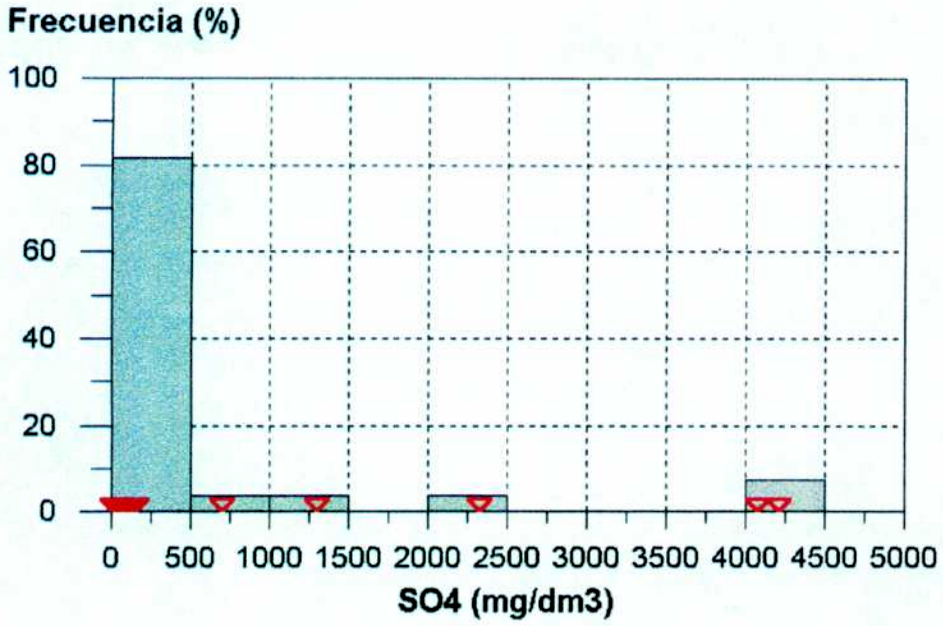


Gráfico 44

Distribución de la Concentración de SO_4^{2-} y SiO_2 en las aguas del Sistema Acuífero Termal



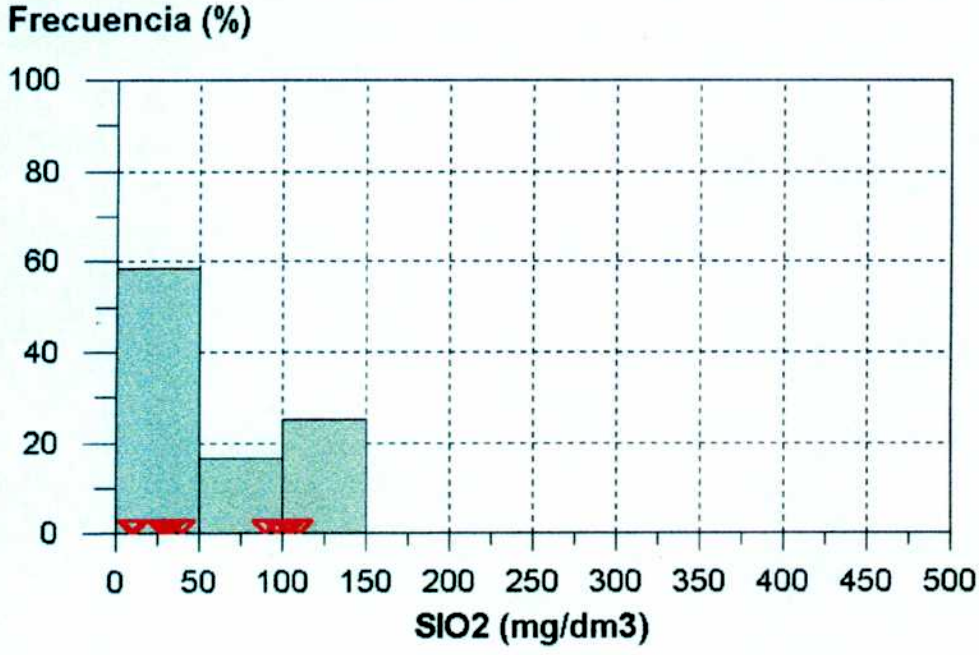


Gráfico 45

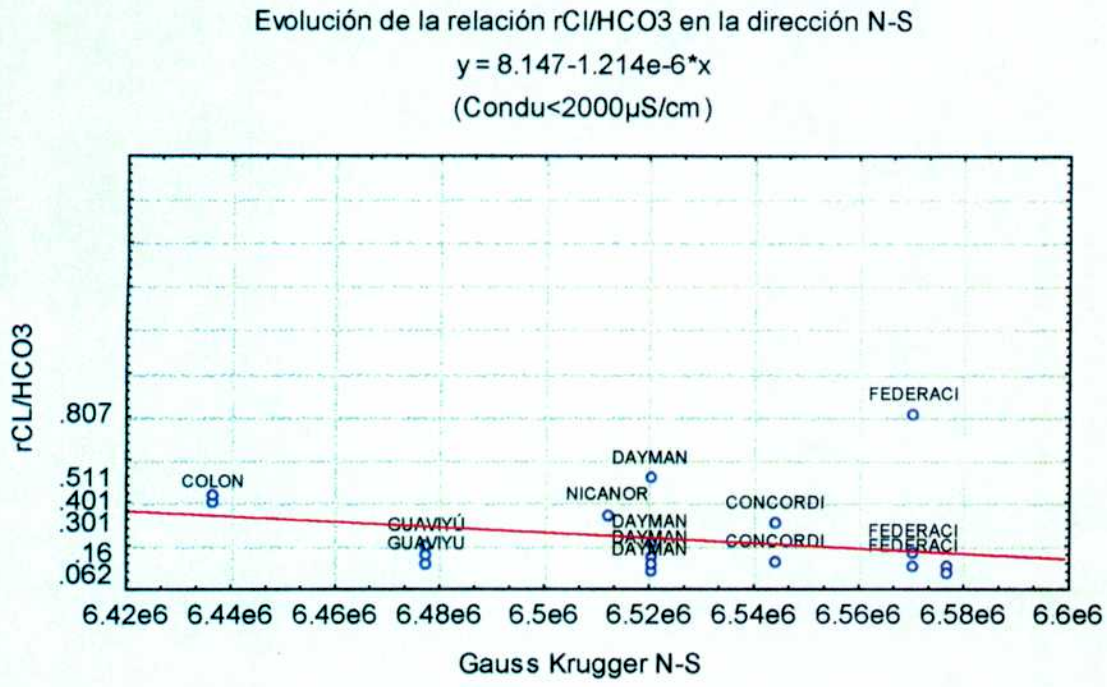


Gráfico 46

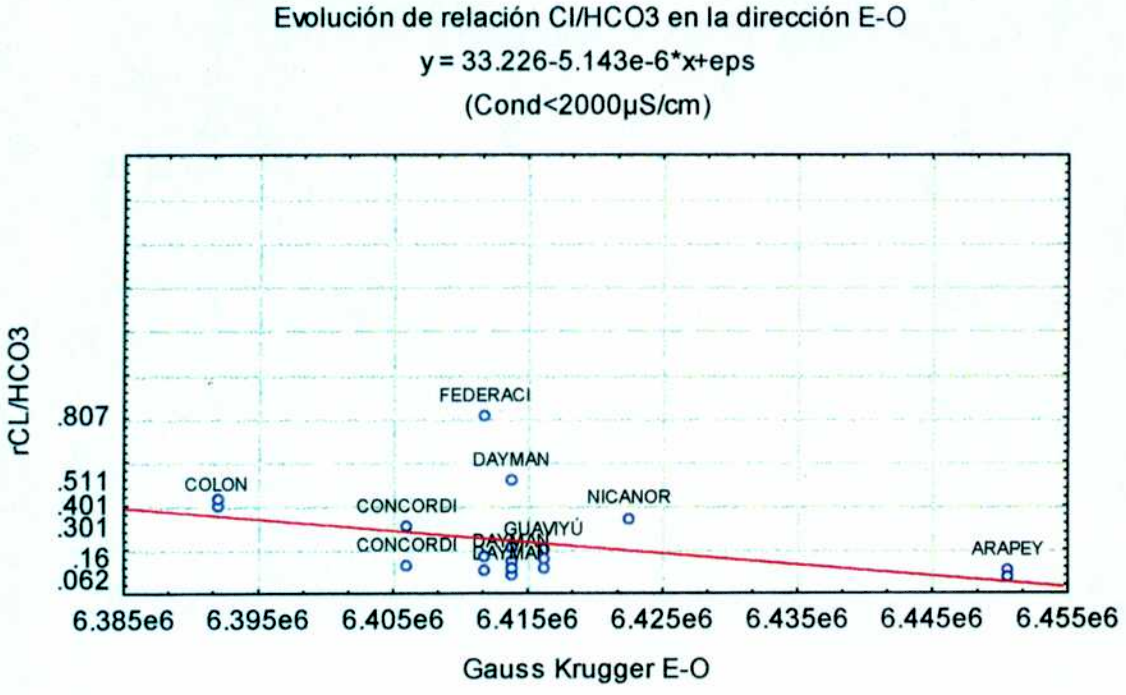


Gráfico 47

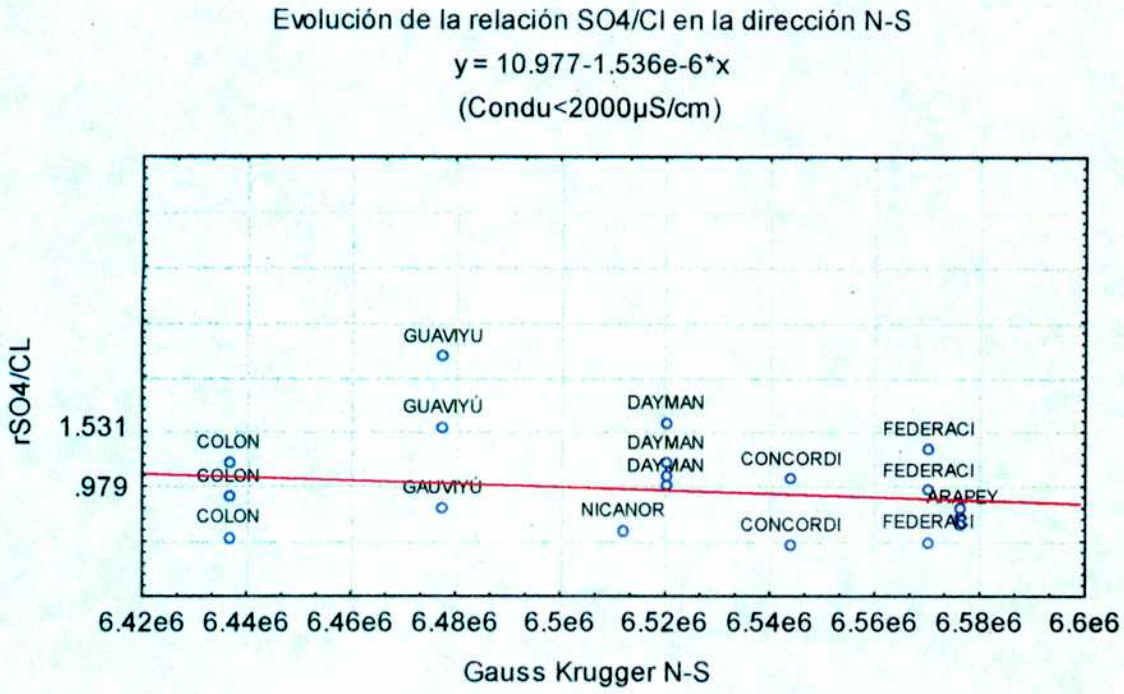


Gráfico 48

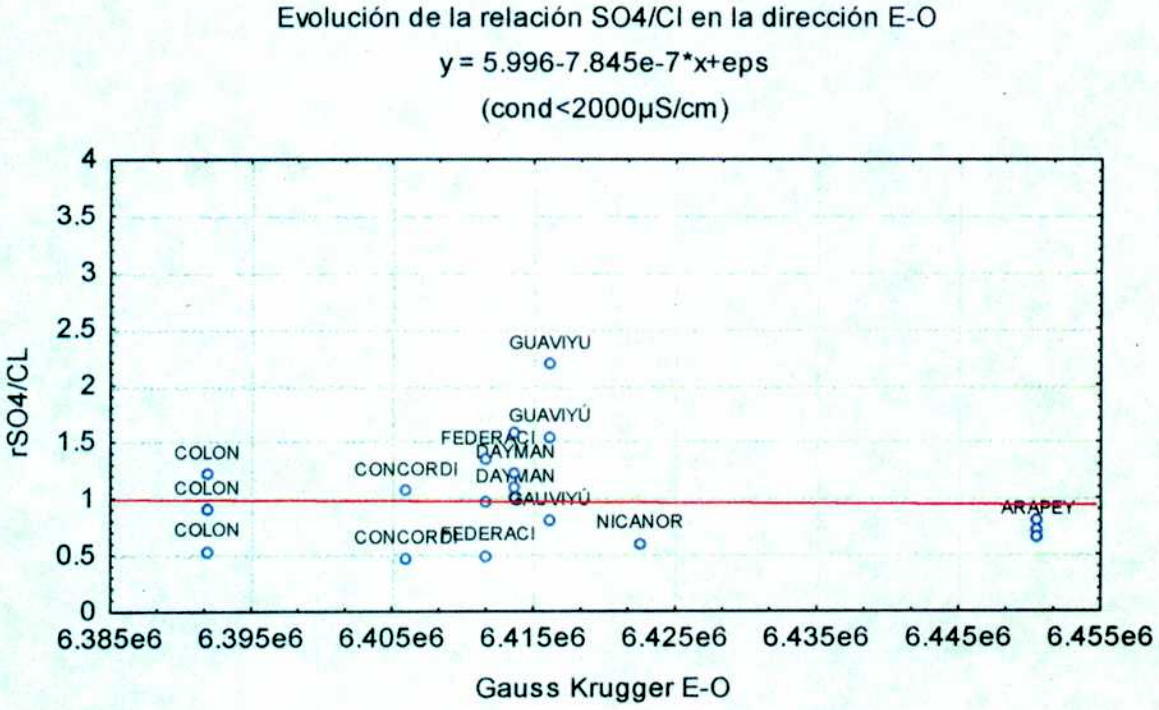


Gráfico 49

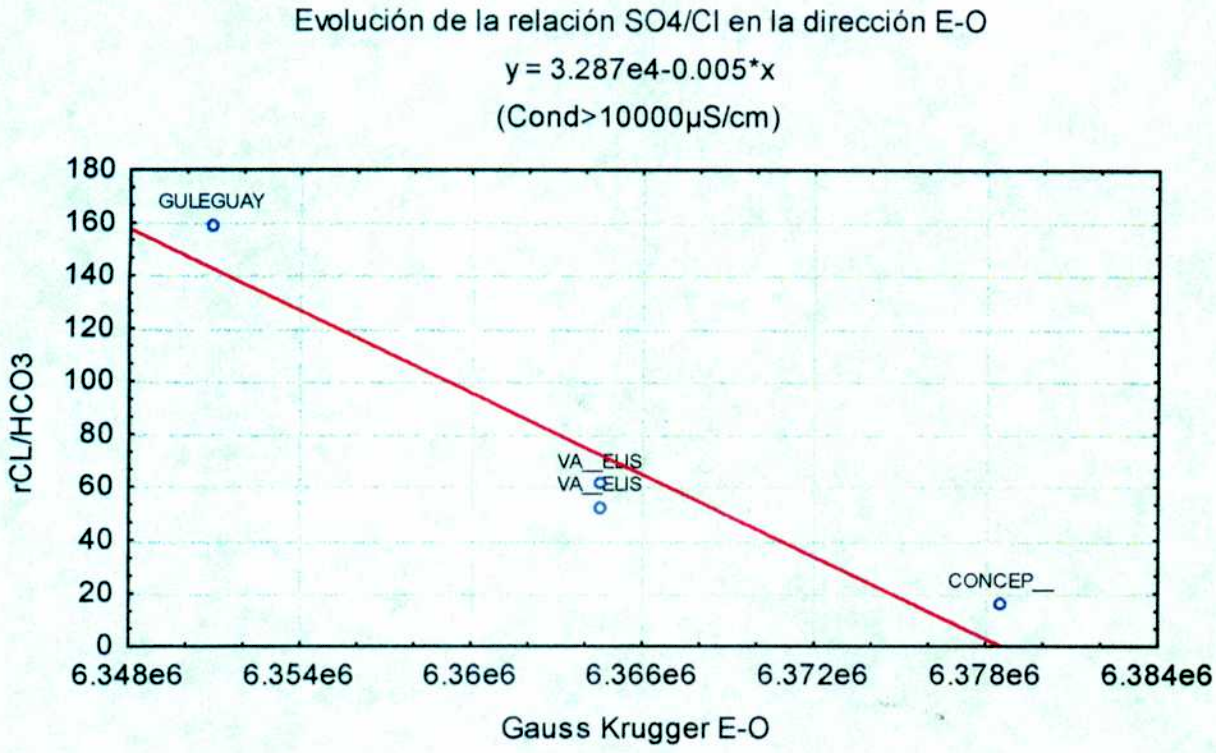


Gráfico 50

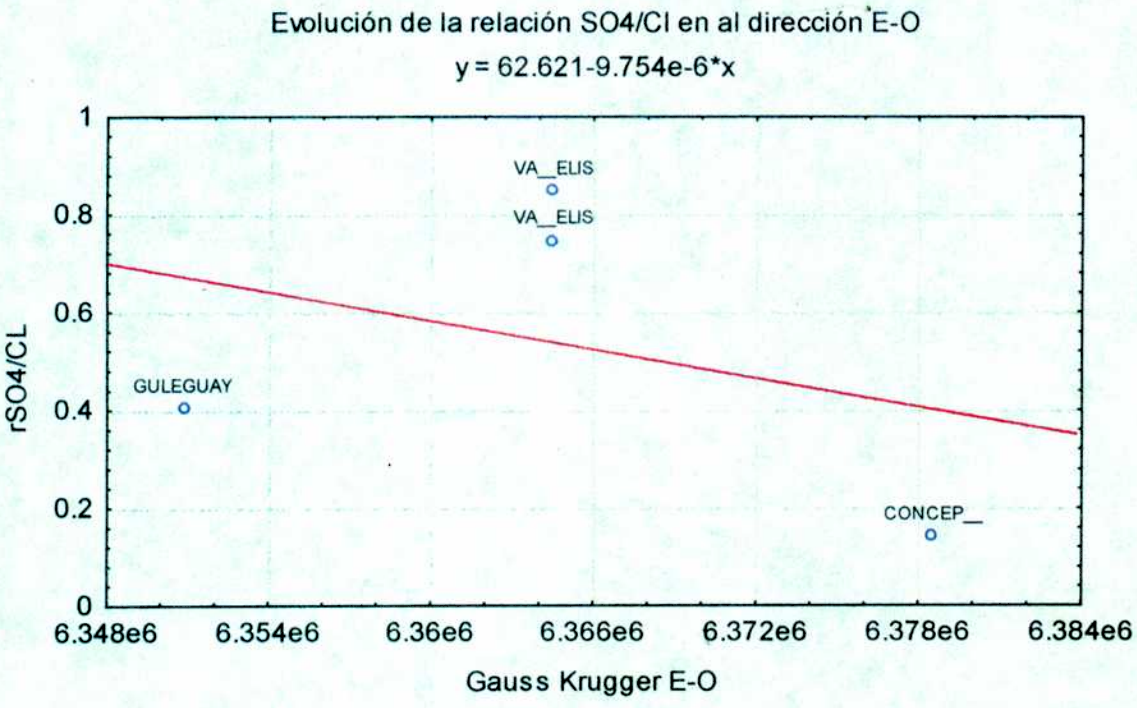


Gráfico 51

Relación de la Concentración de F^- y As3+ en las aguas del Sistema Acuífero Termal

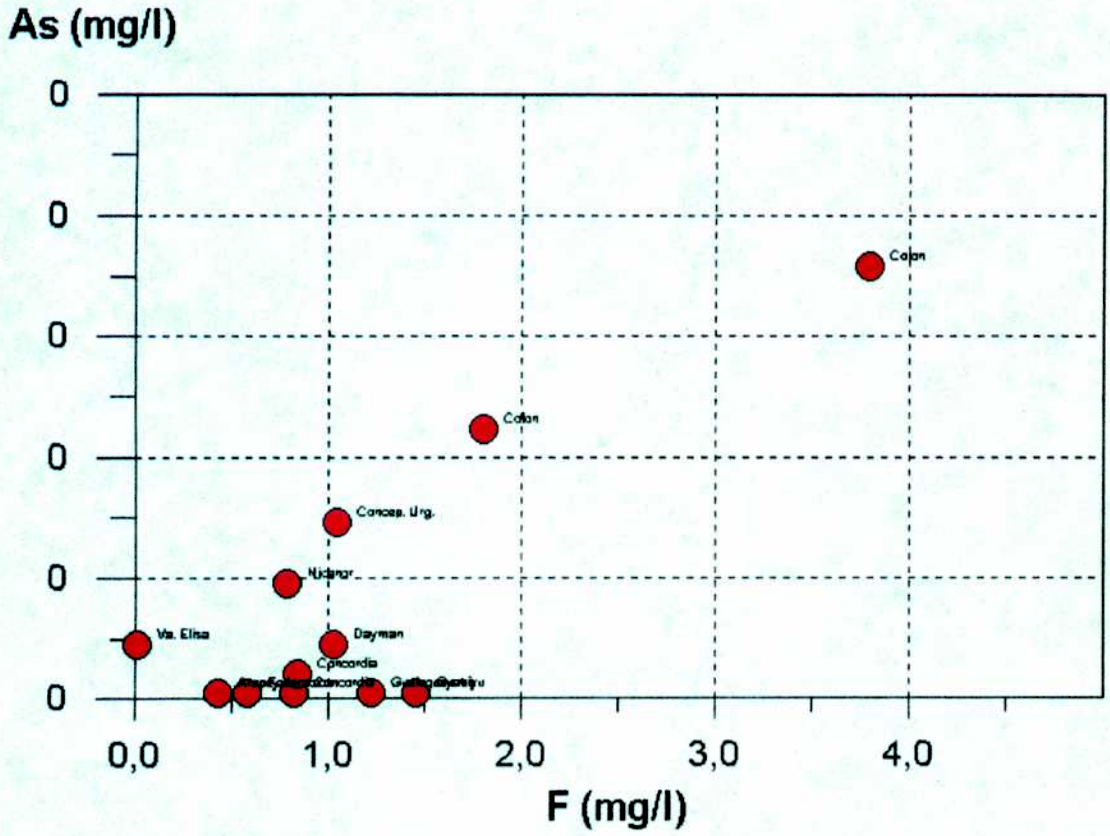


Gráfico 52

Relación de la Concentración de Mn y Fe en las aguas del Sistema Acuífero Termal

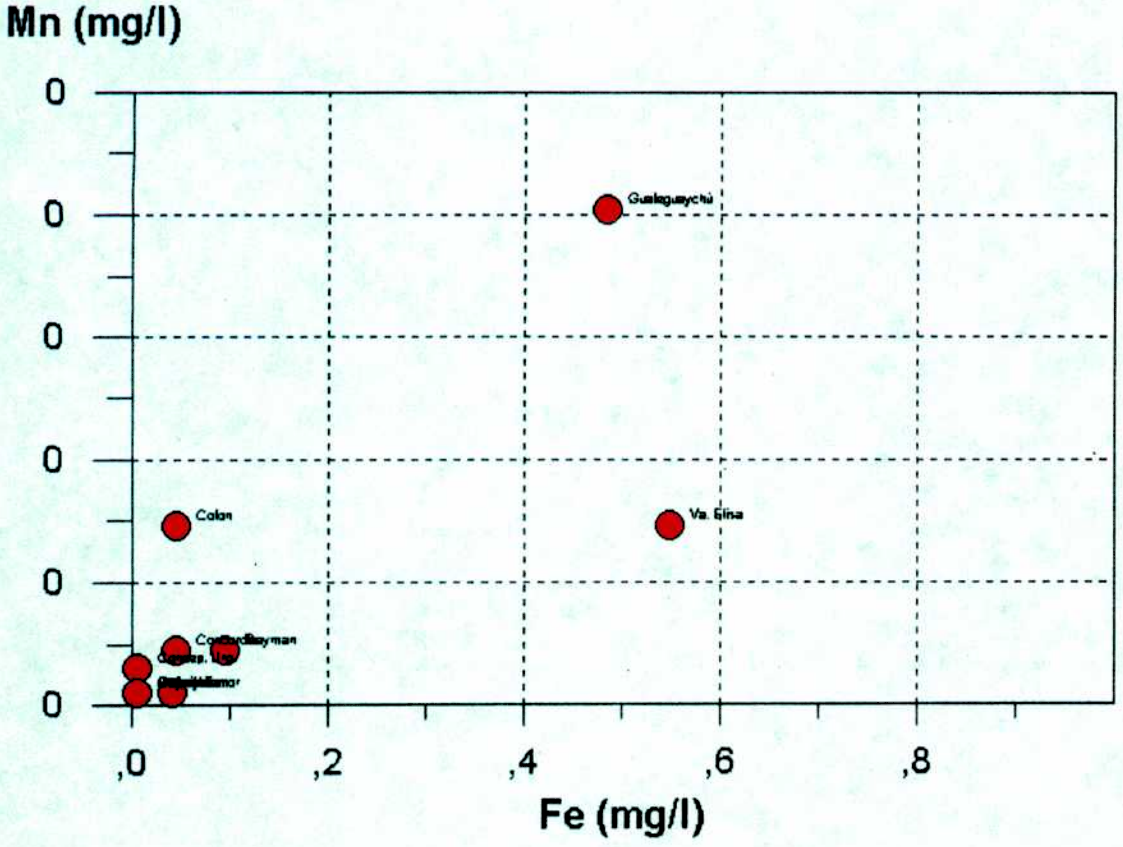
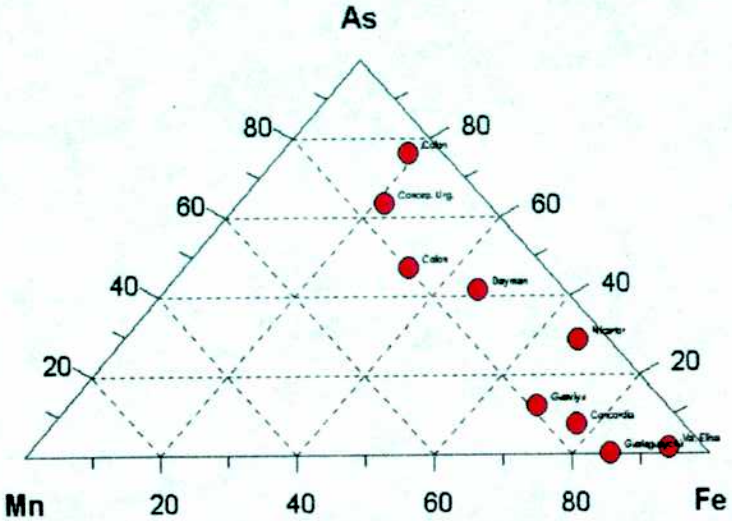


Gráfico 53

Relación As, Mn, y Fe en las aguas del Sistema Acuífero Termal



Gráfcio 54

Relación F, Fe y Mn en las aguas del Sistema Acuífero Termal

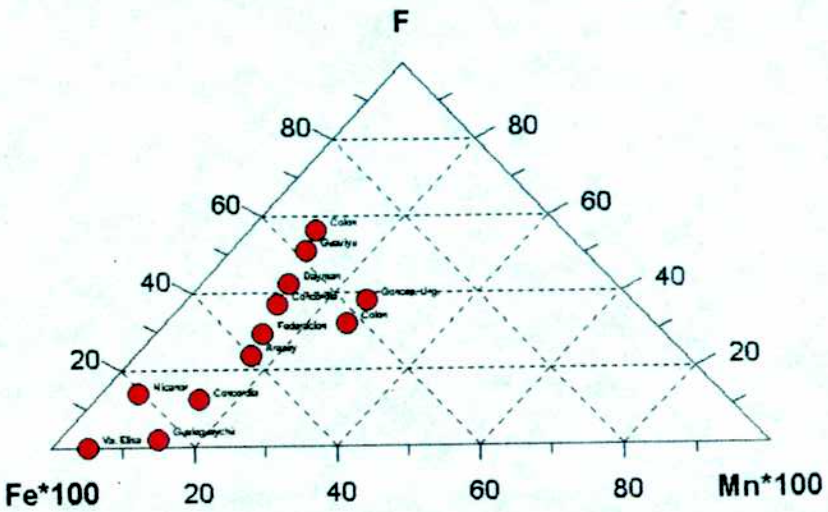


Gráfico 55

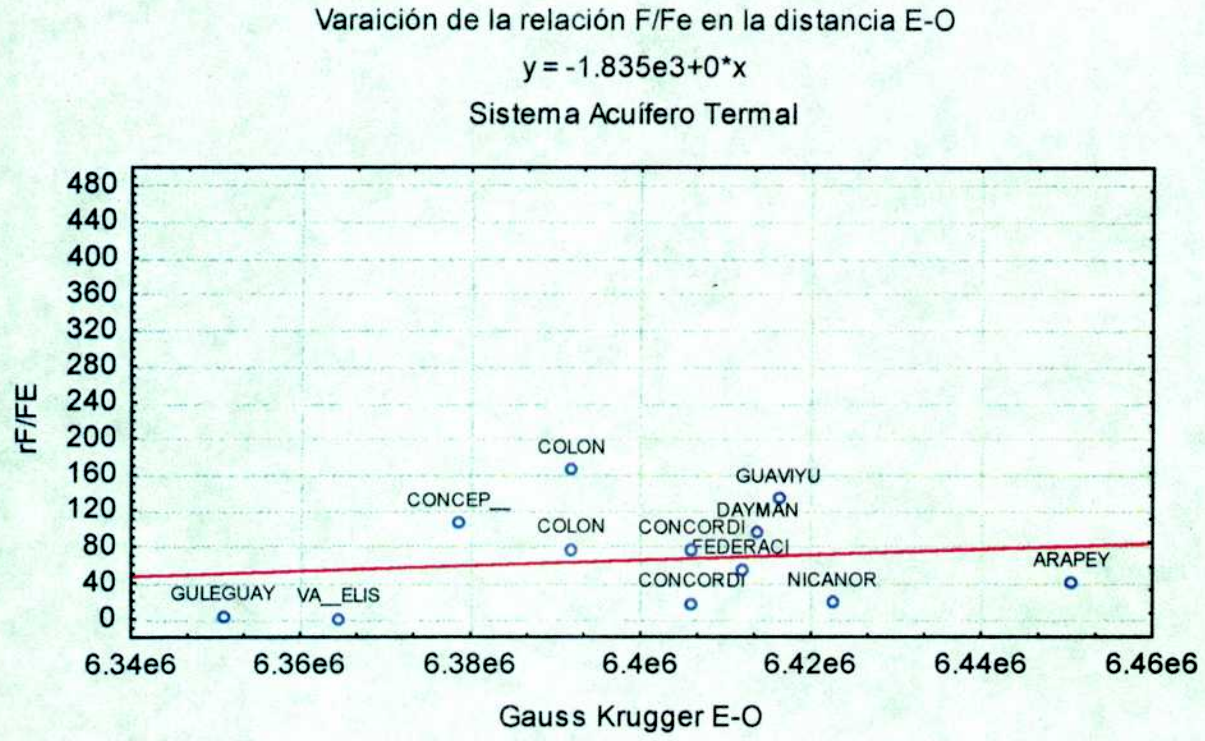


Gráfico 56

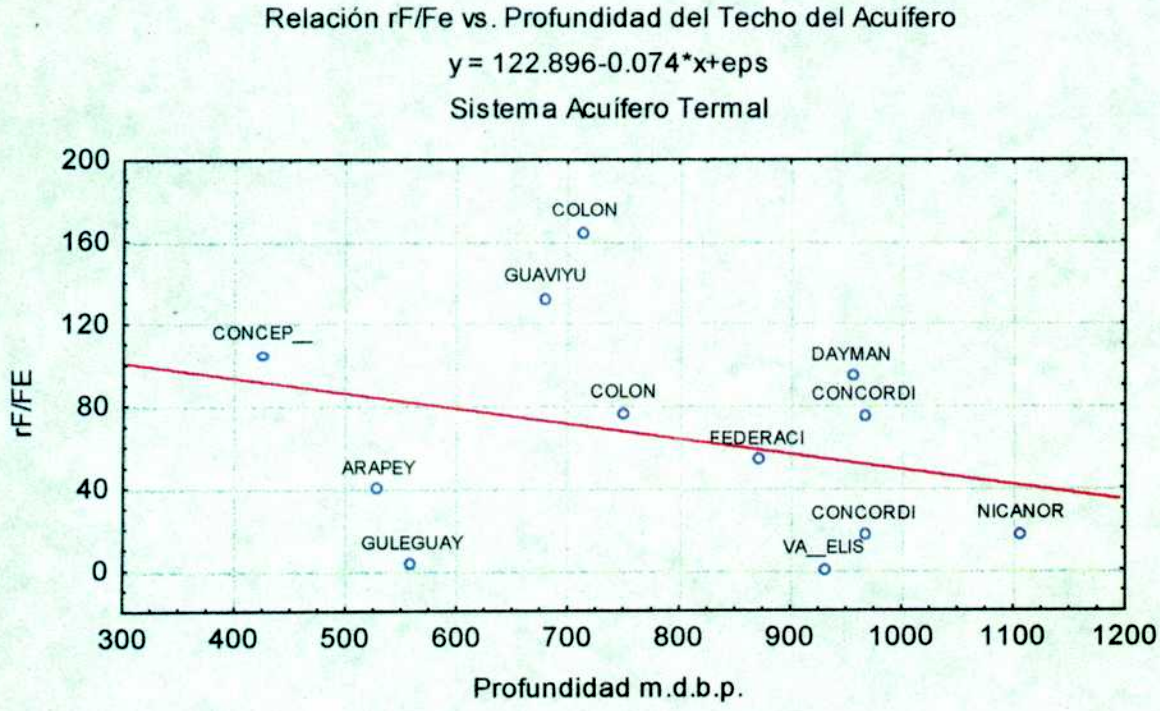


Gráfico 57

Diagrama de Piper, (1953) de las aguas el Sistema Acuífero Termal

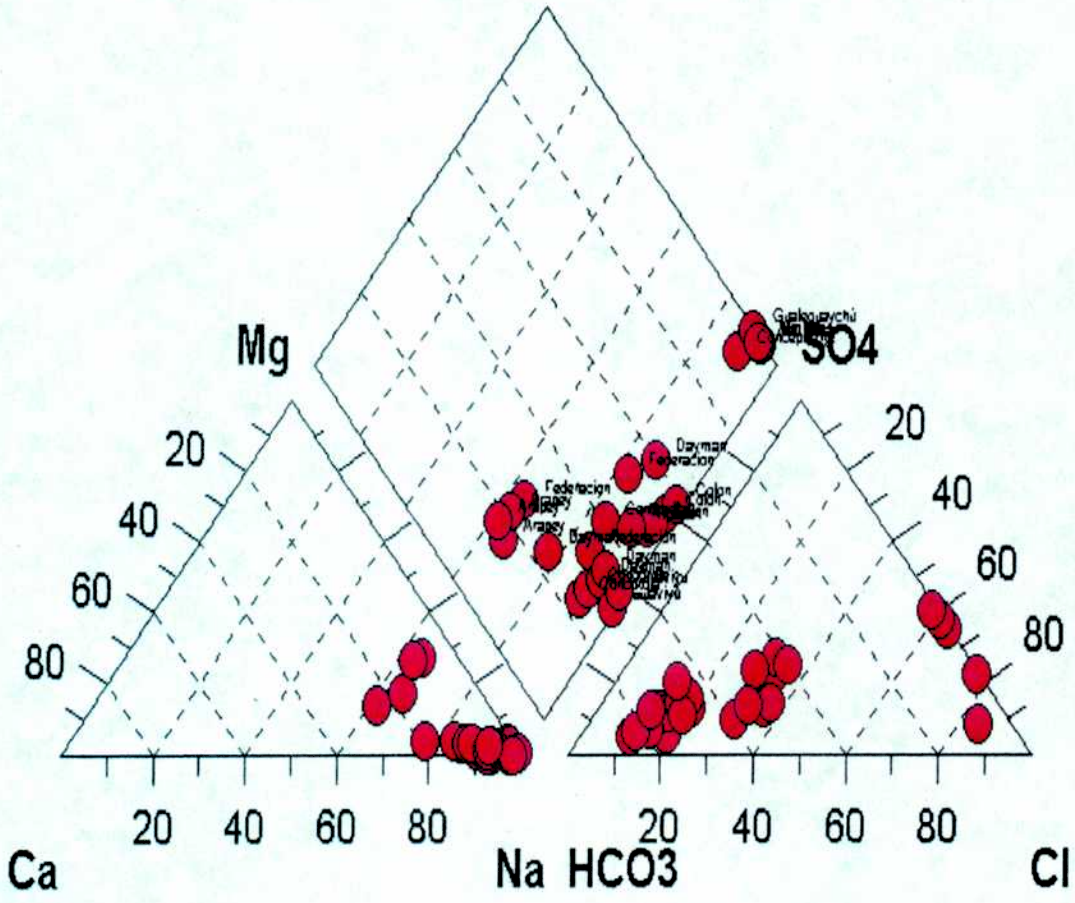


Gráfico 58

Diagramas triangualres de cationes y aniones mayoritarios para las aguas del Sistema Acuífreo Termal

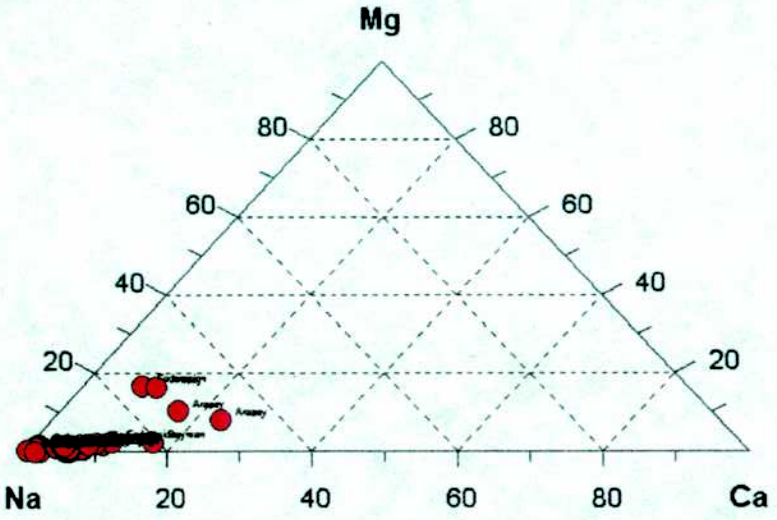


Gráfico 59

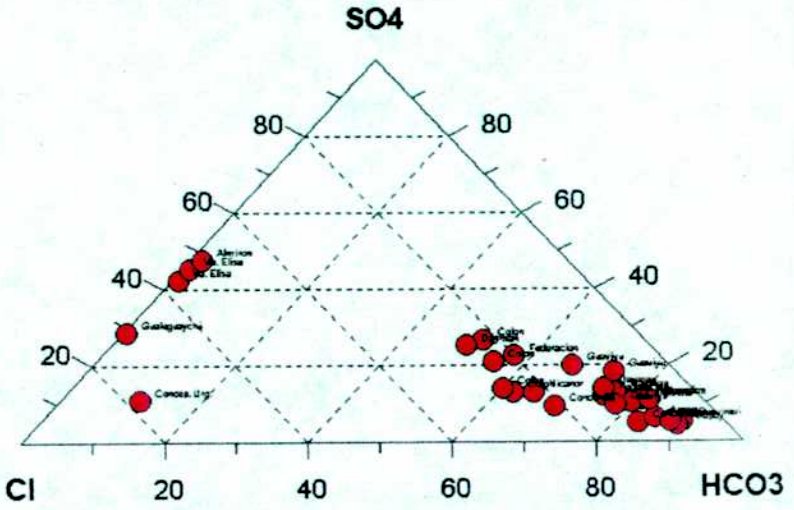
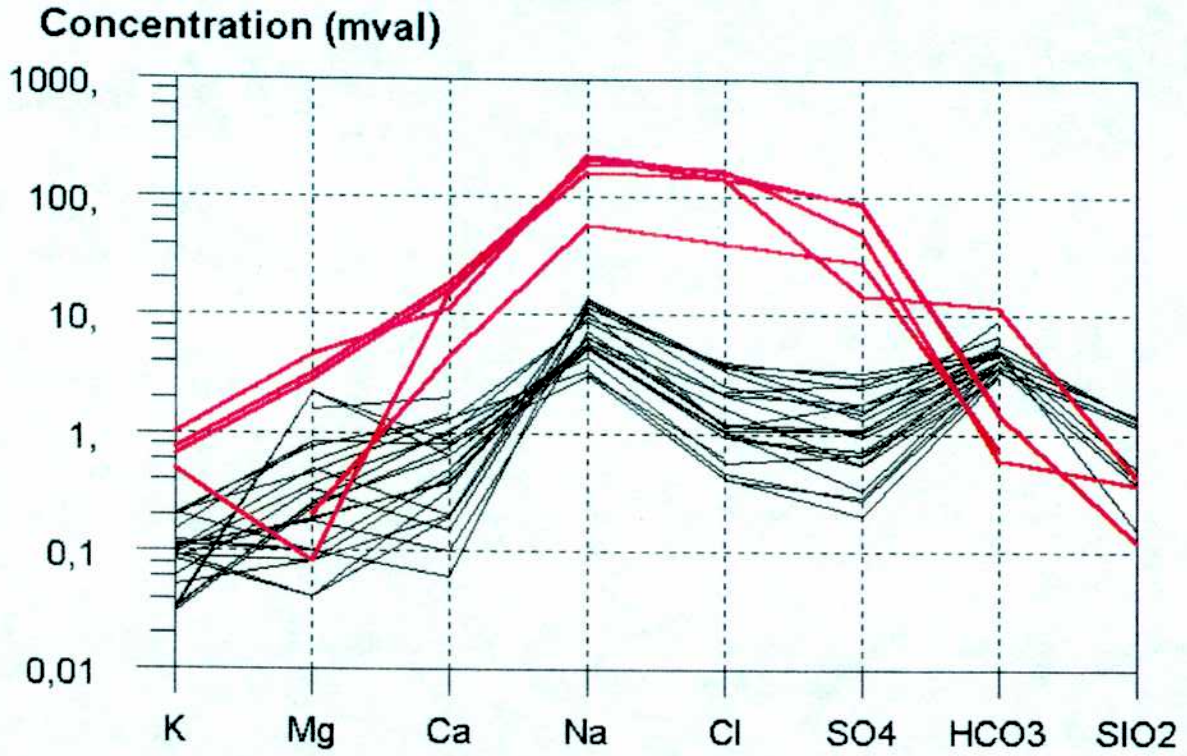


gráfico 60

Diagrama de Schöeller, (1962) para las aguas del Sistema Acuífero Termal



Rojo: Zona Hidroquímica I – Negro: Zona Hidroquímica II

Gráfico 61

Relación entre la Actividad de $CaCO_3$ (Calcita) y la Temperatura

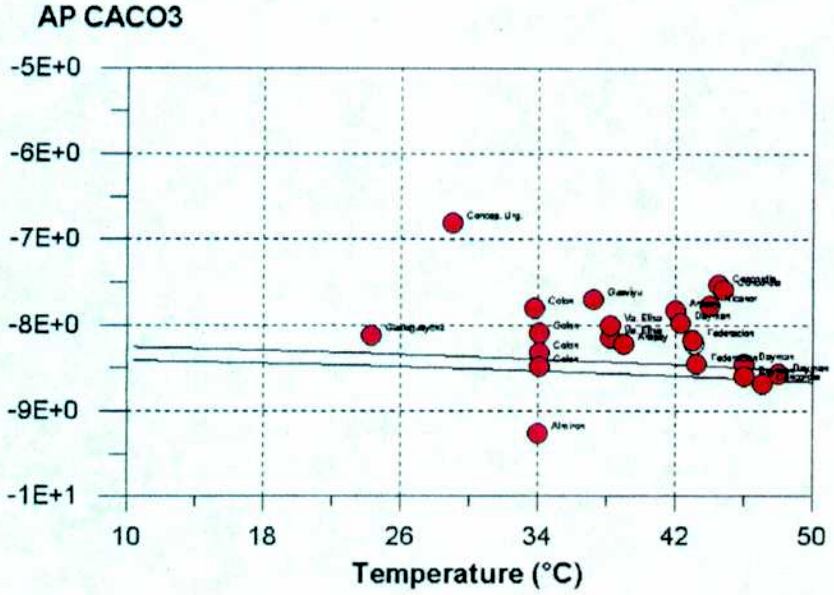


Gráfico 62

Relación entre el Indice de Saturación de la Calcita y la Temperatura

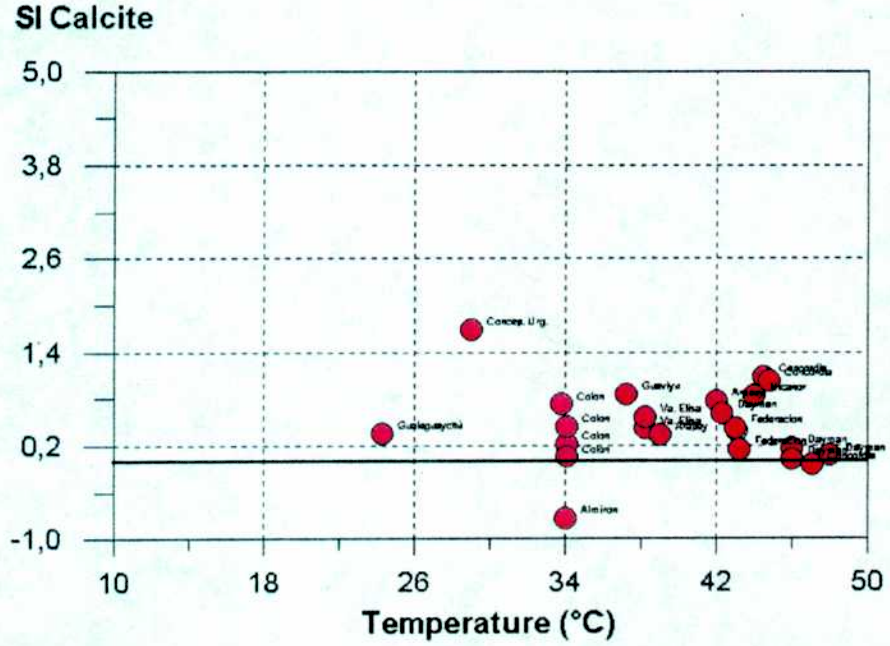


Gráfico 63

Relación entre la Actividad de las especies Ca^{2+} y CO_3^{2-}

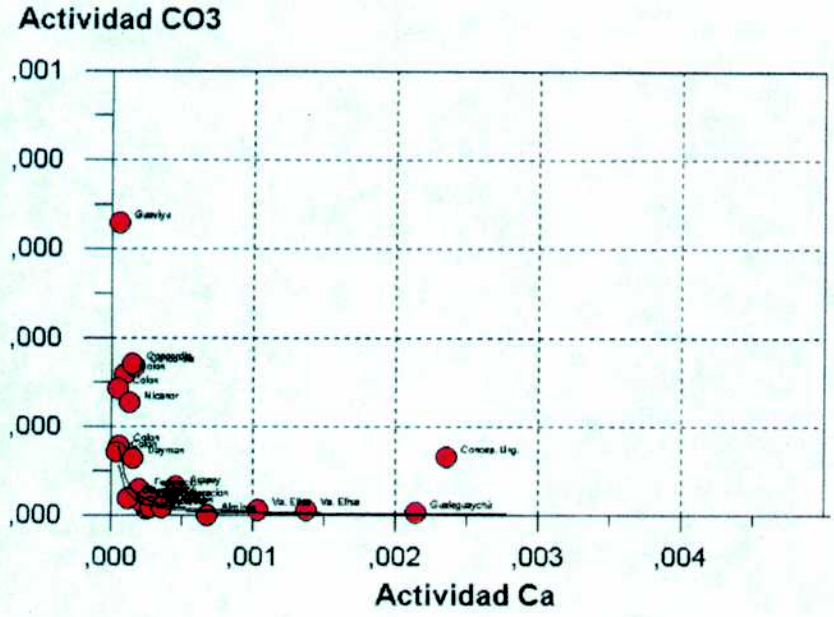


Gráfico 64

Relación entre el indice de Saturación de la Aragonita y la Temperatura

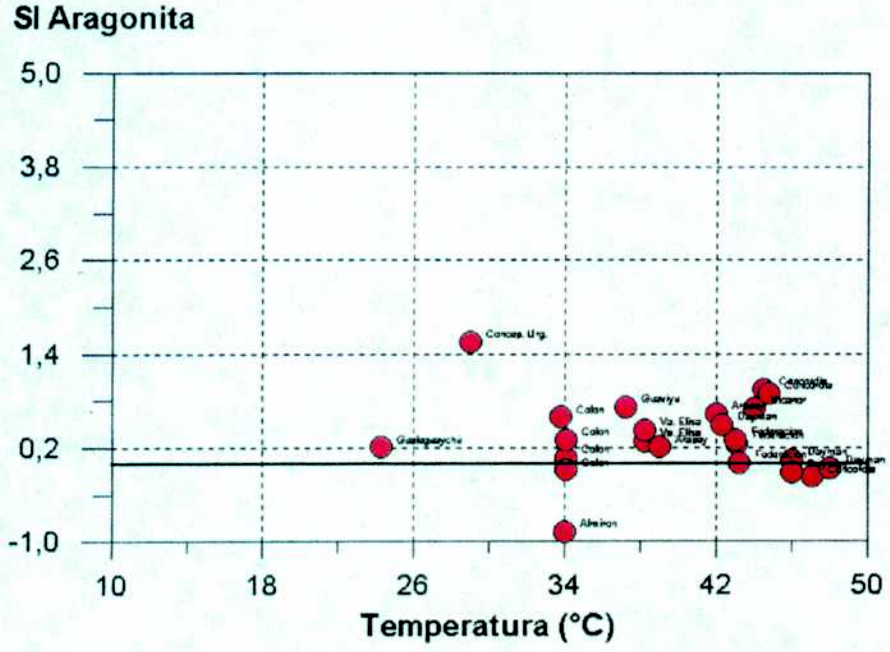


Gráfico 65

Relación de la Actividad del SiO2 (Calcedonia) con la Temperatura

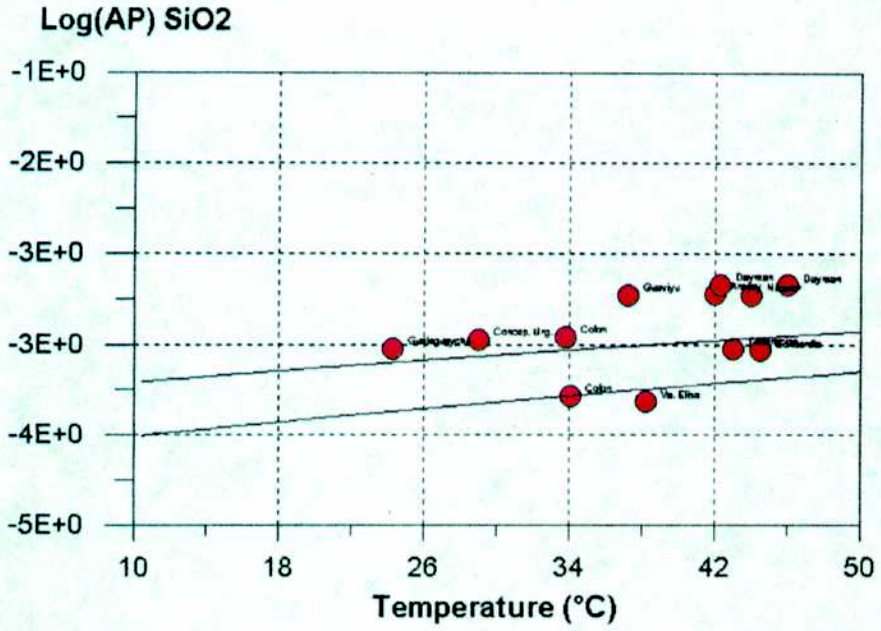


Gráfico 66

Relación entre el Indice de Saturación (SiO2) y la Temperatura

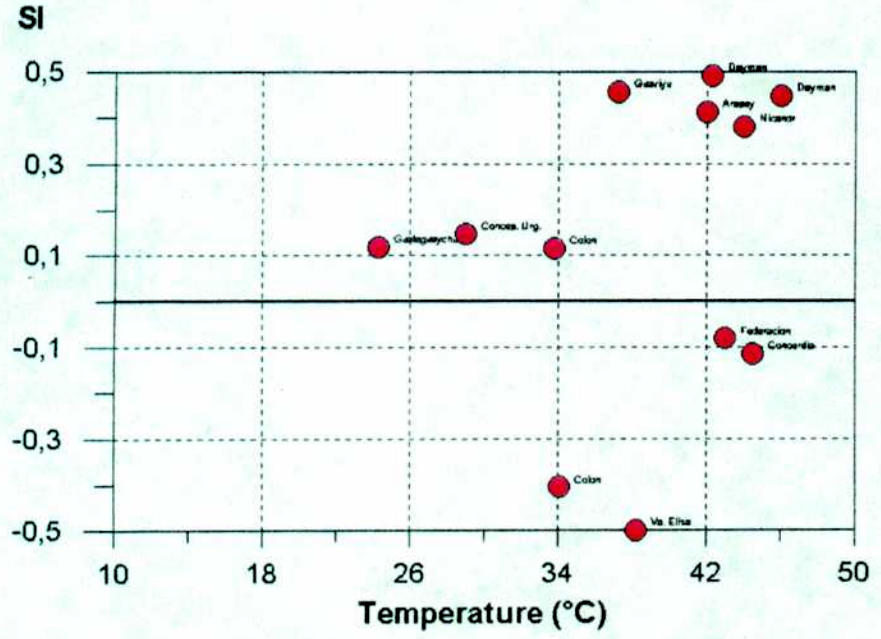


Gráfico 67

Relación de la Actividad del SiO2 (Cuarzo) con la Temperatura

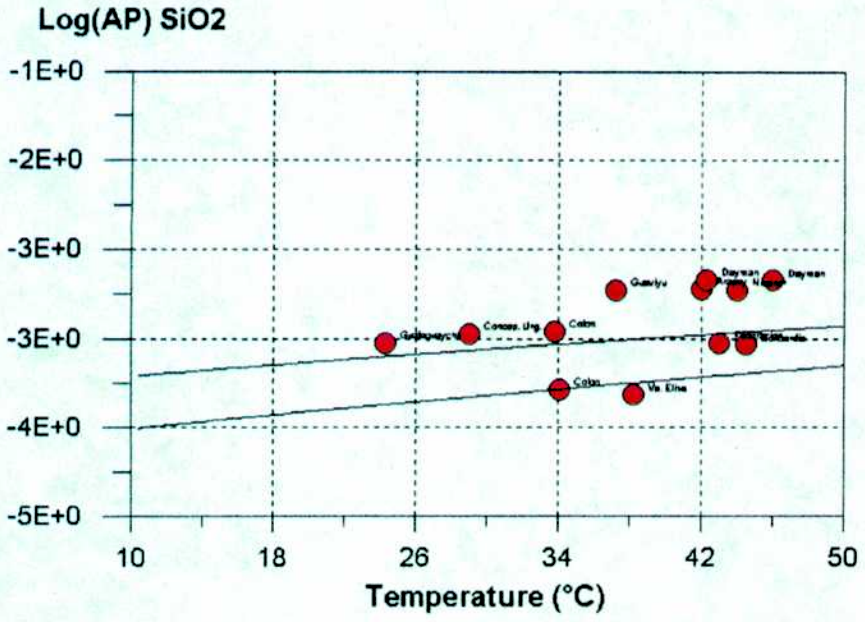


Gráfico 68

Relación entre el Indice de Saturación (SiO2) y la Temperatura

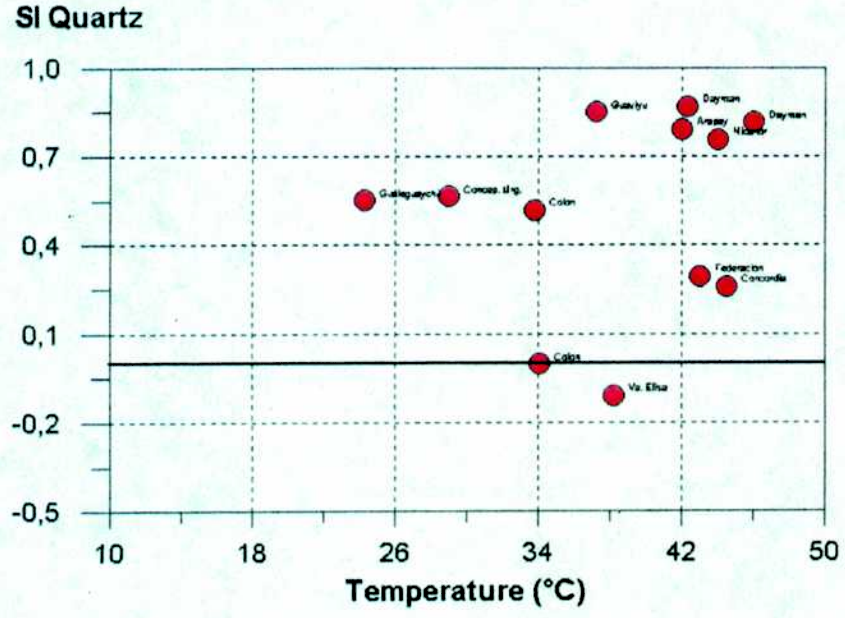


Gráfico 69

Relación de la Actividad de la Siderita con la Temperatura

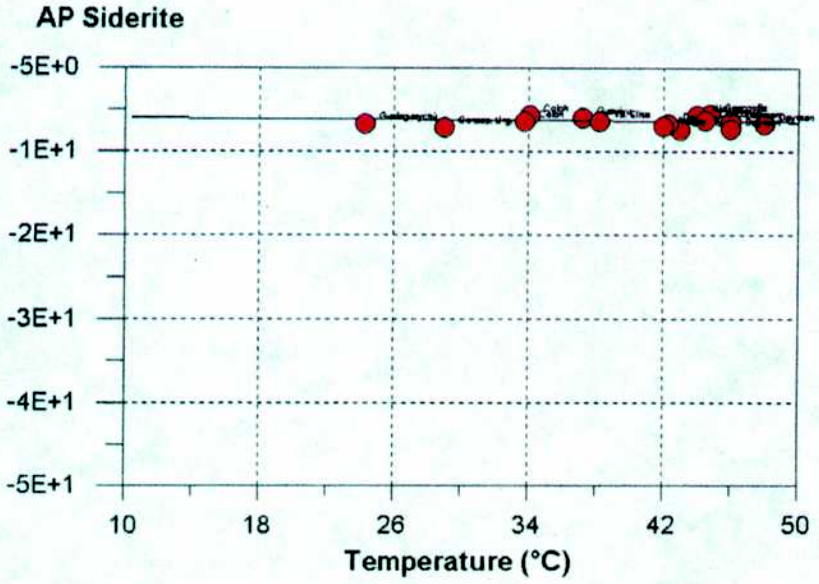


Gráfico 70

Relación del Indice de Saturación (Siderita) con la temperatura

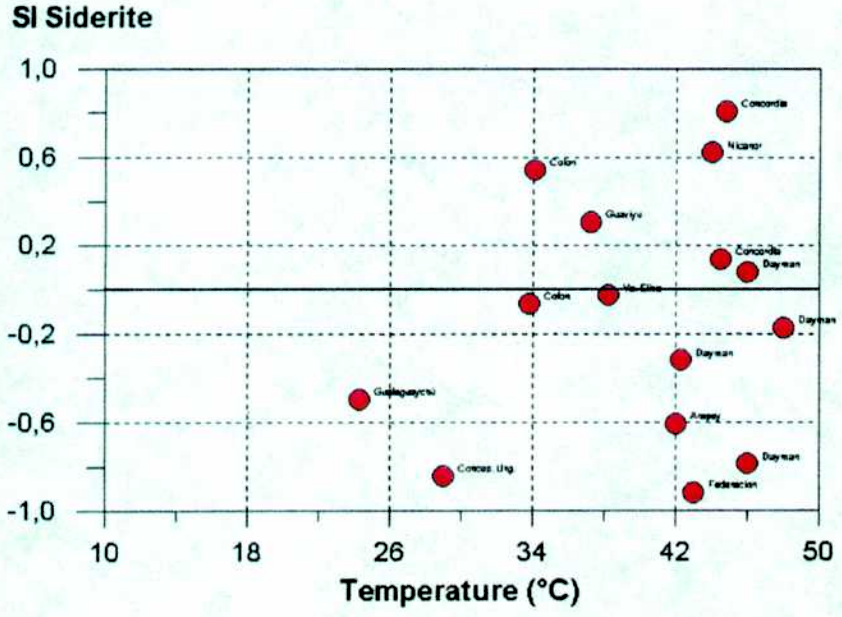


Gráfico 71

Clasificación de los Acuíferos del Sección Suprabasalticos del Area de Estudio.
Diagrama de Piper, (1953).

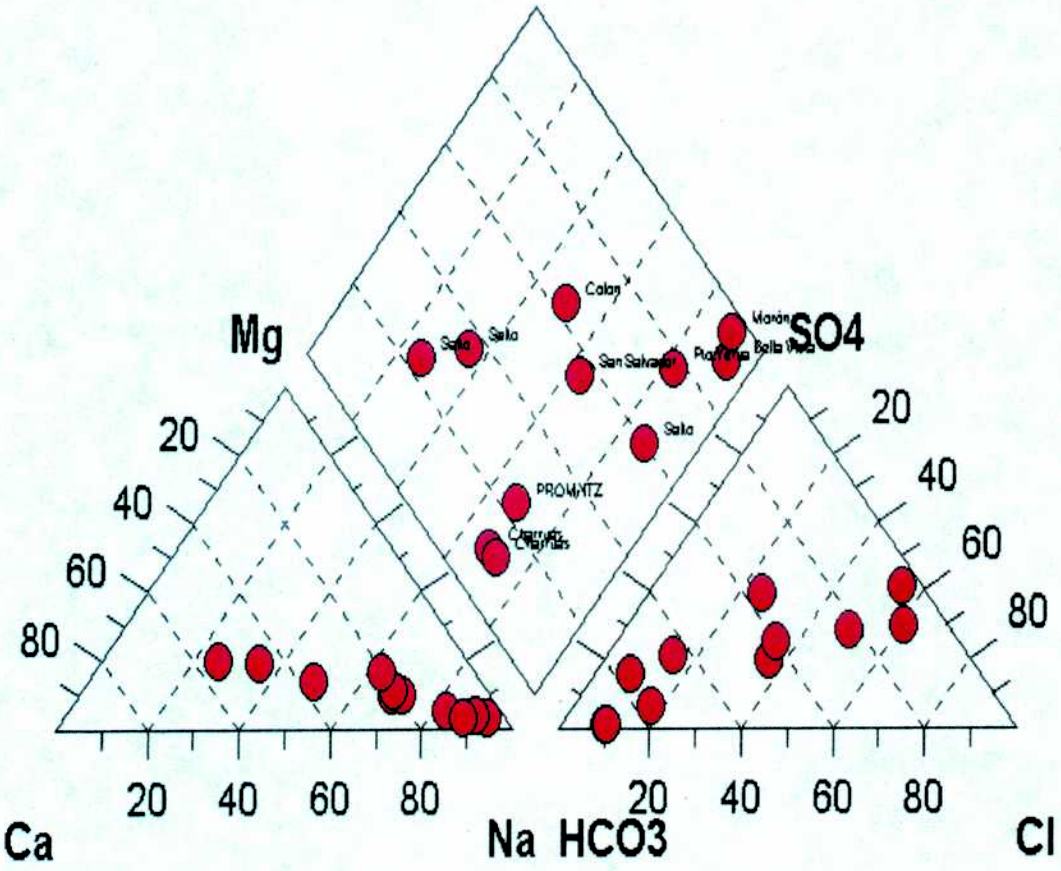


Gráfico 72

Diagrama Trangular de las Especies Aniónicas de los Acuíferos de la Sección Suprabasaltica del Area de Estudio

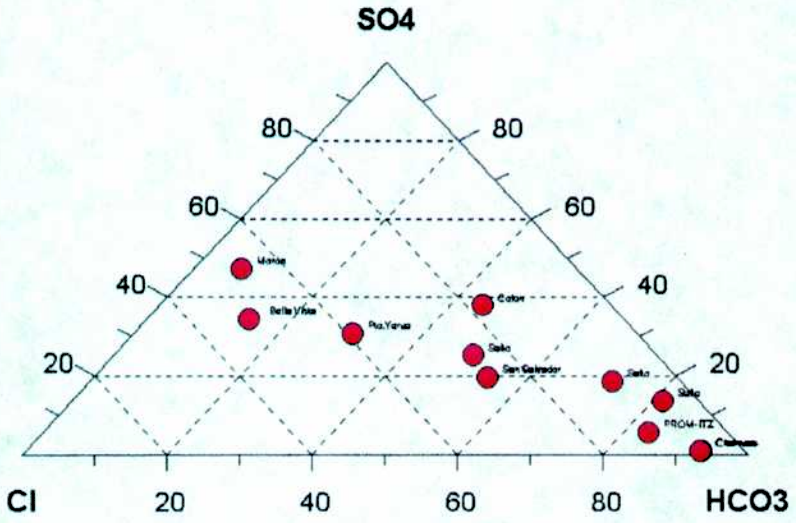


Gráfico 73

Diagrama Trangular de las Especies Catiónicas de los Acuíferos de la Sección Suprabasaltica del Area de Estudio

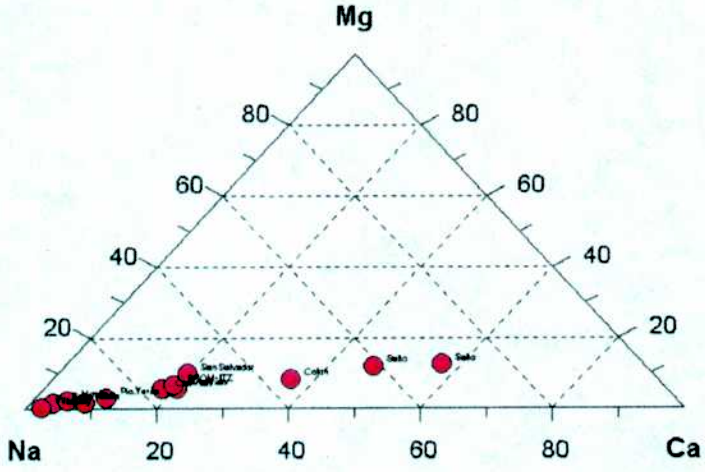


Gráfico 74

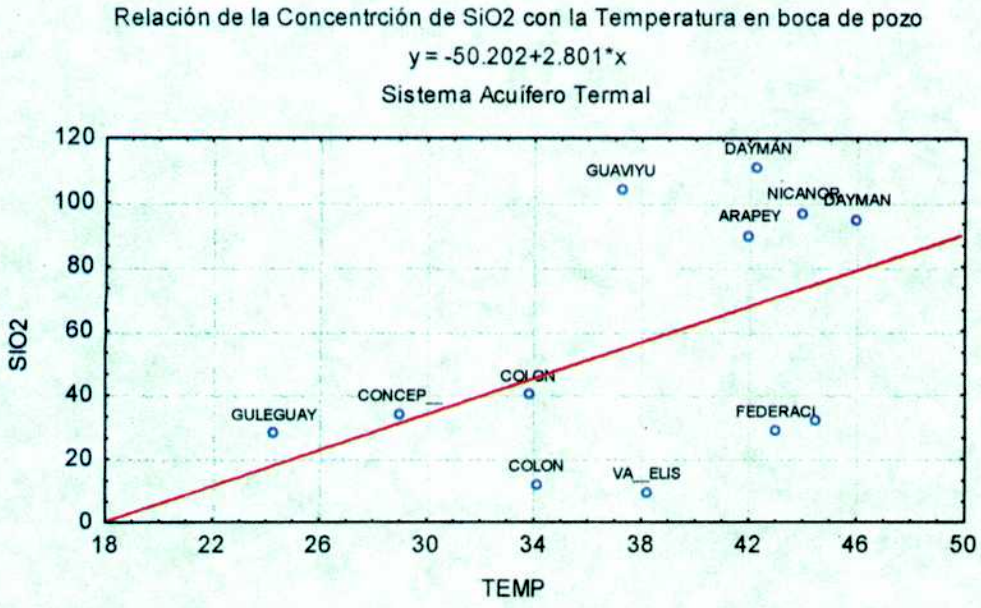


Gráfico 75

Relación entre la Concentración de Sílice la Temperatura y las Curvas de equilibrio de sus variedades cristalinas. Sistema Acuífero Termal (Fournier, 1977)

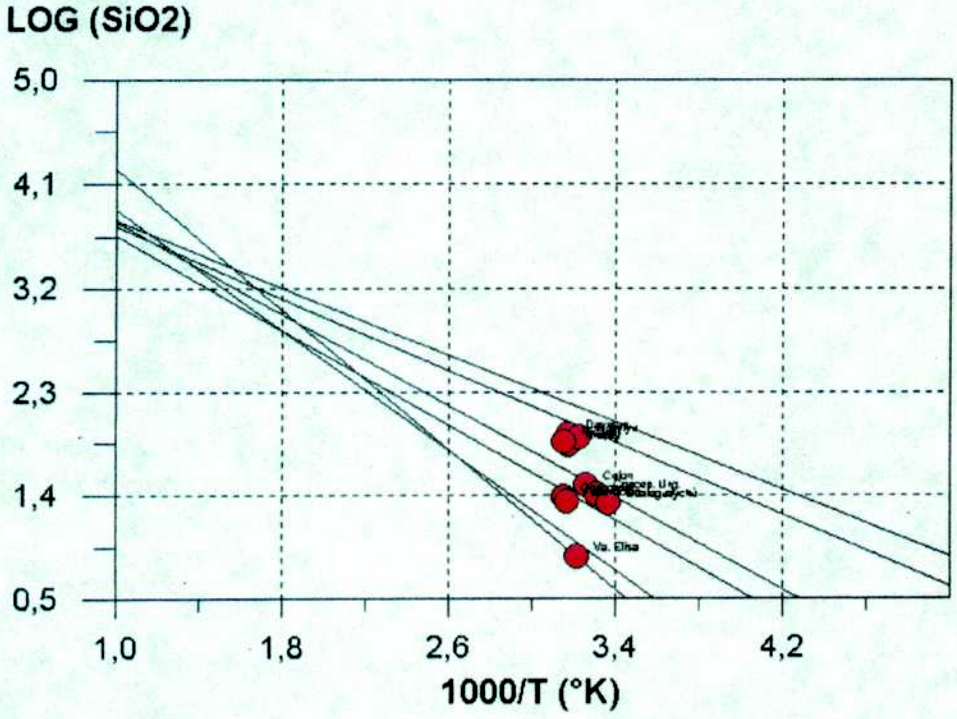


Gráfico76

Geotermómetros Cualitativo considerando la relación de Na^+, K^+ y Mg^{2+}

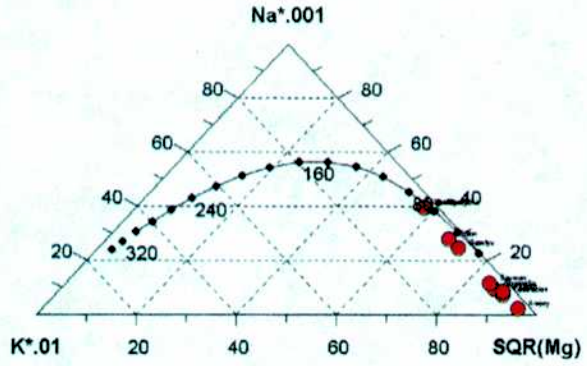


Gráfico 77
Relación entre F^-, SO_4^{2-} y HCO_3^-, utilizada frecuetemente como Geotermómetro Cualitativo.

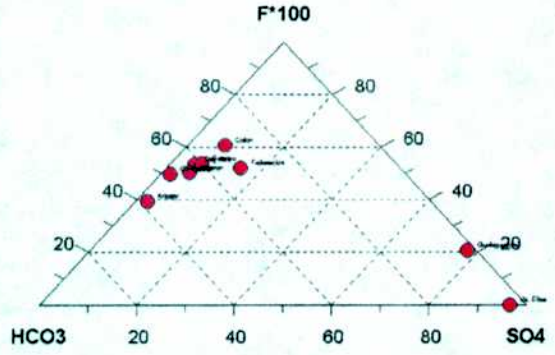


Gráfico 78
Geotermómetro de Griggenbach (1983). relación Na/Mg vs. Temperatura

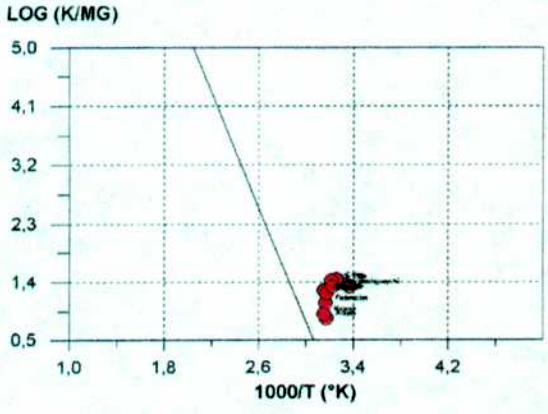


Gráfico 79

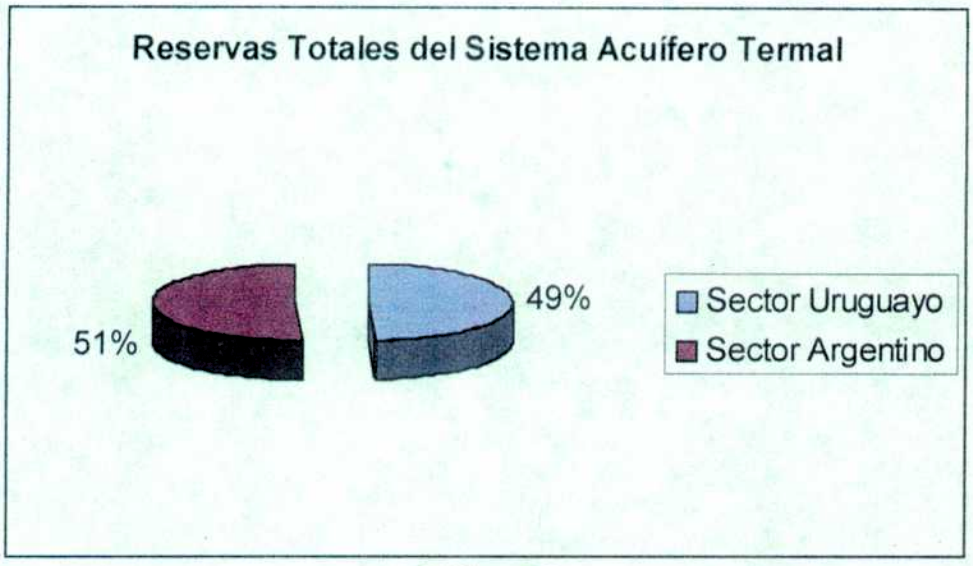


Gráfico 80

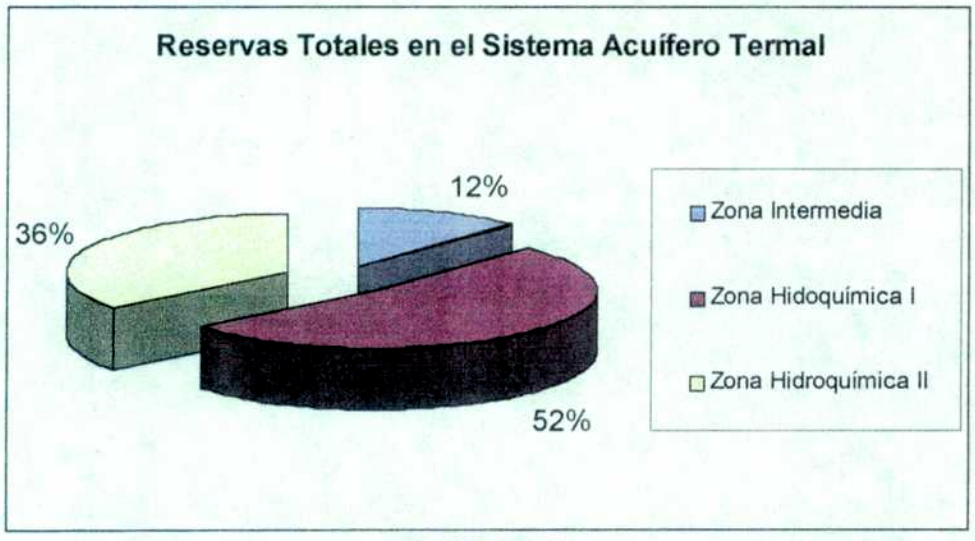


Gráfico 81

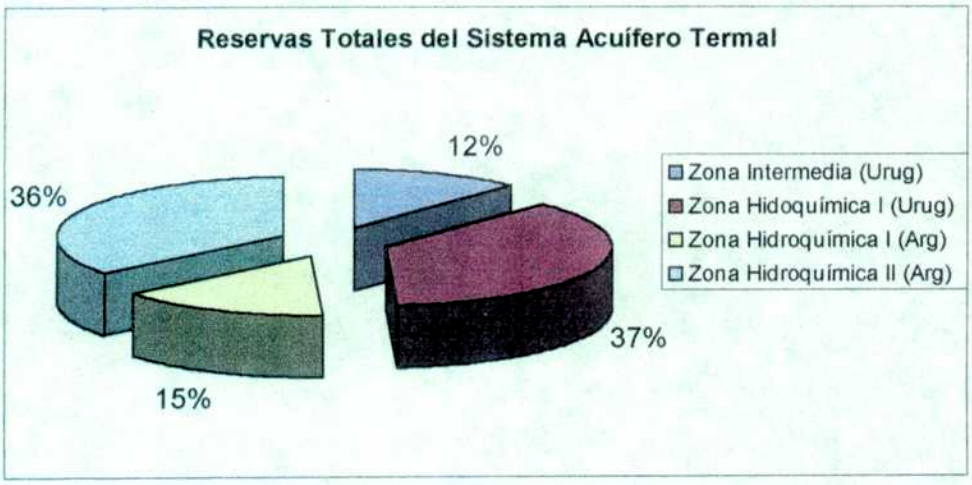


Gráfico 82

Biblioteca Digital
F C E N - U B A

BIBLIOTECA CENTRAL LUIS F LELOIR
BIBLIOTECA CENTRAL LELOIR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UBA

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Mapa

Alto: 60

Ancho: 95

Descripción: Mapa hidrogeológico del sistema acuífero termal en el área de estudio

Esta página no pudo ser digitalizada por tener características especiales. La misma puede ser vista en papel concurriendo en persona a la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir.

This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

EXACTAS UBA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

UBA
Universidad de Buenos Aires

Dirección: Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA - Tel. (++54 +11) 4789-9293

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar