



Facultad de Ciencias
Universidad de la República



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

“Heterogeneidades hidrogeológicas de la Cuenca Inferior del Río Uruguay”

**TRABAJO FINAL DE LA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA, PLAN
1997**

Autor: Marcos Bonjour

Tutor: Jorge Montaña Xavier
Facultad de Ciencias, Universidad de la República

TRIBUNAL: Dr. CLAUDIO GAUCHER, Dra. PAULA COLLAZO, Dra. ELENA PEEL

Mayo 2013

RESUMEN

El área de estudio de este trabajo corresponde a la zona sur de la Cuenca Litoral del Uruguay, así como a la región limítrofe de dicha cuenca de la margen argentina, en la Provincia de Entre Ríos. Esta zona se enmarca dentro de los paralelos 31°00' y 34°00' de latitud S y los meridianos 57°00' y 59°00' de longitud O aproximadamente.

Los recursos hídricos subterráneos en la región litoral uruguaya se corresponden a sedimentos permeables Cretácicos, pertenecientes a las formaciones Guichón y Mercedes, estos episodios sedimentarios se continuaron en la Mesopotamia Argentina, donde se encuentran depósitos correlacionables. En el caso de la Formación Guichón se le asocia a la Formación Puerto Yerúa y a la Formación Saldán en territorio argentino, mientras que la Formación Mercedes tiene su correlación con la Formación Mariano Boedo, sin embargo esto no quiere decir que los acuíferos explotados en ambos márgenes sean los mismos ni que el potencial productivo sea similar. Uno de los objetivos del trabajo más allá de determinar características acuíferas de las formaciones cretácicas en Uruguay, es generar una visión respecto de las asimetrías hidrogeológicas presentes y su repercusión en el desarrollo productivo, basado principalmente en el hecho, que existe un traslado de paquetes tecnológicos relacionados con el agro desde Argentina pensando que existe el mismo potencial hidrogeológico.

En este marco y a los efectos de un mayor entendimiento de las características de los acuíferos mencionados, se ha compilado la mayor cantidad de información geológica e hidrogeológica posible de la Cuenca Litoral, así como también de forma comparativa, de la Cuenca Chacoparanaense en la Provincia de Entre Ríos.

La principal fuente de información hidrogeológica en Uruguay, más allá de la bibliográfica, son datos de alrededor de 200 perforaciones que fueron relevadas directamente en el campo y son el resultado de inventarios de pozos realizados durante estudios de ubicación de captaciones de aguas subterráneas en el marco de los trabajos de la consultora Geoambiente s.r.l. y datos aportados por la División Aguas Subterráneas de OSE.

Del análisis de datos se obtuvo información relevante en el conocimiento de estos acuíferos. En primera instancia se analizó la información hidrogeológica superficial y profunda a partir de los datos provenientes de las perforaciones para establecer la geometría de los acuíferos, como por ejemplo los niveles portadores de agua (acuíferos), su espesor, litología, profundidad, caudal, nivel estático y dinámico.

Con los datos de ensayo de bombeo de pozos representativo de cada nivel portador de agua subterránea se pudo calcular por medio del programa "aquifer test" los parámetros hidrogeológicos como ser Transmisividad y Almacenamiento. Para el acuífero Guichón debido a la poca información obtenida no se pudo caracterizar este acuífero. Para el acuífero Mercedes por otra parte se contaba con la información suficiente y los resultados son los siguientes, el Almacenamiento (S) varía aproximadamente desde $5,0 \cdot 10^{-7}$ a $1,0 \cdot 10^{-3}$, la Transmisividad se sitúa en el entorno de 1 a $190 \text{ m}^3/\text{día}$, esta variación corresponde a que el comportamiento de este acuífero puede alternar de confinado a semiconfinado, además de cambios litológicos importantes. También para este acuífero se calcularon radios de influencia con un rango de valores que varía de 50 a 3000m.

A instancias de la hidrogeología de ambos márgenes del Río Uruguay se puntualizan las divergencias existentes y su repercusión social y productiva. El afloramiento de formaciones de edades cuaternarias de gran capacidad acuífera en el margen argentino utilizadas para riego de cultivos de arroz con caudales superiores a $500\text{m}^3/\text{h}$ (Formación Ituzaingó y Formación Salto Chico), condicionan a que la extracción del agua subterránea en casi su totalidad corresponda a acuíferos superficiales, lo que imposibilita el conocimiento de las características de acuíferos de edad Cretácica al no ser utilizados como fuente de abastecimiento. En la cuenca Litoral uruguaya sin embargo los acuíferos más productivos son los de edad Cretácica y los caudales que se alcanzan son sensiblemente inferiores a los que se consiguen en la Provincia de Entre Ríos (aproximadamente $70\text{m}^3/\text{h}$ en casos aislados).

Las divergencias hidrogeológicas presentes en ambos países corresponden a discontinuidades tectónicas a lo largo del Río Uruguay que han generado por lo menos en un período de tiempo una evolución diferente en ambos márgenes.

INDICE

1. Introducción	6
2. Objetivos.....	6
3. Metodología.....	7
4. Área de estudio	8
4.1. Relieve	8
4.2. Clima	9
4.3. Suelos	10
4.4. Hidrografía	11
4.5. Geomorfología	12
5. Contexto Geológico.....	14
5.1. Cuenca Litoral.....	14
5.2. Cuenca Chacoparanaense.....	23
5.3. Mapa geológico de la región	26
6. Caracterización hidrogeológica.....	29
6.1. Principios de la hidráulica subterránea	29
6.2. Características hidrogeológicas del Acuífero Guichón	31
6.3. Características de las perforaciones en el Acuífero Guichón.....	32
6.4. Características hidrogeológicas del Acuífero Mercedes	34
6.5. Características de las perforaciones en el Acuífero Mercedes	36
6.6. Radio de influencia obtenido de forma práctica	39
6.7. Comparación de perforaciones en los acuíferos Mercedes y Guichón	40
6.8. Acuíferos en la Provincia de Entre Ríos.....	42
6.9. Asimetrías hidrogeológicas.	44
7. Conclusiones.....	47
8. Bibliografía.....	49
Anexos (1, 2).....	53
Agradecimientos	67

Índice de figuras

Figura1. Ubicación del área de estudio marcada en color gris	8
Figura2. Alturas sobre el nivel del mar en Uruguay y en la Provincia de Entre Ríos	9
Figura 3. Mapa de suelos de la región litoral, según Durán et al. (2001)	11
Figura4. Principales cursos de agua en el área de estudio	12
Figura 5. Perfil esquemático de la geomorfología del área litoral	13
Figura6. Planicies de baja pendiente en la Provincia de Entre Ríos	13
Figura7. Vista del relieve en la Cuenca Litoral	14
Figura 8. Ubicación de la Cuenca Litoral. Tomado de Goso & Perea (2004).....	14
Figura 9. Principales altos y lineamientos estructurales de los sectores Centro y Oeste de Uruguay. Tomado de Goso & Perea (2004)	15
Figura 10. Unidades cretácicas de la Cuenca Litoral y su correlación con unidades de la Cuenca Chacoparanaense Argentina. Tomado de Goso & Perea (2004)	16
Figura11. Corte geológico Norte-Sur de la Cuenca Litoral.....	17
Figura 12. Columna estratigráfica propuesta por Alonzo-Zarza et al 2011, para el tope de la Formación Mercedes, Formación Asencio y Formación Queguay.....	22
Figura13. Afloramientos de la Formación Queguay en la localidad de Lorenzo Geyres	22
Figura 14. Principales cuencas y altos en el área de estudio y zonas aledañas. Modificado de Barredo & Stinco (2010)	23
Figura 15. Mapa geológico del área de estudio con las perforaciones relevadas más representativas (modificado de Bossi et al 2001)	27
Figura 16. Mapa geológico del área de estudio con las perforaciones relevadas más representativas (modificado de Bossi et al 2001)	28
Figura17. Distribución de profundidad en perforaciones de la Formación Guichón	32
Figura 18. Distribución de caudal en perforaciones de la Formación Guichón.....	33
Figura 19. Caudal vs profundidad (Fm. Guichón)	33
Figura 20. Distribución de profundidad en perforaciones de la Formación Mercedes.....	36
Figura 21. Distribución de caudal en perforaciones de la Formación Mercedes.....	37
Figura 22. Caudal vs profundidad (Fm. Mercedes)	38
Figura 23. Ensayo de bombeo de la perforación 146	39
Figura 24. Gráfico radio de influencia.....	40
Figura 25. Porcentaje de perforaciones por acuífero	41
Figura 26. Caudal extraído por acuífero	41
Figura 27. Corte hidrogeológico sintético del sector Norte.....	44
Figura 28. Corte hidrogeológico sintético del sector Central	44
Figura 29. Corte hidrogeológico sintético del sector Sur	45
Figura 30. Corte esquemático E-W desde la ciudad de Villa Elisa (Entre Ríos) a la ciudad de Guichón (Paysandú) mostrando las discontinuidades a cada lado del Río Uruguay	46

Índice de Tablas

Tabla 1. Transmisividad y Almacenamiento en la Formación Guichón.....	31
Tabla 2. Radios de influencia calculados para perforaciones en Formación Guichón.....	34
Tabla 3. Transmisividad y Almacenamiento en Formación Mercedes.....	35
Tabla 4. Radios de influencia calculados para perforaciones en Formación Mercedes.....	38
Tabla 5. Espesores de la Formación Mercedes y de la Formación Mariano Boedo (modificado de Goso & Perea, 2004)	43
Tabla 6. Espesores de la Formación Guichón y de la Formación Puerto Yerúa. (modificado de Goso & Perea, 2004)	43

1. INTRODUCCIÓN

En el conocimiento del potencial social y productivo de un área, no se puede evadir el estudio de las fuentes de origen del agua, ya sean ríos, lagos o acuíferos. Es imprescindible contemplar con claridad cada una de las opciones para la correcta toma de decisiones. Es conocido que en el área litoral uruguayo y en la Provincia de Entre Ríos en Argentina existen acuíferos que se han venido explotando hace varias décadas para el abastecimiento público de poblaciones y riego.

Sin embargo existen aspectos no del todo claros en el lado uruguayo debido a la falta de un análisis hidrogeológico del subsuelo del área considerada. Otra limitación es la información de las perforaciones que, o bien no se toman datos en el campo o es posible hallarla esparcida en diferentes organizaciones públicas y privadas, que en muchos casos se encuentra incompleta. Dado este contexto, unificar el conocimiento hidrogeológico del área es de por sí un objetivo a alcanzar, pero lo más significativo es la posibilidad de contar con la información suficiente como para caracterizar de forma satisfactoria los acuíferos Cretácicos del litoral que sirva de base para un posterior modelo conceptual.

Además este trabajo se enmarca en el convenio entre las universidades de La Plata (Argentina) y de la República, para el estudio geo-hidrogeológico de la cuenca inferior del Río Uruguay. Se presentan los resultados de los estudios sobre las características hidrogeológicas del área y se estudian las causas de la generación de las asimetrías del potencial hidrogeológico entre los acuíferos de ambos márgenes del Río Uruguay.

2. OBJETIVOS

GENERAL:

- Realizar una caracterización hidrogeológica de las formaciones sedimentarias Cretácicas presentes en la Cuenca Litoral del Uruguay (Formación Mercedes y Formación Guichón) y analizar las diferencias de los acuíferos que existen en ambos márgenes del Río Uruguay.

ESPECIFICOS:

- Uniformización de la información hidrogeológica emanada de las perforaciones que extraen agua de los acuíferos Cretácicos del litoral.
- Calcular parámetros hidráulicos de los acuíferos citados por medio de ensayos de bombeo aplicando los métodos de interpretación en cada caso.
- Analizar las asimetrías existentes en acuíferos correlacionables en ambos países.

3. METODOLOGÍA

Como forma de concretar los objetivos planteados, se detallan a continuación las diferentes actividades realizadas tanto en campo como gabinete.

Campo

- 1) Caracterización geológica general del área relevando afloramientos y realizando cortes geológicos.
- 2) Recopilación de información de perforaciones por medio de la observación de las características constructivas y medición de parámetros hidráulicos.
- 3) Ensayos de bombeo en perforaciones ubicadas tanto en Formación Guichón como en Formación Mercedes.
- 4) Registro fotográfico de las actividades llevadas a cabo.

Gabinete

- 5) Revisión bibliográfica y recopilación de información del área de estudio.
- 6) Caracterización geológica con datos bibliográficos.
- 7) Recopilación de datos de perforaciones en organismos públicos y empresas privadas, generando un inventario de pozos.
- 8) Caracterización del área de estudio, ubicación, clima, relieve, hidrografía, suelos, geomorfología por medio de información existente en publicaciones y presente en sitios web estatales.
- 9) Interpretación de la información obtenida en diferentes ámbitos (relevadas en el campo, bases de datos), determinando las principales características de los pozos en la Cuenca Litoral.
- 10) Determinación de los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos Cretácicos del litoral de Uruguay por medio del programa informático "Aquifer Test".
- 11) Cálculos de radios de influencia para los acuíferos Cretácicos a través del método directo gráfico y por medio de los parámetros hidrogeológicos.
- 12) Comparación de las características hidrogeológicas en los acuíferos de ambos márgenes del Río Uruguay a partir de la información bibliográfica.
- 13) Realización de columnas hidrogeológicas como forma de resumen y comparación con los acuíferos estudiados tanto del lado uruguayo como argentino.

4. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca la Cuenca Litoral del Uruguay que se encuentra ocupando de forma parcial los departamentos de Salto, Paysandú, Río Negro, Soriano, Colonia, Durazno y Flores. Además el área de la Provincia Argentina de Entre Ríos, limítrofe con dicha cuenca, será tomada dentro de este trabajo como sitio de análisis y comparación (ver figura1).

Esta zona geográfica esta acotada entre los paralelos 31°00' y 34°00' de latitud sur y los meridianos 57°00' y 59°00' de longitud oeste aproximadamente, abarcando un área total de 50000 km².

Cabe señalar que la escala de trabajo no fue estrictamente fija debido a que se ha variado en las diferentes etapas de este trabajo para hacer más flexible el análisis de todos los factores, yendo desde escalas regionales (1-500000) para la caracterización del área de estudio y presentar la información geológica, hasta escalas más detalladas en el caso de radios de influencia por ejemplo.



Figura 1. Ubicación del área de estudio marcada en color gris.

4.1. Relieve

El relieve característico de la región es de lomadas suaves y colinas de formas tabulares es decir de cima aplanada, con alturas que no superan los 200m sobre el nivel del mar. Como se observa en la figura 2, las mayores alturas se dan hacia el este, en donde comienzan los afloramientos de rocas del basamento cristalino y los basaltos de la Cuenca Norte. Mientras tanto el relieve se hace progresivamente más aplanado hacia el oeste, en la provincia argentina de Entre Ríos, donde planicies de baja pendiente dominan el paisaje.

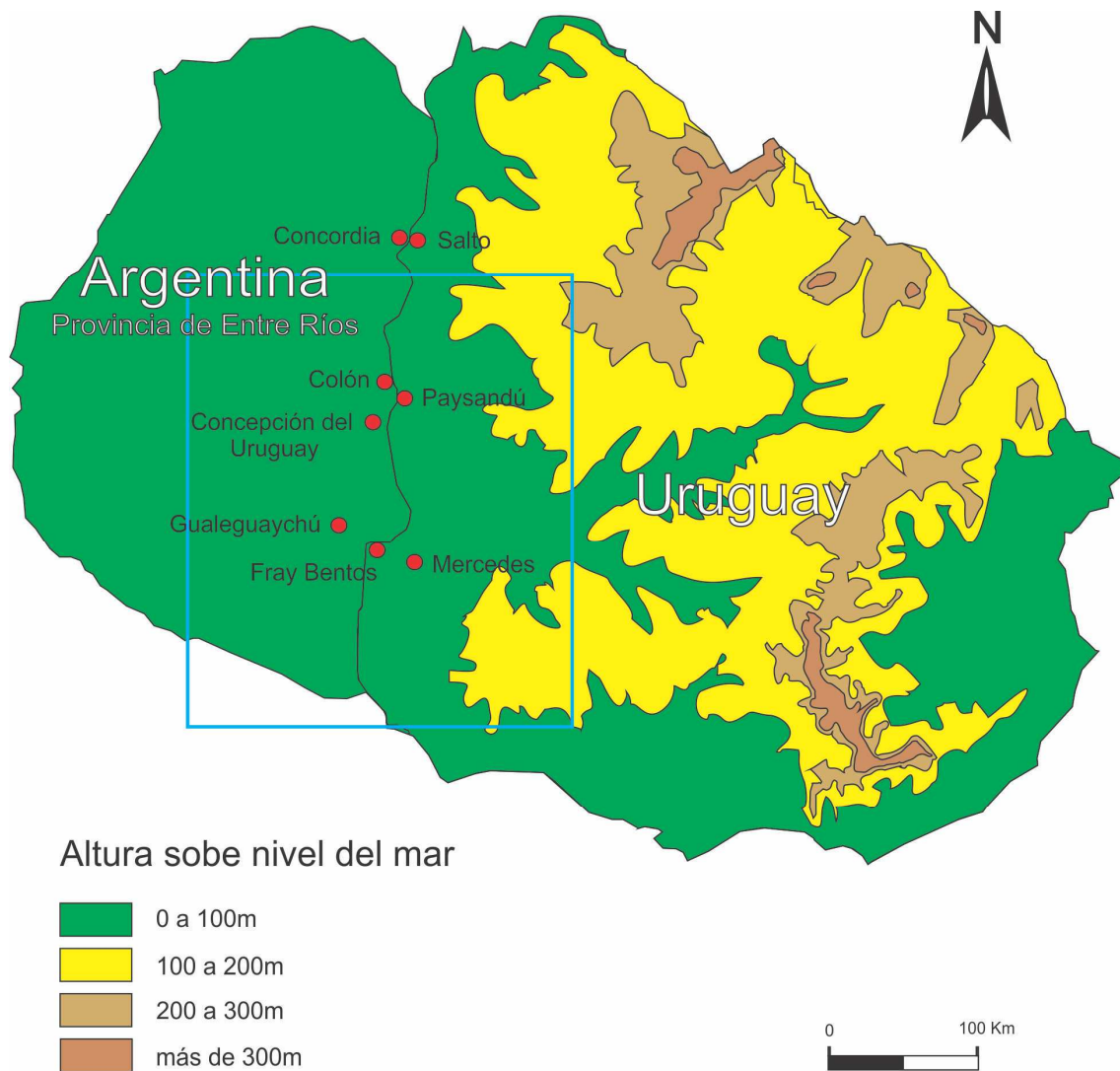


Figura 2. Alturas sobre el nivel del mar en Uruguay y en la Provincia de Entre Ríos, recuadro celeste marca el área de estudio. (Modificado de Mapa Topográfico de Uruguay a escala 1-500.000 del Servicio Geográfico Militar. 1992).

4.2. Clima

En términos generales el área de estudio se encuentra íntegramente en zona templada. Las variaciones de temperatura y precipitaciones son pequeñas debido a la ausencia de un relieve montañoso o de serranías.

La temperatura media anual es de 17,5°C, siendo las extremas 42,4°C, en la ciudad de Paysandú y -7,9°C en la ciudad de Mercedes. Los meses con temperaturas más altas son enero y febrero, mientras que las más bajas se dan en junio y julio. (Dirección Nacional de Meteorología¹).

Las precipitaciones medias anuales van de 1100mm, en el sur hasta 1300mm en el norte del área de estudio. El mes de marzo es el más lluvioso mientras que diciembre es el mes con menos lluvias. Pese a esto las precipitaciones de la región son irregulares apareciendo ocasionalmente períodos de secas, como también períodos con alto exceso hídrico (Dirección Nacional de Meteorología¹).

Predominan los vientos con dirección NE a E, con velocidades medias de 4m/s, siendo la máxima velocidad media en el departamento de Colonia con 7m/s. También son frecuentes vientos superiores a los 30m/s. (Dirección Nacional de Meteorología²).

La humedad media oscila entre 70% y 75%, siendo el mes más húmedo julio con una media de 80%, y el más seco es enero con una media de 65%. Es frecuente que la humedad relativa oscile entre 45% después del mediodía y supere el 90% en horas de la madrugada (Dirección Nacional de Meteorología^{1y2}).

4.3. Suelos

Las unidades de suelos generados a partir de la sedimentación Cretácica son las siguientes: Algorta, Bacacué, Bellaco, Bequeló, Chapicuy, Cuchilla del Corralito y Paso Palmar (MGAP, 1994).

A continuación se describirán cada una de ellas de forma resumida (ver figura 3):

Los suelos de la *unidad Algorta* se generan por sedimentos areno-francos y areno-arcillosos, con moderada a severa erosión. Los tipos de suelos dominantes son Brunosoles y Argisoles subéutricos, asociados a Argisoles y Planosoles dístricos.

La *unidad Bacacué* tiene como material generador arenas francas, presentan nula erosión o de forma puntual si es que existe. Los suelos típicos de esta unidad son Brunosoles dístricos asociados a Argisoles subéutricos.

Sedimentos arcillosos y calizas son el material de generación de los suelos de la *unidad Bellaco*, la cual presenta nula erosión, y tiene como tipo de suelos principales vertisoles rúpticos asociado a brunosoles subéutricos.

La *unidad Chapicuy* es generada por arenas francas a arenas arcillosas, con erosión leve a moderada. Los tipos de suelos de esta unidad son los brunosoles y argisoles subéutricos asociados a argisoles y planosoles dístricos.

La *unidad Cuchilla del Corralito*, de erosión moderada, se genera a partir de sedimentos arcillosos y areno-arcillosos, dando lugar a vertisoles y brunosoles, de forma secundaria planosoles y argisoles.

Por último la *unidad Paso Palmar* que se genera a partir de areniscas cretácicas tiene como principales tipos de suelos constituyentes a los brunosoles y vertisoles.

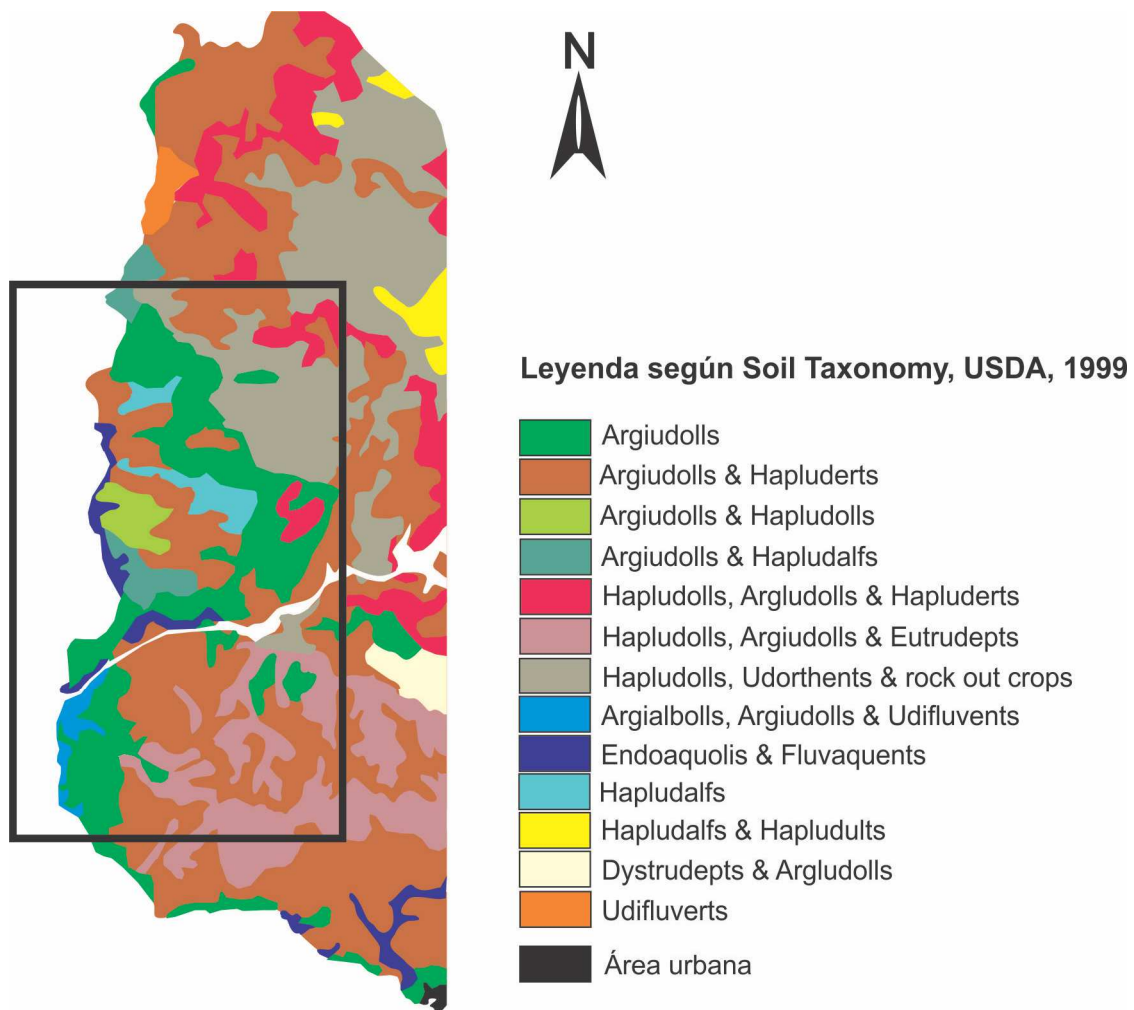


Figura 3. Mapa de suelos de la región litoral según Durán et al. (2001).

4.4. Hidrografía

Con respecto a la hidrografía, el principal curso de agua en la zona de estudio es el Río Uruguay, que forma parte de la Cuenca del Plata junto con los ríos Paraná, Paraguay y Salado. El área de drenaje de la Cuenca del Plata es de 339000 km², con sus nacientes en territorio brasileiro (Serra do Mar) recorre 1800 km en dirección Norte-Sur para finalmente previa conjunción con el Río Paraná, formar el Río de la Plata (Chiozza & Figueira, 1981).

El Río Uruguay según su régimen hidrológico puede clasificarse como subtropical, y se divide en tres tramos: superior, medio e inferior.

El tramo que se desarrolla en el área de estudio es el inferior, que se extiende desde Salto Grande hasta Punta Gorda en el departamento de Colonia, con una extensión de 334 km, una pendiente media de 0,03m/km y una velocidad de las aguas que oscila en 0,5m/s.

El caudal promedio medido frente a la ciudad de Salto y Concordia es de 4500 m³/s (C.A.R.U., 2013)

Los principales afluentes del Río Uruguay desde territorio uruguayo son: Río Negro, Río Queguay, Río Arapey, Río Daymán y Río San Salvador, en territorio Argentino: Río Gualeguaychú y Arroyo Grande (ver figura 4).



Figura 4. Principales cursos de agua en el área de estudio (marcado en el recuadro rojo).

4.5. Geomorfología

A lo largo del Río Uruguay, en la Cuenca Litoral aparecen sedimentos de edad Cretácica, Terciaria y Cuaternaria que generan un paisaje de colinas alargadas, aplanadas y de baja pendiente.

Particularmente en el área uruguaya existe un importante condicionamiento geomorfológico en el comportamiento de los acuíferos presentes. Esto está dado por la presencia de limos arenosos finos de baja permeabilidad que actúan como techo de los acuíferos cretácicos Mercedes-Guichón constituyendo un confinamiento de estos depósitos. Esta situación se presenta cuando la Formación Fray Bentos (Oligoceno) se ubica en el tope de las colinas, estos sedimentos actúan según el espesor como una capa impermeable a semi-permeable que le confiere un carácter de confinado ha semiconfinado a los acuíferos infrayacentes.

En esta área los acuíferos están protegidos y su vulnerabilidad es baja y el riesgo de contaminación disminuye.

En cambio cuando los acuíferos se encuentran sin cobertura de estos sedimentos oligocénicos se comportan como acuíferos libres y en la mayoría del área coinciden con

zonas de recarga conformando zonas de alta vulnerabilidad donde se deberían tomar recaudos para su protección (ver figura 5).

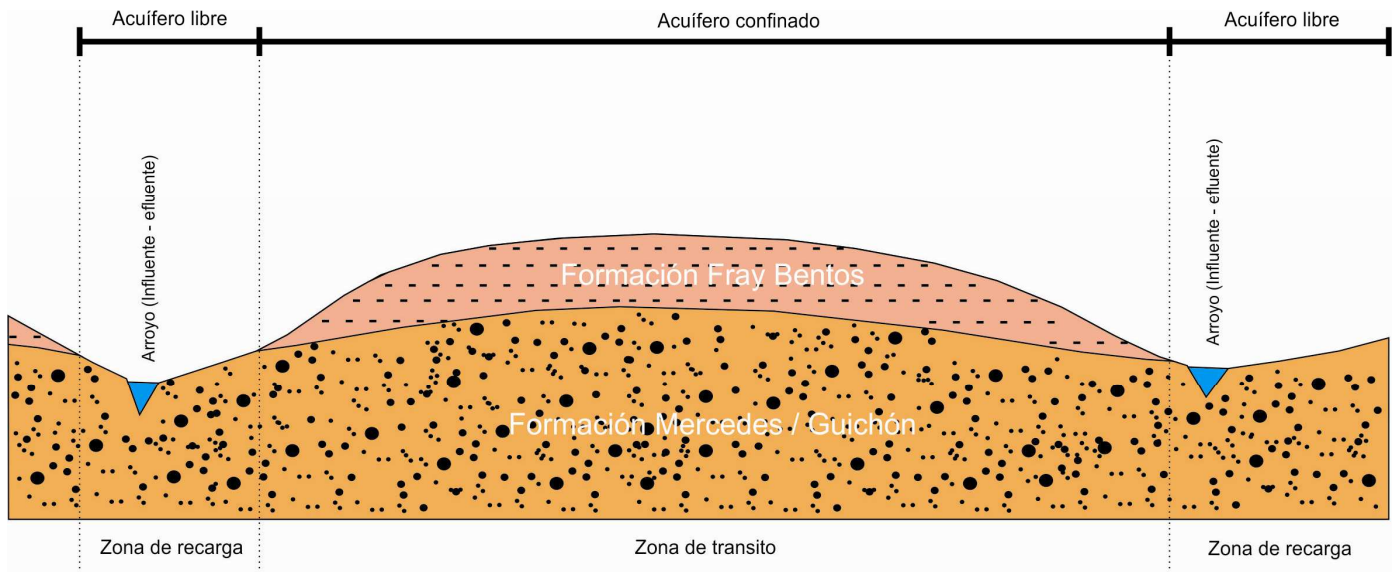


Figura 5. Perfil esquemático de la geomorfología del área litoral.

Hacia territorio Argentino, aparece un mayor espesor (comparado con la Cuenca Litoral) de sedimentos Terciarios y Cuaternarios lo que genera un aplanamiento marcado del relieve. En la Provincia de Entre Ríos por este motivo, aparecen planicies con muy baja pendiente que se transforma en zonas de bañados en el extremo el sur, correspondiente con la desembocadura del Río Paraná (ver figura 6).



Figura 6. Planicies de baja pendiente en la Provincia de Entre Ríos.

El área está comprendida dentro de la llanura Chacopampeana según Chebli et al (1989) se define como aquella de menos de 200m de cota y sin elevaciones topográficas, con una extensión desde Bolivia y Paraguay hacia el sur. Se ve limitada en el oeste por las Sierras Subandinas y Pampeanas, al sur de estas por la cota 200 hasta el Río Colorado, y al sudeste por Ventania, Tandilia y el litoral atlántico.

En el sector uruguayo del área de estudio aparece un relieve más abrupto (ver figura 7) debido a la presencia de los basaltos de la Formación Arapey en el norte y rocas del basamento pertenecientes al Terreno Piedra Alta en el sur.

Estas rocas condicionan la sedimentación posterior debido a estructuras geológicas que generan altos en el terreno, siendo estas estructuras el Lineamiento Daymán-Bonete, Alto del Río Queguay, Lineamiento Río Negro y Alto Martín García (ver figura 9).



Figura 7. Vista del relieve en la Cuenca Litoral.

5. CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1. Cuenca Litoral

Esta cuenca de aproximadamente 25000 km², se continua geográficamente en la Mesopotamia Argentina, presentando sedimentos de edad Cretácica y Cenozoico, con un espesor en torno a los 300m (ver figura 8).

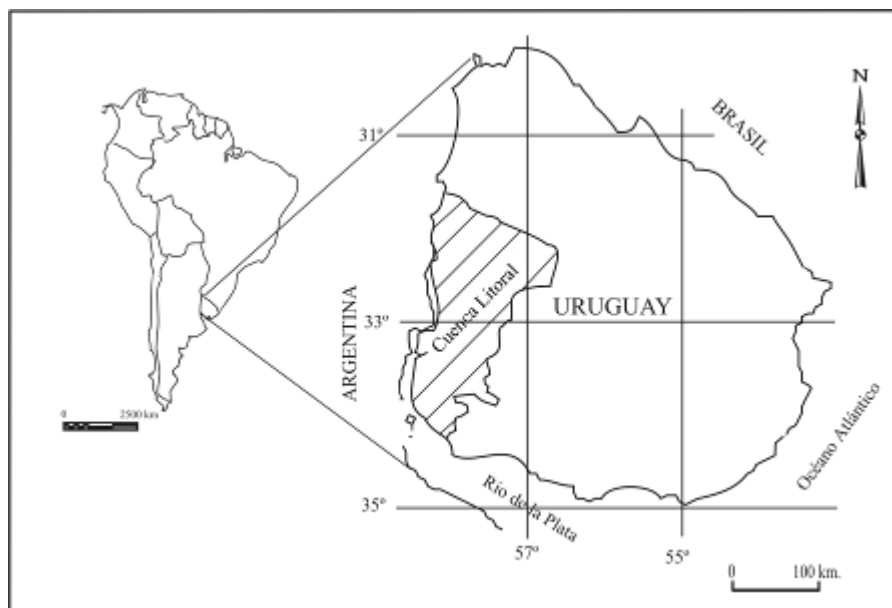


Figura 8. Ubicación de la Cuenca Litoral (tomado de Goso & Perea, 2004).

El sustrato de esta cuenca se conforma en el norte y noreste por rocas pertenecientes a la Formación Arapey, mientras que en el sur y sureste se compone por “granito-greenstone” del terreno Piedra Alta.

Las principales direcciones estructurales heredadas de este sustrato, condicionaron de forma importante la sedimentación de esta cuenca, se pueden mencionar el caso de la falla Sarandí del Yí – Arroyo Solís Grande (Oyhancabal et al 1993), fallas que afectan derrames basálticos como en el caso de Daymán-Bonete con dirección NNW y lineamientos rumbo NS (ver figura 9).

Durante el Neocomiense se presentó globalmente una regresión marina, y regionalmente se dió un magmatismo fisural que produjo espesos derrames basálticos de la Formación Arapey. Posteriormente la sedimentación continental predominó en cuencas tipo rift, estrechas y profundas. En este contexto distensivo y de subsidencia termo-mecánica producto del peso de los derrames basálticos, se generó un espacio sedimentario de carácter endorreico, cuyo epicentro se localiza en la Mesopotamia (Goso 1999).

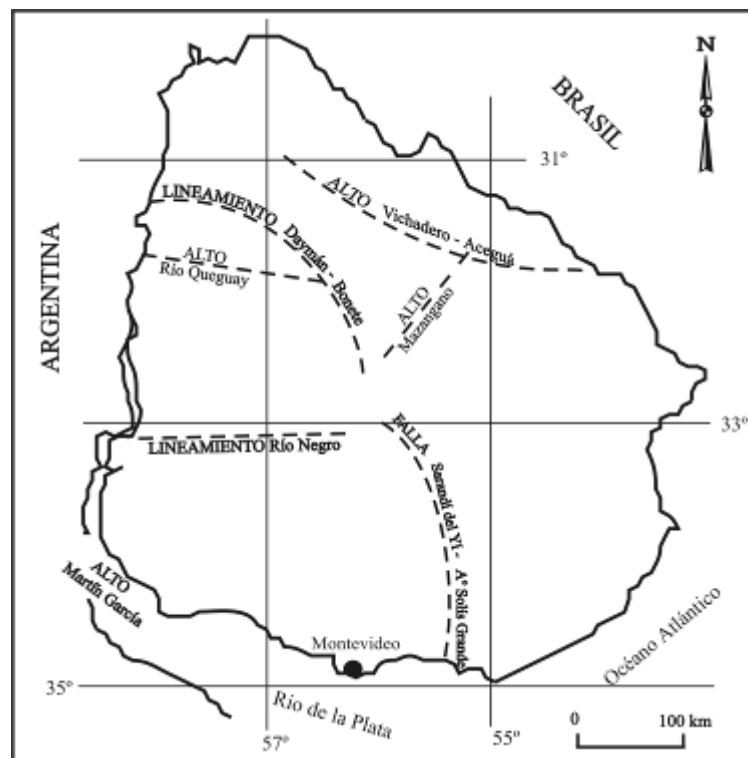


Figura 9. Principales altos y lineamientos estructurales de los sectores Centro y Oeste de Uruguay. Tomado de Goso & Perea (2004).

Se presentan aquí litologías sedimentarias de edades que van desde el Cretácico hasta el Holoceno, con un origen fluvial e importantes fenómenos epigenéticos y pedogénicos. Este es el caso de las rocas denominadas “Calizas del Queguay”, que son paquetes producto de calcretización que se produjo en el Terciario inferior según Goso & Perea (2004).

Se puede mencionar que esta cuenca se continúa en la Mesopotamia Argentina, en donde se pueden correlacionar por ejemplo la Formación Guichón con la Formación

Puerto Yeruá y Formación Saldán, como también la Formación Mercedes con la Formación Mariano Boedo (ver figura 10) en función de sus características litoestratigráficas.

		UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	
		URUGUAY	ARGENTINA
TERCIARIO	PALEOCENO	Fm. Queguay	Fm. Pay Ubre Fm. Arroyo Castillos
	SUPERIOR	Fm. Mercedes	Miembro del Palacio Miembro Yapeyú Miembro del Chileno
CRETÁCICO	INFERIOR	Fm. Guichón	Fm. Saldán
			Fm. Puerto Yeruá

Figura 10. Unidades cretácicas de la Cuenca Litoral y su correlación con unidades de la Cuenca Chacoparanaence Argentina. Tomado de Goso & Perea (2004).

Como se puede observar en el corte geológico realizado de Norte a Sur (ver figura 11), se muestra el pasaje del basamento cristalino a la Formación Arapey y la distribución de las unidades sedimentarias presentes en la Cuenca Litoral. Es importante señalar que los espesores de las Formaciones tomados en cuenta en cada localidad, son el resultado de un promedio de los perfiles de perforaciones en cada sitio.

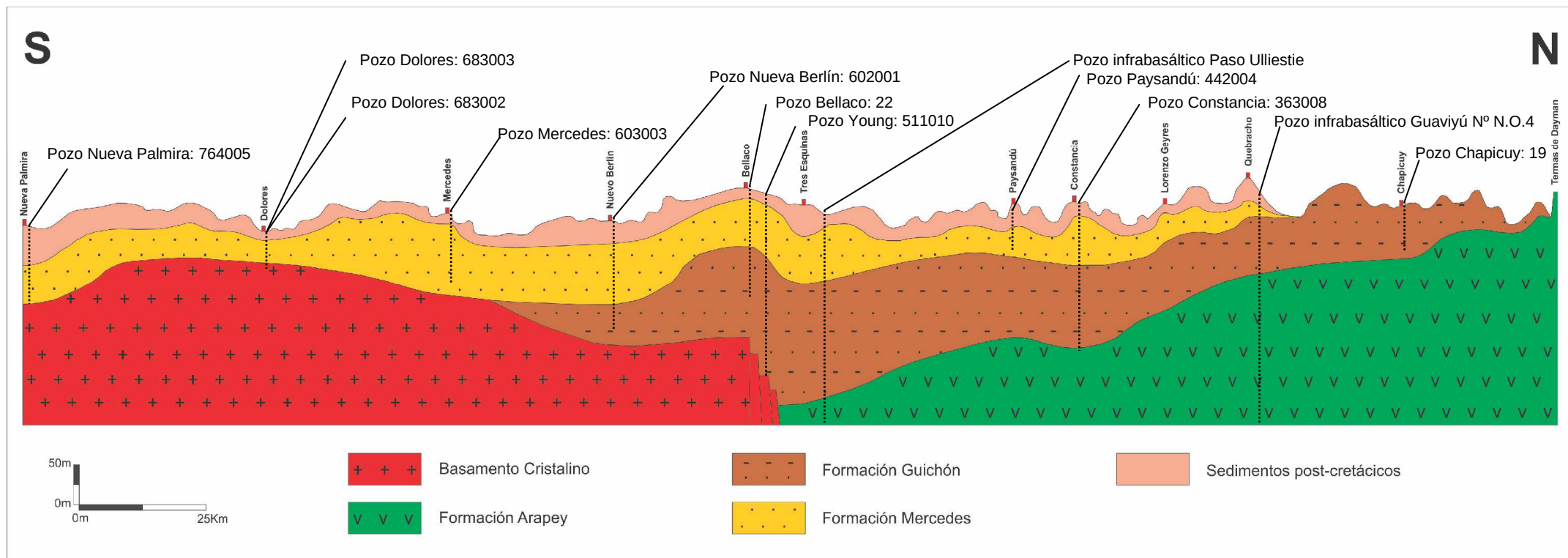


Figura 11. Corte geológico Norte-Sur de la Cuenca Litoral.

5.1.1. Formación Guichón

Se trata de una unidad definida por Bossi (1966), que se apoya discordantemente sobre los basaltos de la Formación Arapey y es cubierta según en qué posición de la cuenca se considere, por las formaciones Mercedes, Fray Bentos, Salto y depósitos cuaternarios.

Según Goso (1999), el 90% de los sedimentos de esta unidad serían areniscas finas a medias de colores que varían de rosados a rojos grisáceos. Presentan una matriz pelítica que constituye 30 al 35% de la roca. Los clastos del esqueleto presentan un grado de selección moderado a bueno, clastos sub-redondeados, cuarzosos.

Para Bossi & Navarro (1988) la composición de la fracción arena es en base a cuarzo, microclina, albita, granate y epidoto.

Las estructuras sedimentarias presentes en esta Formación son laminaciones plano-paralelas, cruzadas, gradaciones, así como también nódulos originados por bioturbación. Aparecen canales de psamitas gruesas a conglomerados con clastos de hasta 3cm (Gancio & Ford, 1990), siendo la composición de los clastos exclusivamente basálticos. Además aparecen conglomerados polimícticos de color rosado, los clastos son angulosos a sub-redondeados, mal seleccionados, compuestos generalmente por cuarzo, areniscas y basalto. En la base de los estratos aparecen intraclastos pelíticos marrones. De forma secundaria estratos pelíticos macizos en ocasiones laminados, de colores marrones a rojizos de espesores métricos. Se presentan como lentes con estructuras de carga en el tope. Composicionalmente estas pelitas estarían compuestas en general por esmectita (Goso 1999), además pueden aparecer asociados lechos calcáreos según Bossi & Navarro (1988).

En cuanto al ambiente de sedimentación se puede observar que predominan los procesos tractivos correspondientes a regímenes de bajo a alto flujo. Areniscas con ripples y estratificación cruzada de bajo ángulo indicarían condiciones de flujo bajo, en sitios de corrientes de baja profundidad e intermitentes. Areniscas gruesas a muy gruesas masivas y con estratificación plano paralela indicarían que también habrían existido regímenes de flujos altos. Estos sedimentos estarían representando barras fluviales. En cuanto que los conglomerados con estratificación cruzada acanalada serían rellenos de canales (Goso & Perea 2004). Para Tófaló (1998) estos depósitos se originaron por un sistema fluvial anastomosado de canales múltiples. Bossi & Navarro (1988) por su parte proponen que simultáneamente existieron depósitos eólicos que dominan en la base de la Formación con episodios fluviales de carácter torrencial. Perinotto & Goso (1998), consideran un ambiente continental, del tipo aluvial, con diferentes tasas de sedimentación desde baja a alta, con importante acción biogénica.

5.1.2. Formación Mercedes

Esta Formación fue definida por Bossi (1966), se ubica en la zona centro sur de la Cuenca Litoral mostrando gran diversidad litológica. En el centro norte del país esta Formación se apoya discordantemente sobre Guichón y Arapey, en el litoral sur se apoya sobre distintas litologías del Terreno Piedra Alta, en tanto que en el centro llega a apoyarse sobre rocas de las formaciones Cerrezuelo y Tacuarembó. Por otra parte puede ser cubierta discordantemente por las formaciones Fray Bentos y Libertad.

Ford & Gancio (1989) subdividieron la Formación en dos miembros, uno inferior conformado por una secuencia grano y estrato decreciente y otra superior a partir de que existe uniformización faciológica. El miembro inferior se integra con depósitos de arreglo general granodecreciente y estratificación de tamaño mediano a medio, cuya base la forman diamictitas o conglomerados que pueden evolucionar raramente hasta pelitas calcáreas o calcáreos de poca potencia. El miembro superior se define como una secuencia de areniscas de tamaño fino a medio con selección regular con arena gruesa dispersa, de colores pardo rosado a amarillenta. En esta secuencia se intercalan niveles de calizas que alcanzan hasta 15 m de potencia según Veroslavsky et al (1998) con presencia rara vez de arena. Para Alonzo-Zarza (2011) estos niveles carbonáticos en el tope de la Formación Mercedes son independientes a los que existen en la Formación Queguay (ver figura 12).

El ambiente de depositación para Bossi (1996) fue un sistema fluvial efímero de carácter torrencial, con condiciones semiáridas y formaciones de lagos en los bordes de la cuenca que permitieron la sedimentación de calizas y pelitas. Por otra parte Tófaló & Pazos (1998) y Tófaló & Pazos (2010) definen un ambiente aluvial tipo fluvial con clima húmedo estacional, en el que la escasez de pelitas indica que los canales eran de baja sinuosidad. Ford & Gancio (1989) señalan cantos graníticos de 20 cm, encontrados en la zona del perfil tipo, a más de 100 km del área fuente más cercana lo que indicaría una paleotopografía fuerte o una importante actividad tectónica sin-sedimentaria.

En Goso & Perea (2004) se propone agrupar estas litologías en dos Miembros: Yapeyú y del Chileno sin definir la posición estratigráfica respectiva de ambos. A continuación se describen por presentar importantes implicancias en el comportamiento hidrogeológico del acuífero Mercedes.

5.1.2.1. Miembro Yapeyú

Las areniscas corresponden al 50% del Miembro, en donde se puede individualizar en areniscas finas de colores blancas, blancas grisáceas a marrón rojizo, con grado de selección bueno. Los clastos están compuestos por 85 a 90% de cuarzo y son redondeados. El cemento puede ser tanto calcáreo como ferruginoso, siendo frecuente la presencia de concreciones de óxido de hierro.

Es común observar en estas rocas sedimentarias un aspecto masivo, también aparecen con menos frecuencia las siguientes estructuras sedimentarias: laminación plano paralela, laminación cruzada planar y gradación normal.

Una porción de la Formación Mercedes (aproximadamente 20%), lo componen pelitas de colores marrón rojizo, macizas o con laminación plano paralela. Se disponen de forma lenticular, con la ocasional presencia de calcáreos en los planos de

sedimentación.

Otro aspecto litológico constatado a través del estudio de perforaciones fue la presencia de arcillas verdes con cristales de yeso tanto en Bellaco como Nuevo Berlín, donde en la primera localidad se practico la minería de yeso (Goso & Perea 2004).

5.1.2.2. Miembro del Chileno

El 30% de los sedimentos presentes en esta Formación corresponden a areniscas gruesas y conglomerados que aparecen como estratos desimétricos a métricos con gradación granulométrica normal.

Los colores más característicos varían entre blanco grisáceo claro a rojo amarillento. Morfológicamente los clastos son desde angulosos a sub-redondeados, con pobre selección. La composición de los clastos en el sector norte de estos es de cuarzo, basalto y algunos granitos, mientras que en el sur prevalecen granitos, cuarcitas, gneises y esquistos.

Las estructuras sedimentarias más características son la gradación normal, estratificación cruzada acanalada o una disposición masiva.

De forma subordinada pueden presentarse areniscas medias a gruesas de color gris blanquecino, conformadas por clastos sub-redondeados a sub-angulosos de selección moderada, que en su mayoría (más del 90%) están compuestos por cuarzo.

La matriz es de arena fina y el cemento es de volumen variable siendo calcáreo o silíceo, lo que confiere diversos grados de consolidación.

Las estructuras sedimentarias presentes son estratificación cruzada de bajo ángulo y estratificación cruzada del tipo sigmoide.

En territorio argentino, la unidad correlacionable sería la Formación Mariano Boedo, cuyo espesor varía entre 92m en la Provincia de Formosa y 364m en la Provincia de Santa Fé.

La asociación de facies permite interpretar que se trata de una sedimentación en ríos de poca sinuosidad, aparentemente caudalosos, cuya dirección de escurrimiento es hacia el W-SW.

5.1.3. Formación Asencio

En estas litologías se incluye, las denominadas areniscas de Asencio por Caorsi & Goñi (1958) y la parte superior de la Formación Asencio a partir de Bossi (1966).

Esta unidad fue redefinida por Ford & Gancio (1988) como una Formación aloestratigráfica, que corresponde a los materiales resultantes de intensos procesos pedogenéticos y de alteración sufridos en litologías de la Formación Mercedes.

Según Ford & Gancio (1988) litológicamente se define como areniscas finas a medias amarillentas, macizas, muy arcillosas con moteados y concreciones de óxidos de hierro, que pueden formar una coraza de ferrificación de un color rojo hematítico. En ocasiones estas corazas están sostenidas por estructuras columnares de diámetro métrico y una altura que no supera los 2,2m. Según Goso & Perea (2004) estas estructuras se pueden

interpretar como grandes concreciones ferralíticas que se formaron aprovechando planos de fractura de los sedimentos de caja.

En las litologías inferiores del perfil hay claros indicadores de la existencia de paleosuelos, como la presencia de pedotúbulos, glébulos, cutanes de arcilla y óxidos ferriargilanes de iluviación (Bossi et al 1998).

5.1.4. Formación Queguay

Se compone por calcarenitas cuarzosas con clastos de plagioclasas, wackestones micríticos con frecuente recristalización, mudstones con alto grado de recristalización y presencia de venas de micrita (ver figura 13). Estas facies se relacionan en ocasiones con areniscas y conglomerados de forma transicional y de forma abrupta con calcáreos nodulares. También aparecen estratos submétricos de costras duras de roca calcárea de color blanco grisáceo, en ocasiones silicificado. (Bossi 1966, Bossi & Navarro 1991, Tófaló & Pazos 2010).

El origen de estas rocas fueron atribuidas a un paleoambiente lacustre (Bossi 1966). A la inversa Tófaló (1986) ha sugerido que las calizas del Queguay se originaron principalmente por los movimientos laterales y ascenso capilar de la capa freático basado en su similitud con las calizas cretácicas de la Formación Puerto Yeruá (Argentina). Algunos autores consideran el origen como un proceso de calcretización que se habría producido durante el Paleoceno y los fósiles asociados a éste se vinculan a esa época (Veroslavsky & Martínez 1996; Veroslavsky et al 1997).

Según el trabajo de Alonzo-Zarza (2011), existe la presencia de depósitos calcáreos tanto en la Formación Queguay como en el tope de la Formación Mercedes (ver figura 12) que fueron originados de tres maneras distintas: origen palustre, origen lacustre y procesos de calcretización.

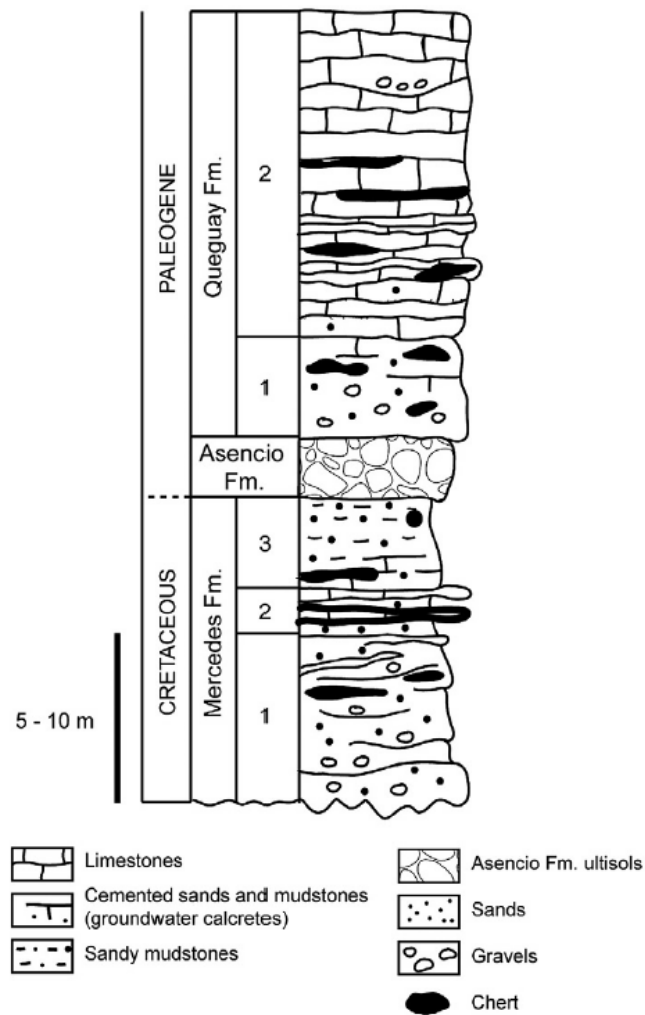


Figura 12. Columna estratigráfica propuesta por Alonzo-Zarza et al 2011, para el tope de la Formación Mercedes, Formación Asencio y Formación Queguay.



Figura 13. Afloramientos de la Formación Queguay en la localidad de Lorenzo Geyres.

5.2. Cuenca Chacoparanaense

En sentido amplio la llanura Chacopampeana forma parte de un antepaís que recibe sedimentos desde el Mioceno provenientes del levantamiento andino y constituye el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y el talud continental. Desde el punto de vista tectónico presenta una tendencia neutra, resultado de una transición entre la subsidencia mesozoica y la progresiva inversión andina. Sin embargo desde el Paleozoico Inferior se sucedieron episodios de subsidencia que en general se localizaron en el centro-norte de la Provincia de Santa Fé y se dieron en diferentes edades y ubicados incluso en la periferia de la llanura.

La sucesión sedimentaria muestra a una escala regional, diferentes fosas, que confieren al basamento formas de cubetas separadas por altos de edades jurásica-cretácica en el caso del alto Argerich-Guatrache, Junín-Las Cañas, Laboulaye y en parte Caburé, y es de edad pre carbonífera el alto Pampeano-Chaqueño (Chebli et al 2000) (ver figura 14).



Figura 14. Principales cuencas y altos en el área de estudio y zonas aledañas. Modificado de Barredo & Stinco (2010).

Según Barredo & Stinco (2010), el área que ocupa esta cuenca es de 643000 km², abarcando las provincias argentinas de Formosa, Chaco, el este de Tucumán, Santiago del Estero, Santa Fe, Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Córdoba, este de La Pampa, y norte de Buenos Aires. Se trata de una cuenca elíptica con su eje orientado ENE y WSW, con 6km aproximadamente de relleno sedimentario y volcánico.

Dicha cuenca presenta secuencias depositacionales separadas por discordancias, que permiten diferenciar ciclos sedimentarios asociados a ambientes glaciares y marinos hasta el Paleozoico Superior y condiciones semiáridas a áridas que prevalecen en el Mesozoico, con presencia de importantes volúmenes de material volcánico (Fernández Garrasino et al 2005).

El control estructural de la cuenca esta dado por la presencia de lineamientos proterozoicos de dirección NW-SE, heredados de la amalgamación de diferentes bloques continentales exóticos durante el ciclo orogénico Brasiliano-Panafricano durante el Proterozoico Superior-Paleozoico Inferior. (Fernández Garrasino et al 2005).

Aparecen depocentros del tipo rift, que sugieren un origen asociado a procesos extensionales durante el Paleozoico en el protomargen de Gondwana.

Los depósitos de plataforma conformaron ciclos regresivos-transgresivos, como resultado de la variación en la tasas de subsidencia durante los procesos tectónicos del margen continental. Estos depósitos alcanzan un espesor de 5000 metros incluyendo materiales ígneos (Fernández Garrasino et al 2005).

Durante la Orogenia Gondwánica, que abarcó desde el Carbonífero Inferior al Triásico Alto – Jurásico Inferior, se condiciono la depositación de la secuencia Carbonífera-Pérmica. La subsidencia durante esta etapa estuvo asociada a la flexión litosférica, como resultado de procesos orogénicos y el posterior período de extensión generalizada que antecedió a la ruptura de Pangea.

A partir del Triásico la cuenca adquirió rasgos de una cuenca rift continental, con relleno fluvio lacustre controlado por la evolución de fallas. Durante el Jurásico, la litósfera fue sometida al efecto de una anomalía térmica previa a la apretura del océano Atlántico, reactivando antiguas estructuras extensionales en un proceso de rifting activo. Depósitos fluviales apoyados en discordancia suave sobre el substrato paleozoico de la base de la Formación Tacuarembó (Fernández Garrasino et al 2005) serían la evidencia de un alzamiento regional, que fue seguido en el Jurásico-Cretácico por las coladas de basalto de la Formación Serral Geral. La subsidencia posterior estaba controlada por el gradual enfriamiento de la perturbación térmica y cambios de fase en el manto.

Estructuralmente se trata de una cuenca intracratónica, caracterizada por una subsidencia lenta y prolongada sin estar asociada directamente al fallamiento, careciendo de controles tectónicos sinsedimentarios importantes.

5.2.1. Formación Puerto Yeruá

La Formación Puerto Yeruá según Tofalo & Pazos (2002), estaría constituida tanto por sedimentos epiclásticos como carbonáticos aflorantes en el noreste de la Provincia de Entre Ríos, desde Concordia hasta Colón, asignados al Cretácico Superior debido al hallazgo de un fósil de *Argyrosaurus superbis*. Los sedimentos epiclásticos forman cuerpos lenticulares de 1 a 4m de espesor, con base neta y erosiva compuestos por sucesiones granodecrecientes desde conglomerados hasta pelitas. Aparecen estructuras de canal, estratificación cruzada planar, en artesa y horizontal, sugiriendo que el ámbito de depositación es de ambiente fluvial, con canales de baja a moderada sinuosidad.

Aparecen evidencias de procesos de calcretización, por el cual el aumento en el contenido de carbonato de calcio hace que se pase de epiclásticos hasta calcretas nodulares macizas, laminares y brechosas (Chebli et al 1989). El origen de estas rocas carbonáticas se le podría asignar un origen mixto vinculado a pedogénesis, ascenso capilar de agua y evaporación de cuerpos de agua.

5.2.2. Formación Saldán

Este es un grupo de litologías sedimentarias de edad Cretácico Superior conformadas por conglomerados y brechas con matriz arenosa y algo limosa de coloración rojo violáceo, con intercalaciones de arena rojiza. Presentan a su vez alto contenido en calcáreos y poco yeso, con fuerte consolidación. Esta formación puede alcanzar los 250m de espesor, siendo la localidad tipo Saldán y Villa Allende, Provincia de Córdoba.

Esta unidad fue interpretada como correspondiente a las facies proximales, media y distales de abanicos aluviales en clima árido (Santa Cruz & Silva, 1999).

5.2.3. Formación Mariano Boedo

Esta unidad se compone por areniscas medias a finas de colores muy variables (marrones, amarillentos, grisáceos y verdosos), con escasa matriz y cemento, de composición cuarzosa. Como litologías subordinadas se presentan arcillitas grises, verdosas y rosadas, junto con cristales de yeso (Chebli et al 2000). Además pueden aparecer en la base conglomerados, con clastos compuestos en algunos casos por basalto. El máximo espesor de estas litologías en la Cuenca Chacoparanaense es de alrededor de 350m. Para Chebli et al (1989), se podrían incluir en esta Formación depósitos calcáreos correspondientes a sucesiones de brechas calcáreas, calcarías laminadas u wackestones y en menor medida mudstones.

En la localidad de Puerto Unzué, frente a la ciudad de Fray Bentos, se han encontrado por medio de sondeos alrededor de 15m de areniscas finas a medias, cuarzosas, con clastos redondeados y matriz silíceas. El color de estos sedimentos es rosado a gris amarillento. En el tope de estas litologías aparecen alrededor de 10m de areniscas con fuerte diagénesis y abundante cemento de óxido de hierro.

5.2.4. Formación Pay Ubre

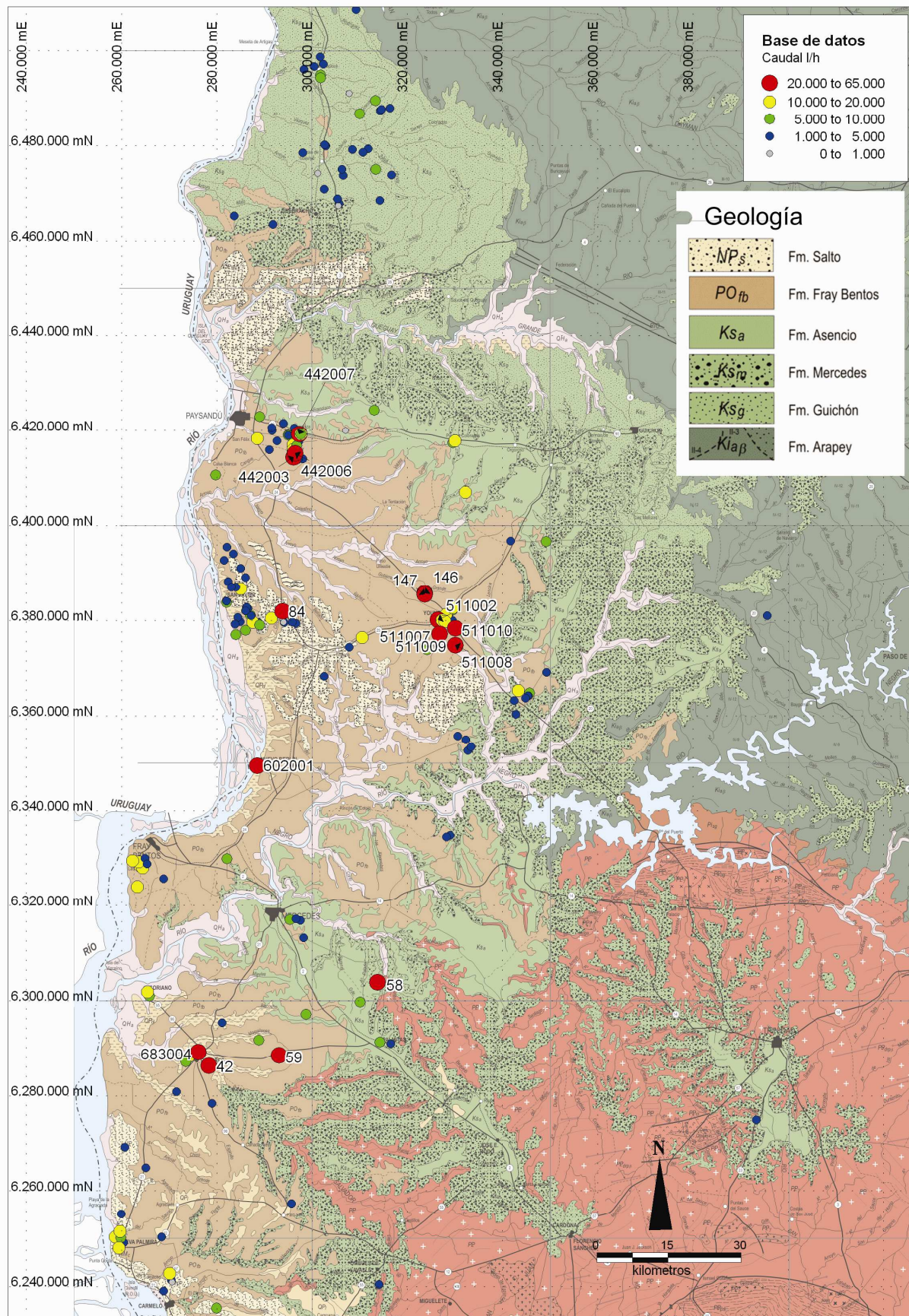
Filí (2001) considera que esta Formación del Cretácico Superior se compone por areniscas calcáreas y calizas arenosas, de colores blanquecinos a rosados, tenaces, con silicificación parcial que da como resultado venillas y cristales de cuarzo.

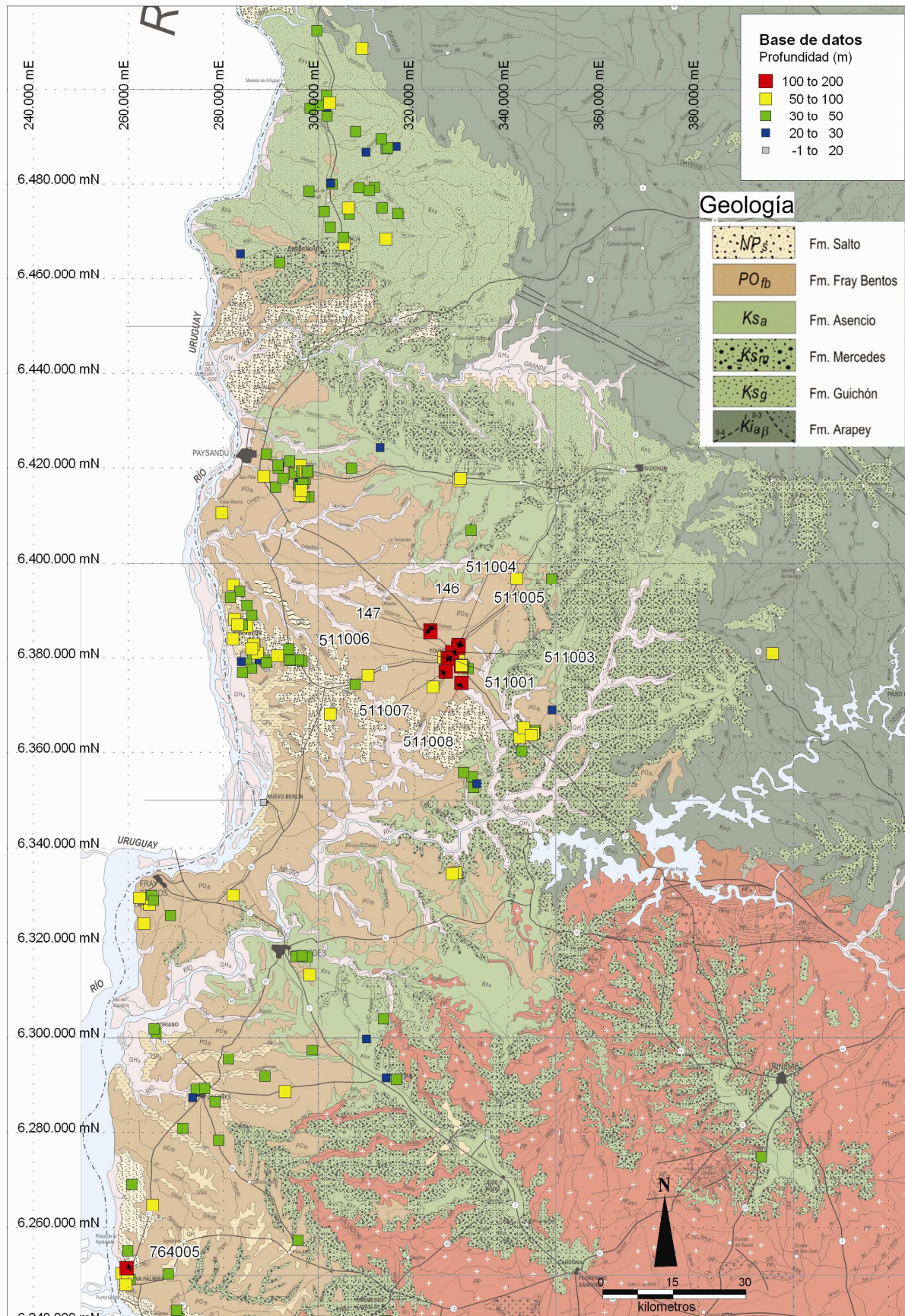
Pueden aparecer facies tanto conglomerádicas como brechosas, y el contenido de carbonato puede constituir calizas.

Los afloramientos característicos se encuentran cerca de las localidades de Mercedes y Felipe Yofré en la Provincia de Corrientes, y en Colón, Provincia de Entre Ríos.

5.3. Mapa geológico de la región

En las figuras 15 y 16 se puede observar el mapa geológico del área de estudio, es importante señalar la predominancia de sedimentos post-Cretácicos hacia el Oeste en la Provincia de Entre Ríos.





6. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

En este capítulo determinaremos los parámetros hidráulicos de los acuíferos sedimentarios del litoral uruguayo, así como también los existentes en la Provincia de Entre Ríos. Con esta caracterización se busca determinar, las asimetrías hidrogeológicas existentes entre los dos márgenes del Río Uruguay.

6.1. Principios de la hidráulica subterránea

Para iniciarnos en la hidráulica subterránea es necesario comenzar por comprender el principio básico que rige el movimiento del agua en el acuífero, este principio es la Ley de Darcy, la cual describe las características del movimiento del agua a través de un medio poroso experimentada en cilindros rellenos con diferentes materiales (Custodio, 1983).

La expresión matemática de la ley de Darcy es la siguiente:

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = k \cdot i \cdot A$$

En donde **Q** es el caudal en m³/h, **L** es la longitud en metros de la muestra, **k** es una constante conocida como coeficiente de permeabilidad de Darcy que es variable en función del material de la muestra en m/s, **A** es el área de la sección transversal de la muestra en m², **h₃** es la altura sobre el plano de referencia que alcanza el agua en la entrada de la muestra, **h₄** es la altura sobre el plano de referencia que alcanza el agua en la salida de la muestra.

La expresión derivada de la Ley de Darcy:

$$\frac{h_3 - h_4}{L}$$

Se denomina gradiente hidráulico y se simboliza con **i**.

La *permeabilidad* (**k**), es la facilidad con la que pasa agua a través de un material dado, también definida como conductividad hidráulica.

El valor **k**, dentro del ámbito de la ley de Darcy es constante para cada medio y para cada flujo en condiciones iguales.

Un terreno poroso puede ser muy permeable si sus poros son grandes y bien interconectados, tal como sucede en gravas limpias, o puede ser casi impermeable si sus poros son pequeños y semicerrados como sucede en las arcillas. En general los terrenos con baja porosidad tienden a ser poco permeables.

En **k** se incluye además de la naturaleza del terreno las características de viscosidad y densidad del fluido. Para obtener un coeficiente **k₀** que dependa sólo de las propiedades del medio basta escribir:

$$k = k_0 \cdot r / u$$

Donde **k** es la permeabilidad intrínseca o coeficiente de permeabilidad, **r** es el peso específico del fluido (dinas/cm³) y **u** es la viscosidad del fluido (dinas seg/cm²).

Transmisividad (T), es la capacidad de un medio para transmitir agua. Es el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero:

$$T = k \cdot b$$

En el caso de que la permeabilidad varíe a lo largo del perfil del acuífero de espesor **b**, la Transmisividad vendrá dada por la integral de 0 a **b** de **k.d**.

La *porosidad eficaz (m)* es el volumen de agua que se obtiene por drenaje gravitacional de una muestra de material permeable, que inicialmente se encuentra saturado, en relación con el volumen total de la muestra.

Coeficiente de almacenamiento (S), es el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de altura igual al espesor de mismo y de sección unitaria, al disminuir la presión en una unidad.

En el caso de acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad eficaz. En el caso de acuíferos confinados el coeficiente es sensiblemente inferior a la porosidad eficaz.

6.1.1. Caudal específico

Se denomina *caudal específico* de una perforación al cociente entre el caudal de agua bombeada y el descenso de nivel producido:

$$q = Q / s_p$$

Siendo **s_p** el descenso medio del pozo.

El caudal específico de una perforación no es constante para un caudal determinado, debido a que con el tiempo el descenso aumenta. Sin embargo el descenso tiende a estabilizarse y por tanto el caudal específico.

6.1.2. Radio de influencia

Se denomina radio de influencia de una perforación a la distancia en la cual el efecto del bombeo de un pozo es nulo en el nivel piezométrico del acuífero.

Con los respectivos valores de Transmisividad y Almacenamiento es posible calcular un radio de influencia estimado por medio de la siguiente fórmula:

$$R = 1,5 \sqrt{T \cdot t / S}$$

Siendo **R** el radio de influencia, **T** Transmisividad, **t** tiempo en días, y **S** almacenamiento.

6.2. Características hidrogeológicas del acuífero Guichón

La presencia de sedimentos suprayacentes como por ejemplo las formaciones Mercedes o Fray Bentos hacen que en gran parte del área donde aparece el acuífero Guichón se encuentre confinado. Sin embargo existen áreas donde presenta comportamiento libre a semiconfinado por ejemplo hacia el NNE de la localidad de Quebracho hasta las Termas de Daymán y en las cercanías de la localidad de Guichón.

La información para caracterizar este acuífero proviene del área donde se encuentra semiconfinado a libre debido a que los datos hidráulicos en el resto de la Cuenca Litoral son mixtos por ubicarse debajo del acuífero Mercedes.

6.2.1. Caudal específico

En el acuífero Guichón se pueden alcanzar valores de caudal específico un poco mayores a $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, pero el promedio se sitúa en $0,45 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (ver anexo 2: Caudal específico).

6.2.2. Transmisividad y Almacenamiento

La Formación Guichón conformada por areniscas y conglomerados más o menos arcillosos se comporta como un acuífero confinado en el sector sur de la localidad de Quebracho aproximadamente a semiconfinado y libre en el norte de la localidad, confiriéndole características hidrogeológicas variables. En las perforaciones que se contaba con la información de ensayo de bombeo, se realizó el análisis con el programa informático "Aquifer Test" tendiente a obtener el valor de los parámetros de Transmisividad y Almacenamiento. Estos dos ensayos se realizaron en un sector donde el acuífero Guichón se encuentra semiconfinado por lo que la información es incompleta para caracterizar el total del acuífero.

En la tabla número 1, se encuentran los resultados obtenidos para la Formación Guichón.

Perforación	Formación	Localidad	Método	Transmisividad ($\text{m}^2/\text{día}$)	Almacenamiento
431002 (Ose)	Guichón (semiconfinado*)	Piedras Coloradas	Theis**	15,3	$1,1 \times 10^{-3}$
432001 (Ose)	Guichón (semiconfinado*)	Orgoroso	Theis**	7,53	$6,47 \times 10^{-3}$

Tabla 1. Transmisividad y Almacenamiento en Formación Guichón
(* Establecido según el perfil litológico) (**Realizado con el programa Aquifer Test)

6.3. Características de las perforaciones en el acuífero Guichón

De las perforaciones relevadas que extraen agua del acuífero Guichón, se determinó por su ubicación y perfiles litológicos que existe un número similar de captaciones ubicadas tanto en acuífero libre como confinado. Además es importante señalar que no existen diferencias significativas en el caudal y profundidad cuando discriminamos las perforaciones según el grado de confinamiento.

La profundidad en este caso, depende de diferentes variables, entre ellas; el nivel estático, la cota del sitio, características propias del acuífero y las necesidades de caudal en el momento de realizar la obra. En la figura número 17, se presenta la distribución de profundidad de las perforaciones que captan agua solo del acuífero Guichón. Como se observa las profundidades más habituales para este acuífero son en el entorno de los 30 a 60m, pudiendo alcanzar hasta los 85m, observado en la perforación 431002 de OSE en Piedras Coloradas, departamento de Paysandú.

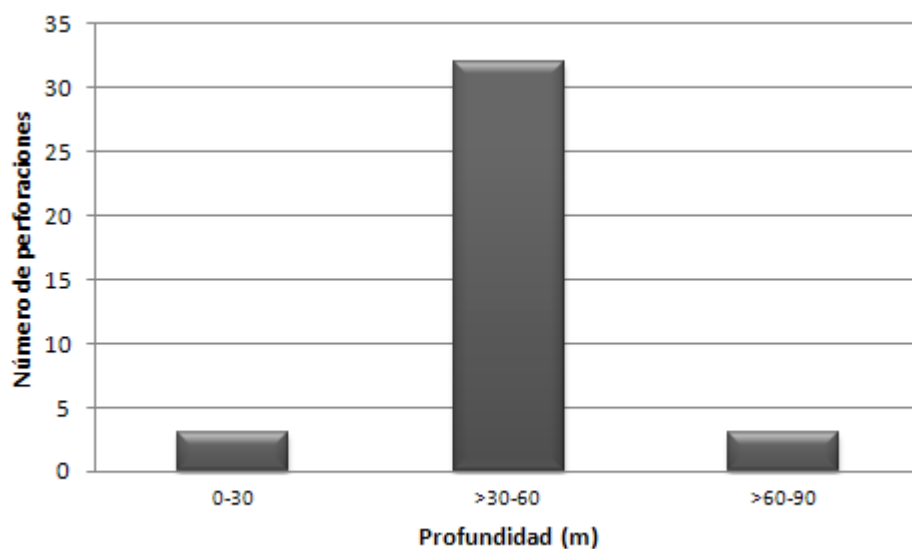


Figura17. Distribución de profundidad en perforaciones de la Formación Guichón.

Tomando en cuenta los caudales en perforaciones que captan agua del acuífero Guichón, como se muestra en la figura 18, se observa que el comportamiento habitual es la predominancia de caudales bajos frente a los más altos. Es decir cuanto mayor sea el caudal existirán menos perforaciones con la capacidad de erogarlo y viceversa. Siendo los caudales promedio más característicos para el acuífero Guichón en el entorno a $4 \text{ m}^3/\text{h}$, pudiendo llegar hasta más de $15 \text{ m}^3/\text{h}$. en casos aislados.

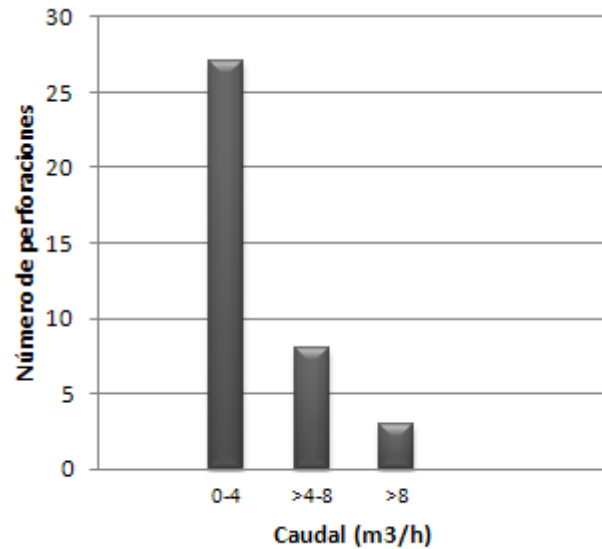


Figura 18. Distribución de caudal en perforaciones de la Formación Guichón.

Para acuíferos sedimentarios relativamente uniformes se puede esperar que aumentando la profundidad de la perforación también el caudal aumente. Este comportamiento no se observa en la figura 19, correspondientes al acuífero Guichón. La ausencia de una tendencia implica que el acuífero no es isótropo y que existen variaciones que afectan el rendimiento de las perforaciones.

Formación Guichón

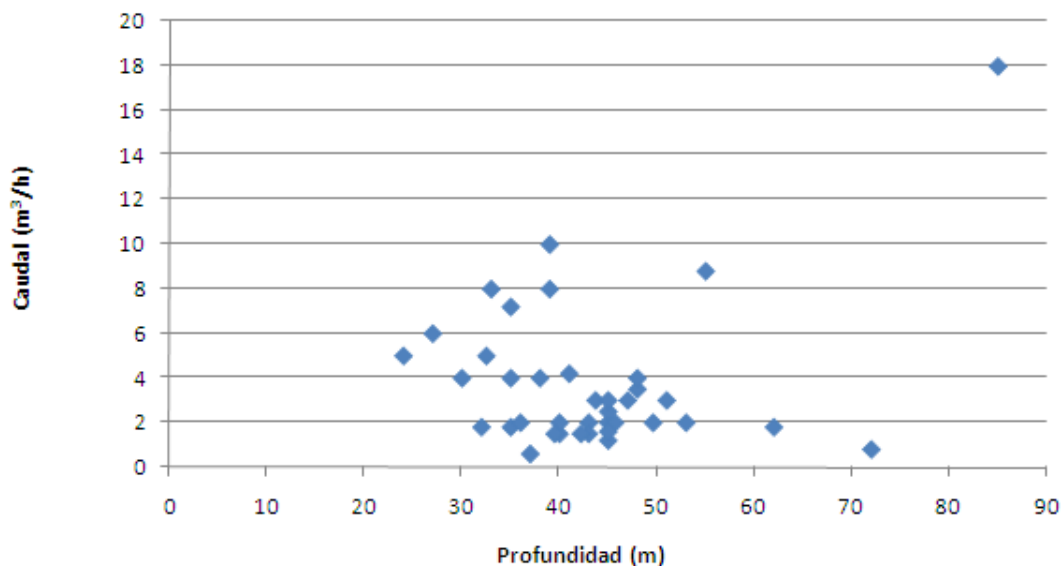


Figura 19. Caudal vs profundidad (Fm. Guichón).

6.3.1. Radio de influencia

Los radios de influencia calculados por medio de los parámetros hidráulicos para perforaciones en el acuífero Guichón se presentan en la tabla 2.

Perforación	Localidad	Radio de influencia	Caudal
431002 (Ose)	Piedras Coloradas	177m	18 m ³ /h
432001 (Ose)	Orgoroso	51m	4 m ³ /h

Tabla 2. Radios de influencia calculados para perforaciones en Formación Guichón.

6.4. Características hidrogeológicas del acuífero Mercedes

El acuífero Mercedes presenta un comportamiento hidrogeológico variable debido a los cambios litológicos y la cobertura de depósitos sedimentarios post-cretácicos. En términos generales aparece confinado a semiconfinado en la mayor parte del área de estudio. Solo existen ciertas zonas en el borde de la Cuenca Litoral donde aparece el acuífero Mercedes libre. Por ejemplo al sur de la localidad de Guichón, en las cercanías del Arroyo Grande al norte de la ruta 20 hacia Grecco y en ruta 2 en el tramo comprendido entre las localidades de Cardona y Palmitas. También este acuífero puede aparecer en una misma área confinado por varios metros de la Formación Fray Bentos generalmente en el tope de las colinas y semiconfinado a libre en zonas bajas. Esto sin duda influye en los parámetros hidráulicos, pero no es la única variable que determina en este caso la Transmisividad y el Almacenamiento. Es de suma importancia tener en cuenta la variación litológica y el espesor de los niveles portadores.

6.4.1. Caudal específico

El caudal específico obtenido en el caso del acuífero Mercedes en el área sur del Río Negro es en el entorno a 0,6m³/h/m, siendo el máximo relevado 3,8m³/h/m y el mínimo 0,05m³/h/m.

Por otra parte en el norte del Río Negro se observa un aumento en el caudal específico del acuífero Mercedes, con un promedio de 1,03m³/h/m, con un valor máximo de 6,5m³/h/m y mínimo de 0,05m³/h/m. (ver anexo 2: Caudal específico).

6.4.2. Transmisividad y Almacenamiento

El acuífero Mercedes tiene un comportamiento hidráulico desde confinado a semiconfinado, según las características litológicas del acuífero y el espesor de los sedimentos suprayacentes de la Formación Fray Bentos que aumenta su potencia de forma general hacia el SW de la cuenca.

La disposición de los depósitos post-cretácicos, la litología y el espesor de acuífero condicionan los parámetros hidrogeológicos. En la tabla 3, se observan estos parámetros calculados para el acuífero Mercedes, nótese la variabilidad de los datos incluso en una misma área.

Perforación	Formación	Localidad	Método	Transmisividad (m ² /día)	Almacenamiento
Norte del Río Negro					
511010 (Ose)	Mercedes (libre*)	Young	Theis**	27,9	1,48x10 ⁻⁷
511005 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Young	Theis**	4,96	1,12x10 ⁻³
511004 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Young	Theis**	5,07	3,51x10 ⁻⁶
511001 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Young	Theis**	9,14	1,03x10 ⁻⁵
511006 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Young	Theis**	15,5	3,2x10 ⁻⁶
511009 (Ose)	Mercedes	Young	Theis**	12,9	1,65x10 ⁻⁷
442003 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Porvenir	Theis**	118	3,18x10 ⁻⁶
442006 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Porvenir	Theis**	189	5,78x10 ⁻⁷
22 (Mevir)	Mercedes (semiconfinado*)	Bellaco	Theis**	1,97	3,86x10 ⁻⁴
146	Mercedes/Guichón (confinado*)	Young	Theis**	87,8	1,93x10 ⁻⁴
147	Mercedes/Guichón (confinado*)	Young	Theis**	57,2	5,13x10 ⁻⁴
Sur del Río Negro					
764002 (Ose)	Mercedes (confinado)	Nueva Palmira	Theis**	3,41	2,51x10 ⁻⁴
674009 (Ose)	Mercedes (libre*)	Egaña	Theis**	2,65	8,74x10 ⁻⁴
674007 (Ose)	Mercedes (libre*)	Palmitas	Theis**	1,58	5,09x10 ⁻⁴
603004 (Ose)	Mercedes (libre*)	Mercedes	Theis**	2,33	3,68x10 ⁻⁴
603003 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Mercedes	Theis**	0,667	2,06x10 ⁻⁴
683003 (Ose)	Mercedes (semiconfinado*)	Dolores	Theis**	12,2	2,86x10 ⁻⁶
683001 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Dolores	Theis**	117	1,38x10 ⁻⁶
683006 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Dolores	Theis**	14,8	7,85x10 ⁻⁵
591001 (Ose)	Mercedes (confinado*)	Villa Darwin	Theis**	8,72	1,31x10 ⁻⁵

Tabla 3. Transmisividad y Almacenamiento en Formación Mercedes.
 (* Establecido según el perfil litológico) (**Realizado con el programa Aquifer Test)

La Transmisividad tiene un promedio de $36 \text{ m}^2/\text{día}$ con extremos de $0,667$ a $189 \text{ m}^2/\text{día}$.

Los Coeficientes de Almacenamientos son indicativos del confinamiento del acuífero, excepto para la perforación 511005 que es del orden de 10^{-3} indicando semiconfinamiento.

Es importante señalar que en la tabla 3 la columna con el título “Formación”, se estableció por medio de la descripción del perfil litológico el presunto confinamiento del acuífero por la presencia o ausencia de sedimentos post-cretácicos. Sin embargo se da la situación donde el acuífero Mercedes se encuentra sin cobertura sedimentaria pero el Coeficiente de Almacenamiento indica confinamiento. Este comportamiento obedece directamente al perfil litológico de la Formación Mercedes en donde niveles impermeables silicificados o pelíticos generan confinamiento en los niveles de aporte.

6.5. Características de las perforaciones en el acuífero Mercedes

De las perforaciones relevadas se pudo establecer que la gran mayoría, un 73% (96 perforaciones), fueron construidas en el acuífero Mercedes con cobertura sedimentaria post-cretácica, mientras que el 12% (16 perforaciones), se construyeron en acuífero libre. Donde el acuífero esta semiconfinado se relevó el 15% de las perforaciones es decir 19.

Se pudo establecer que existen diferencias constructivas y de rendimiento en las perforaciones que se ubican en el acuífero Mercedes libre con respecto al acuífero Mercedes con cobertura sedimentaria. Para el acuífero confinado las profundidades se sitúan en 50m, con caudales promedio cercanos a los $7 \text{ m}^3/\text{h}$, mientras que para el acuífero Mercedes libre la profundidad de las perforaciones es de 40m y los caudales promedio son de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

De forma general las profundidades características de perforaciones que sólo extraen agua del acuífero Mercedes está entre los 30 y 60m, al igual que lo observado en el acuífero Guichón (ver figura 20). Han sido identificados hasta 115m del acuífero Mercedes en la perforación 511003 de OSE en la ciudad de Young.

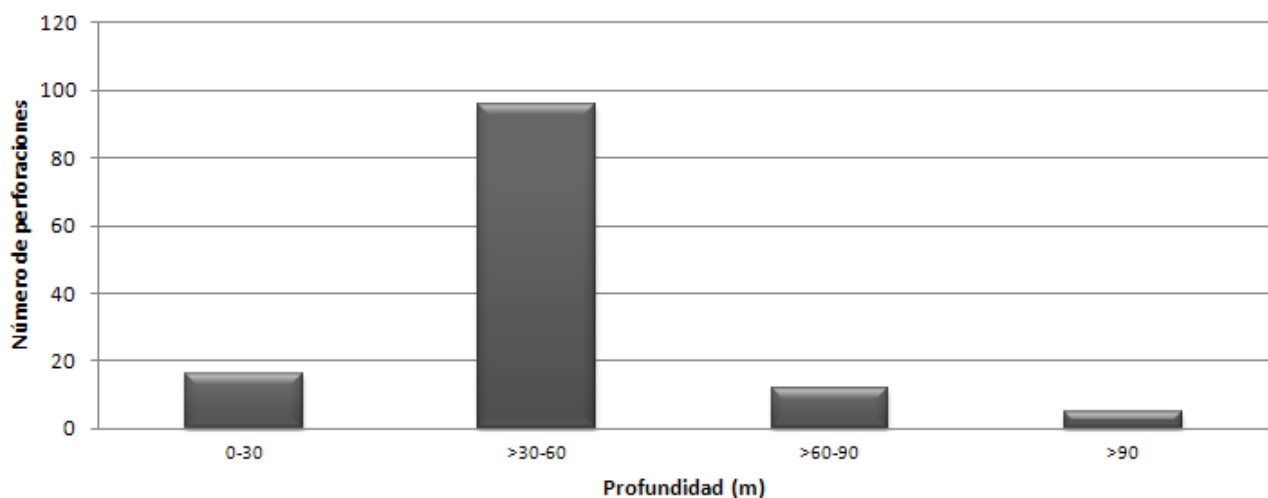


Figura 20. Distribución de profundidad en perforaciones de la Formación Mercedes.

Por su parte este acuífero tiene caudales característicos alrededor de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ como se observa en la figura 21, pudiendo llegar incluso hasta $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Esta variación esta directamente ligada a la litología, por ejemplo los mayores caudales están asociados a niveles de areniscas gruesas y conglomerados presentes en el Miembro del Chileno (Goso & Perea 2004), siendo depósitos muy propicios para lograr estos caudales.

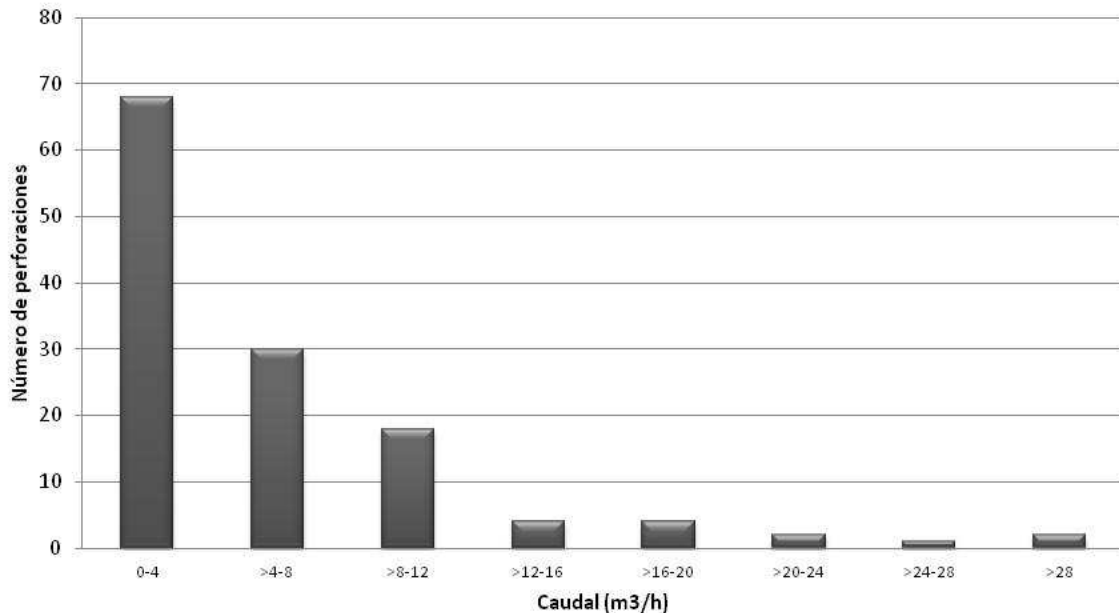


Figura 21. Distribución de caudal en perforaciones de la Formación Mercedes

Si se tiene en cuenta la profundidad en función del caudal el comportamiento es similar a la Formación Guichón, esto se puede observar en la figura 22. No aparece una tendencia clara debido a que las condiciones del acuífero son muy variables dependiendo del sitio donde nos ubiquemos. Lo que se puede mencionar es que el grupo mayoritario de perforaciones tiene una profundidad de 30 a 60m y caudales que no superan los $10 \text{ m}^3/\text{h}$, este comportamiento se explica por las características de la demanda de agua subterránea que existe en la Cuenca Litoral. La gran mayoría de perforaciones son construidas para el abastecimiento humano de casas y establecimientos agropecuarios.

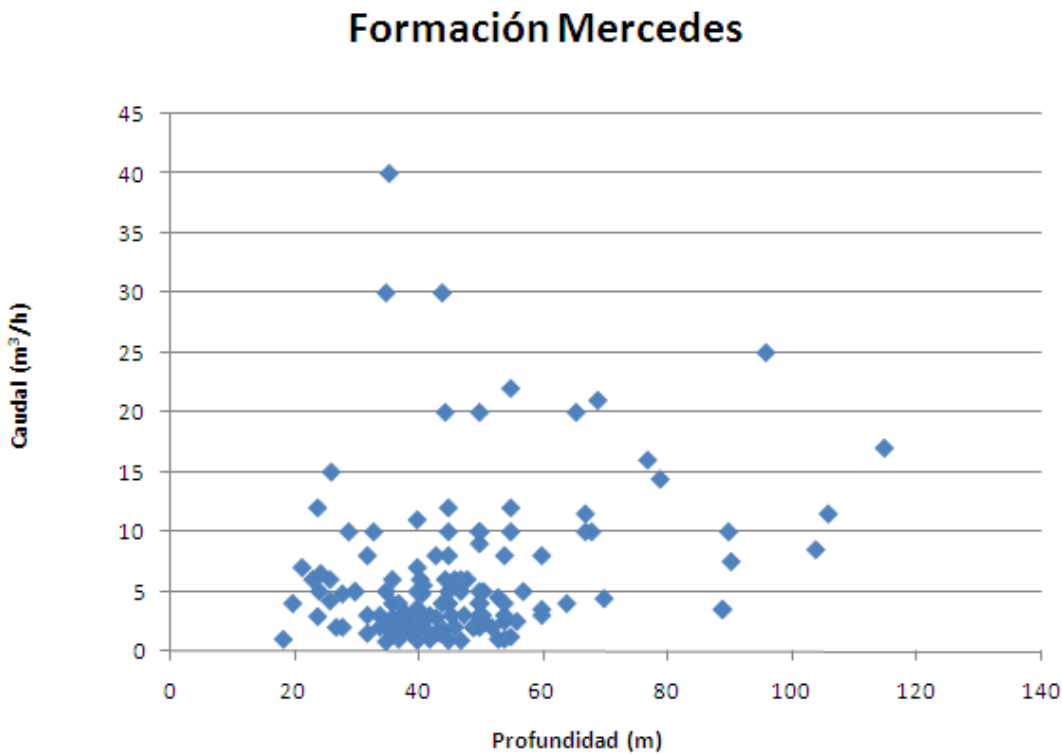


Figura 22. Caudal vs profundidad (Fm. Mercedes).

6.5.1. Radio de influencia

En la tabla número 4 se muestran los radios de algunas perforaciones realizadas en el acuífero Mercedes. Se debe tener en cuenta que estos valores fueron calculados para un período de tiempo de 1día.

Perforación	Localidad	Radio de influencia (m)	Caudal (m³/h)
Sur del Río Negro			
764002 (Ose)	Nueva Palmira	174	16
674008 (Ose)	Palmitas	83	11
674007 (Ose)	Palmitas	55	2,5
603004 (Ose)	Mercedes	119	4
603003 (Ose)	Mercedes	85	1
683003 (Ose)	Dolores	3100	5
683006 (Ose)	Dolores	651	6,5
591001 (Ose)	Villa Darwin	1223	3,5
Norte del Río Negro			
511005 (Ose)	Young	100	13
511004 (Ose)	Young	1802	8,5
511001 (Ose)	Young	1413	15
Mevir	Bellaco	107	4
146*	Young	1012	65
147	Young	500	30

Tabla 4. Radios de influencia calculados para perforaciones en Formación Mercedes.
(* Acuífero mixto, extrae agua tanto del acuífero Mercedes como Guichón)

Es importante señalar que el acuífero Mercedes no es isótropo a lo largo de su perfil, sino que existen diferentes niveles de aporte en general arenosos que se intercalan con niveles silicificados y arcillosos no permeables, esta disposición litológica genera el efecto de múltiples conos de descenso en una sola perforación, resultando el radio de influencia en muchos casos sensiblemente menor al calculado.

6.6. Radio de influencia obtenido de forma práctica

En un caso práctico en la localidad de Young se realizó un ensayo de bombeo en una perforación en el marco de una consultoría de la empresa Geoambiente.

El nivel estático se situaba en 3,56m (perforación n° 146, ver anexo 1), con un pozo de observación (perforación n°147, ver anexo 1) situado a una distancia de 445m y un nivel estático de 3,17m (ver figura 23).

La perforación fue bombeada en régimen permanente de 65 m³/h, durante un período de 24 horas, como resultado el nivel dinámico se situó en 52,9m y el nivel del piezómetro en 9,18m.



Figura 23. Ensayo de bombeo de la perforación 146.

Se calculó el radio de influencia por el método gráfico directo para la perforación n°146 (ver figura 24) determinando que se sitúa en aproximadamente 750m de distancia.

También se calculó por el método teórico este radio de influencia de manera de establecer la exactitud que presenta dicho método, el resultado fue que para la perforación n° 146 el radio es de 1012m.

Se debe tener en cuenta que se está captando el agua tanto de la Formación Mercedes como Guichón, por lo que se debe tomar como un caso de comparación general y no para cada acuífero.

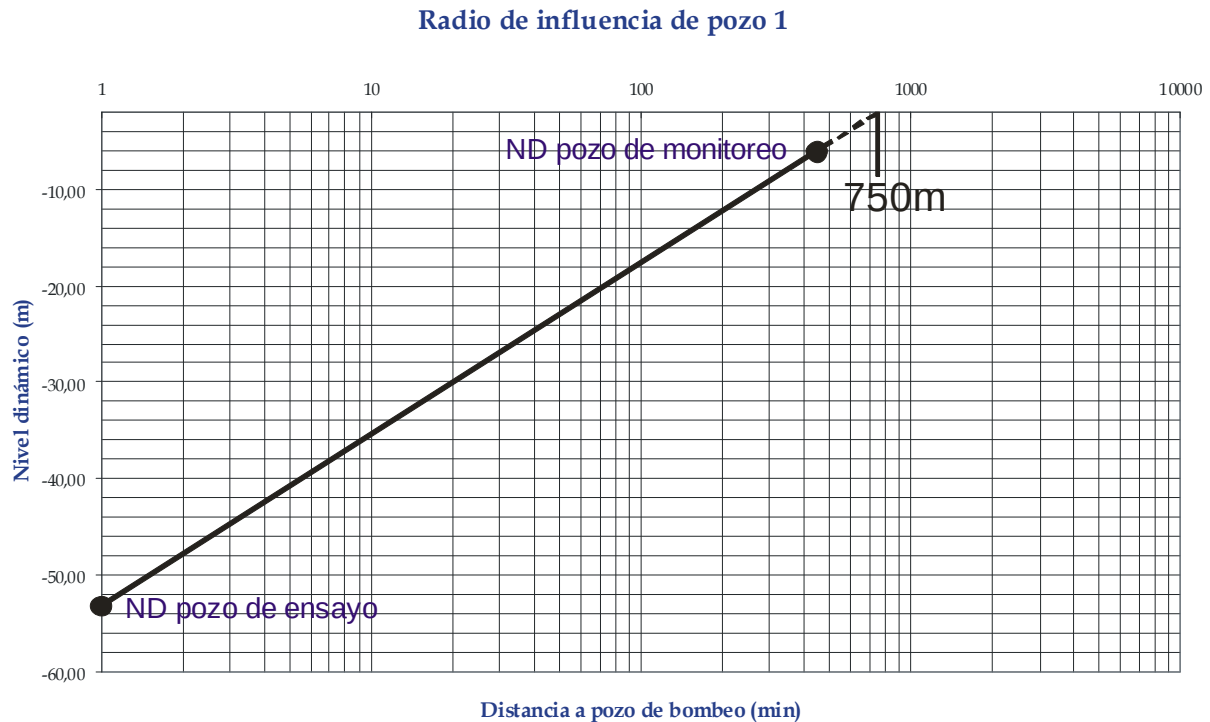


Figura 24. Gráfico radio de influencia.

6.7. Comparación de perforaciones en los acuíferos Mercedes y Guichón

De las cerca de 200 perforaciones con las que se cuenta información en el área uruguaya de estudio, se pudo determinar que el acuífero que presenta más número de pozos es Mercedes con el 72% (ver figura 25). Esto se debe a que la mayoría de las obras de captación no son totalmente penetrantes y por tanto se explota generalmente sólo este acuífero y no se profundiza hasta el acuífero Guichón. El área norte de la Cuenca Litoral es el sitio donde predominan las perforaciones que captan del acuífero Guichón, debido sobre todo a la ausencia de otro acuífero sedimentario.

Las perforaciones mixtas son generalmente las de mayor profundidad, captando de ambos acuíferos y son construidas en el marco del abastecimiento de pueblos o ciudades donde es necesario en la mayoría de los casos un caudal elevado.



Figura 25. Porcentaje de perforaciones por acuífero.

En cuanto al caudal total de las perforaciones relevadas se puede observar un claro predominio hacia el acuífero Mercedes (ver figura 26). Si tenemos en cuenta los datos del número total de perforaciones y el caudal por acuífero, se puede observar la mayor capacidad como acuífero de la Formación Mercedes, es decir con 134 perforaciones, obtiene 862,3 m³/h de caudal, con respecto a las 38 perforaciones con un caudal total de 143,8 m³/h de la Formación Guichón.



Figura 26. Caudal extraído por acuífero.

6.8. Acuíferos en la Provincia de Entre Ríos

Sobre los basaltos de la Formación Serra Geral en el área de estudio se apoyan formaciones sedimentarias de edad Cretácica tal como Puerto Yeruá, Saldán y Mariano Boedo, que son relevantes ya que se tratan de depósitos correlacionables en la Cuenca Litoral uruguaya. Sin embargo de posterior sedimentación, aparece la Formación Fray Bentos, arcillitas Miocenas de la Formación Paraná, seguidas de las formaciones Ituzaingó (arenas del Plio-pleistoceno) y Hernandarias (arenas y limo-arcillosos del Pleistoceno). La primera aloja un acuífero semiconfinado (Hernández et al 2012), el principal de la región. Esta unidad es muy productiva presentando caudales del entorno de 100 a 500 m³/h y valores de Transmisividad del orden de 2500 m²/d (Auge et al 2005). La Formación Hernandarias contiene un acuífero freático muy pobre y de aprovechamiento limitado, comportándose fundamentalmente como techo del acuífero anterior.

Otro importante acuífero en la región es la Formación Salto Chico de edad Plio-Pleistoceno compuestos por depósitos fluviales de diferentes granulometrías y con una capacidad como acuífero muy importante, llegando a extraer según Santi et al (2007) hasta 100 a 600 m³/h, con caudales característicos de 17 a 108 m²/h, Coeficiente de Permeabilidad medio de 30 a 60 m/d y Transmisividad en el entorno a 1500 m²/d.

En cuanto a las características hidrogeológicas regionales de las formaciones de edad Cretácica, no se tienen datos al respecto debido a lo expuesto anteriormente. La existencia de litologías muy productivas y más superficiales tales como Ituzaingó y Salto Chico hacen innecesaria la explotación de otros acuíferos. El dato comparativo más significativo que se puede obtener hasta el momento son los espesores de las diferentes formaciones en ambos márgenes del Río Uruguay (ver tabla 5 y 6). Lo que se puede apreciar es el mayor espesor de los sedimentos Cretácicos en el lado Argentino.

Pozo	Espesor (m)	Localidad	Departamento/Provincia
OSE 28W	26	Dolores	Soriano
OSE 591001	90	Villa Darwin	Soriano
	56*	Villa Soriano	Soriano
OSE Peñalva	81*	Paraje El Águila	Soriano
OSE 309	33	Paysandú	Paysandú
OSE 433002	28	Algorta	Río Negro
OSE 442002	48*	Esperanza	Río Negro
OSE 511005	63	Young	Río Negro
OSE 511007	92	Young	Río Negro
OSE 741001	30*	La Casilla	Flores
	27	Cañada Nieto	Río Negro
OSE 1313/1	39*	Tres Bocas	Río Negro
OSE 511010	137	Young	Río Negro
OSE 764006	66*	Nueva Palmira	Colonia
YPF ER-1	220	Nogoyá	Entre Ríos
	180	Calchaquí	Santa Fe
	344	Josefina	Santa Fe
	361	Firmat	Santa Fe
	307	Saira	Córdoba
	342	Camilo Aldao	Córdoba
	92	Mariano Boedo	Formosa

Tabla 5. Espesores de la Formación Mercedes y de la Formación Mariano Boedo

* No fue atravesada totalmente (modificado de Goso & Perea, 2004).

Pozo	Espesor (m)	Localidad	Departamento/Provincia
OSE 1045/1	72,5	Quebracho	Paysandú
ANCAP	56,1	Guaviyú	Paysandú
OSE 511010	55	Young	Río Negro
OSE 516/3	93,6	A° Guayabos	Paysandú
ANCAP	96	A° Guayabos	Paysandú
OSE 411001	40	Guichón	Paysandú
OSE 421002	58	Guichón	Paysandú
OSE 433002	92*	Algorta	Río Negro
OSE 511007	42	Young	Río Negro
OSE 431002	85	Piedras Coloradas	Paysandú
OSE 431001	55*	Piedras Coloradas	Paysandú
OSE 872W	57*	Corralitos	Salto
	118	Villa Elisa	Entre Ríos
YPF ER-1	80	Nogoyá	Entre Ríos
	140	Federación	Entre Ríos
	118	Colón	Entre Ríos

Tabla 6. Espesores de la Formación Guichón y de la Formación Puerto Yeruá.

* No fue atravesada totalmente (modificado de Goso & Perea, 2004).

6.9. Asimetrías Hidrogeológicas

Tal como fue expuesto anteriormente la hidrogeología en ambos márgenes del Río Uruguay cambia significativamente, lo que repercute en la producción y sobre todo en lo que respecta a la agricultura. Para observar con más claridad esta situación en las figuras 27, 28 y 29, correspondientes a los sectores norte, centro y sur respectivamente del área de estudio se plantean los cortes hidrogeológicos sintéticos E-W de ambos márgenes del Río Uruguay.

	Área Norte			
	<u>Argentina</u>		<u>Uruguay</u>	
	Estratigrafía	Hidrogeología	Estratigrafía	Hidrogeología
Pleistoceno	F. Hernandarias	Acuitardo		
Plioceno superior	F. Salto Chico	Acuífero		
Oligoceno inferior a medio	F. Fray Bentos	Acuitardo		
Cretácico inferior			F. Guichón	Acuífero
Cretácico inferior/Jurásico superior	F. Serra Geral	Acuífero fisurado	F. Arapey	Acuífero fisurado

Figura 27. Corte hidrogeológico sintético del sector Norte (modificado de Montañó et al 2011).

	Área Central			
	<u>Argentina</u>		<u>Uruguay</u>	
	Estratigrafía	Hidrogeología	Estratigrafía	Hidrogeología
Pleistoceno	F. Hernandarias	Acuitardo		
Plioceno superior	F. Salto Chico	Acuífero		
Mioceno	F. Paraná	Acuífero/Acuitardo		
Oligoceno	F. Fray Bentos	Acuitardo	F. Fray Bentos	Acuitardo
Cretácico superior			F. Mercedes	Acuífero
Cretácico inferior	F. Yeruá	Acuífero	F. Guichón	Acuífero
Cretácico inferior	F. Serra Geral	Acuífero fisurado	F. Arapey?/Basamento?	Acuífero fisurado

Figura 28. Corte hidrogeológico sintético del sector Central (modificado de Montañó et al 2011).

	Área Sur			
	<u>Argentina</u>		<u>Uruguay</u>	
	Estratigrafía	Hidrogeología	Estratigrafía	Hidrogeología
Pleistoceno	F. Hernandarias	Acuitardo		
Plioceno superior	F. Salto Chico	Acuífero		
Oligoceno	F. Fray Bentos	Acuitardo	F. Fray Bentos	Acuitardo
Cretácico superior			F. Mercedes	Acuífero
Cretácico inferior	F. Yeruá	Acuífero		
Cretácico inferior	F. Serra Geral	Acuífero fisurado		
precámbrico			Basamento	Acuífero fisurado

Figura 29. Corte hidrogeológico sintético del sector Sur (modificado de Montaña et al 2011).

Las asimetrías hidrogeológicas que existen en ambos márgenes del Río Uruguay (ver figura 30) repercuten directamente en el desarrollo social y económico. Del lado argentino existen acuíferos de edad Cuaternaria como por ejemplo las formaciones Ituzaingó y Salto Chico con alta capacidad acuífera que permiten el desarrollo de la agricultura en base a riego. Un ejemplo de esto son los cultivos de arroz que son regados con agua subterránea de estos acuíferos. La combinación de este recurso con suelos de alta productividad genera una de las zonas productoras de granos más importante de Latinoamérica y del mundo. En contrapartida del lado uruguayo en la Cuenca Litoral si bien existen suelos de buena productividad, los acuíferos sedimentarios de edad Cretácica que son los más importantes en esta cuenca, no lograrían los volúmenes económicamente viables por hectárea necesarios para regar grandes extensiones. Por este motivo el riego es incipiente.

La respuesta a esta disparidad hidrogeológica en una misma región es que existen discontinuidades tectónicas en principio a lo largo del Río Uruguay que han ejercido una evolución dispar en la sedimentación y por lo tanto en los acuíferos. Se debe señalar que la caracterización y estudio de estas discontinuidades tectónicas exceden el alcance de este trabajo y por lo tanto queda pendiente para futuros estudios de la cuenca inferior del Río Uruguay.

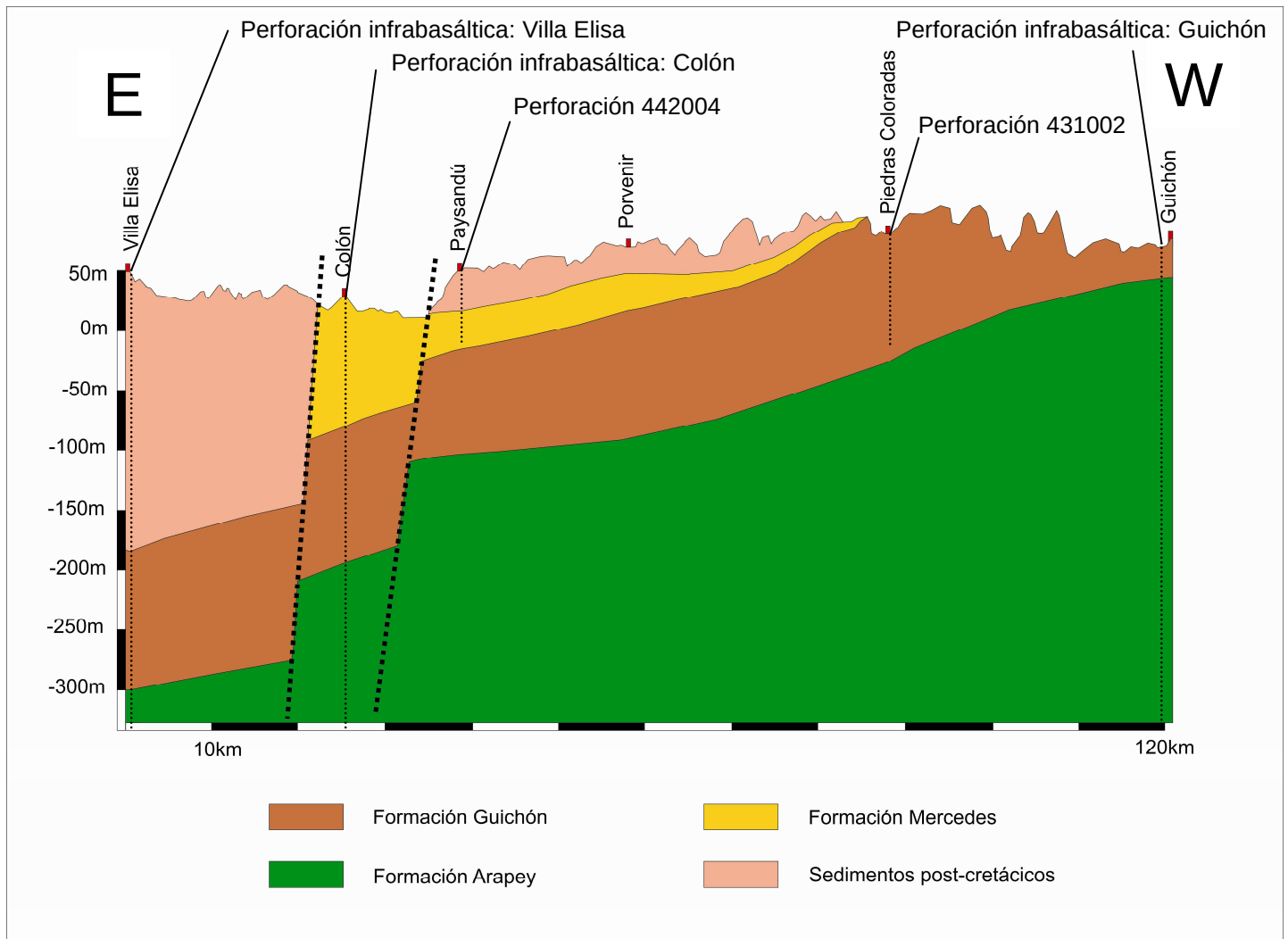


Figura 30. Corte esquemático E-W desde la ciudad de Villa Elisa (Entre Ríos) a la ciudad de Guichón (Paysandú) mostrando las discontinuidades a cada lado del Río Uruguay.

7. CONCLUSIONES

Las asimetrías hidrogeológicas presentes en ambos países son notorias y repercuten directamente en los emprendimientos productivos y el desarrollo socioeconómico. Un ejemplo de esto es el uso común del riego de arroz en el área Argentina. Los caudales obtenidos de las formaciones Ituzaingó y Salto Chico pueden llegar a ser de hasta 500 m³/h, mientras que en la Cuenca Litoral el riego en grandes extensiones hasta el momento no es económicamente viable con caudales máximos en el entorno de los 60 o 70 m³/h.

Las divergencias hidrogeológicas presentes en ambos países corresponden a discontinuidades tectónicas a lo largo del Río Uruguay que han generado, por lo menos en un período de tiempo una evolución diferente en ambas márgenes.

Con respecto a la comparación directa de acuíferos de edad Cretácica en ambas márgenes del Río Uruguay, sólo se puede determinar por datos de perforaciones que los espesores son mayores del lado Argentino, la Formación Mariano Boedo tiene un espesor aproximado 5 veces superior a la Formación Mercedes, mientras que la Formación Puerto Yeruá es 1,5 veces el espesor de la Formación Guichón. La carencia de datos hidrogeológicos de formaciones cretácicas en Entre Ríos obedece a la existencia de acuíferos de alto rendimiento en la Provincia de edad Cuaternaria, como son la Formación Ituzaingó y Salto Chico que impiden obtener datos de formaciones más profundas.

El acuífero Mercedes se comporta generalmente como confinado y en ocasiones semiconfinado. Incluso en los sitios donde aflora, la presencia en el perfil litológico de niveles impermeables silicificados y pelíticos genera el confinamiento de los niveles de aporte.

Se pudo establecer que existen diferencias constructivas y de rendimiento en las perforaciones que se ubican en el acuífero Mercedes libre con respecto al acuífero Mercedes con cobertura sedimentaria. Para el acuífero confinado las profundidades se sitúan en 50m, con caudales promedio cercanos a los 7m³/h, mientras que para el acuífero Mercedes libre la profundidad de las perforaciones es de 40m y los caudales promedio son de 6m³/h.

Con respecto a los parámetros hidrogeológicos de la Formación Mercedes, el Almacenamiento (S) varía aproximadamente desde 5,0⁻⁷ a 1,0⁻³, la Transmisividad se sitúa en el entorno de 1 a 190 m³/día. Este amplio rango de valores corresponde a la variabilidad litológica y a los diferentes grados de confinamiento que presenta el acuífero.

En la Formación Mercedes las profundidades más características de las perforaciones ronda en los 47m con caudales que se sitúan en alrededor de 6,5 m³/h, identificándose caudales de hasta 50 m³/h.

El caudal específico promedio de la Formación Mercedes generalmente es de 0,94 m³/h/m, pudiendo alcanzar valores de hasta 6m³/h/m.

Para la Formación Guichón se pudo determinar que las perforaciones realizadas en este acuífero presentan una profundidad promedio de 43m, constatando perforaciones de hasta 85m de profundidad. El caudal más característico es algo inferior a los $4 \text{ m}^3/\text{h}$, pero se relevaron perforaciones con caudales superiores de $15 \text{ m}^3/\text{h}$.

Por otra parte, para la Formación Guichón se calculó un caudal específico promedio próximo a $0,45 \text{ m}^3/\text{h/m}$, pudiendo superar valores de $1 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

Si nos referimos a perforaciones que captan agua tanto del acuífero Mercedes como del acuífero Guichón, las profundidades son en general algo superiores a los 110m, además los caudales promedios son aproximadamente de $23 \text{ m}^3/\text{h}$, pudiendo superar los $70 \text{ m}^3/\text{h}$. Este tipo de perforaciones son construidas en el marco de emprendimientos con un elevado consumo de agua potable como es el caso de industrias o ciudades.

Se determinó una mayor capacidad acuífera de la Formación Mercedes frente a la Formación Guichón por medio de la comparación directa del caudal total y el número total de perforaciones para cada acuífero.

No se pudo determinar una relación que indique el aumento del caudal con el aumento de la profundidad de las perforaciones en los acuíferos Mercedes y Guichón. Esto se debe a la heterogeneidad litológica.

Se calcularon radios de influencia teóricos con un tiempo de bombeo de 24 horas en los acuíferos cretácicos, dando como resultado distancias que van desde 50m hasta incluso mayores a 3000m. Es necesario puntualizar un posible error en los radios mayores debido a un comportamiento multicapa y por lo tanto de presencia de múltiples conos de descenso a diferentes profundidades, este fenómeno reduciría drásticamente las distancias que fueron calculadas ya que en la ecuación implícitamente se establece que el acuífero se conforma por una columna litológica uniforme.

En la ciudad de Young se llevó a cabo un ensayo de bombeo de 24 horas en una perforación que capta agua tanto de la Formación Mercedes como Guichón. Se contaba con otra perforación cercana que funcionó como piezómetro a una distancia de 445m. El resultado de este ensayo arrojó que el radio de influencia calculado por los descensos de ambas perforaciones es de 750m aproximadamente. A su vez el radio de influencia de esta perforación se determinó por medio de los parámetros hidráulicos obtenidos en el ensayo de bombeo dando como resultado 1012m.

Los depósitos sedimentarios que generan los acuíferos de los que se ha estado tratando, dan lugar a su vez a suelos de alta productividad creando un marco productivo único en el que se hace necesario generar políticas de manejo y protección. En este sentido es imprescindible un correcto ordenamiento territorial de estas áreas para mantener el potencial productivo de estos recursos durante el paso del tiempo y comenzar a generar una legislación para la protección de estos acuíferos.

8. BIBLIOGRAFÍA

1_ Dirección Nacional de Meteorología:

<http://meteorologia.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas>

2_ Dirección Nacional de Meteorología:

<http://meteorologia.gub.uy/index.php/caracteristicas-climaticas>

Alonso-Zarza A.; Genise J.; Verde M. (2011). Sedimentology, diagenesis and ichnology of Cretaceous and Palaeogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. *Sedimentary Geology* 236: 45-61.

Auge M.; Sánchez C.; Santi M. (2005). Hidrogeología de la región arrocerá de Entre Ríos. IV Congreso de Hidrogeología Argentina, Río IV. Córdoba. 1-3 p.

Barredo S. & Stinco L. (abril 2010). Geodinámica de las cuencas sedimentarias. En: Petrotecnia. Instituto argentino de petróleo y gas. Buenos Aires. 60-62 p.

Bossi J. (1966). Geología del Uruguay. Colección Ciencias N°2. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 237-265 p.

Bossi J.; Ferrando J.; Montaña N.; Campal H.; Morales F.; Gancio A.; Schipilov D.; Piñeyro D.; Sprechmann P. (2001). Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500.000. La lista paleofaunística actualizada para la Versión 2.0. Geo Editores SRL, Montevideo.: (CD-ROM)

Bossi J.; Ferrando J.; Montaña N.; Campal H.; Morales F.; Gancio A.; Schipilov D.; Piñeyro D.; Sprechmann P. (1998). Carta Geológica del Uruguay. Escala 1/500000. Geoeditores S.R.L, Montevideo.

Bossi J. & Navarro R. (1988a). Geología del Uruguay. Universidad de la República. Publicaciones 2(15): 761-809, Montevideo. Uruguay.

Bossi J. & Navarro R. (1991). Geología del Uruguay. Montevideo, UDELAR. 784.805 p.

Caorsi J. & Goñi J. (1958) Geología Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay Boletín N° 37. Montevideo. Uruguay. 1-73 p.

C.A.R.U. (Comisión administradora del Río Uruguay) 2013
<http://www.caru.org.uy/web/acerca-de/prueba-pagina/>

Chebli G.; Mozetic M.; Rossello E.; Buhler M. (2000). Cuencas sedimentarias de la llanura Chacopampeana. En: Caminos R. (ed). Geología Argentina. 627-643 p. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.

Chebli, G.; Tofalo O.; Turazzini G. (1989). Mesopotamia. En: G. Chebli y L. Spalletti (Eds.), Cuencas Sedimentarias Argentinas. Universidad de Tucumán. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N° 6: 79-100.

Chiozza, E. & Figueira, R. (1981). Atlas total de la República Argentina. Centro Editor de América Latina: 110-178.

Custodio E.; Llamas M.R. (1983). Hidrogeología subterránea. Segunda edición. Barcelona. 449-994 p.

Durán, A.; Califra, A.; Molfino S. (Junio 2001). Mapa general de suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía. UDELAR. División de Suelos.

Fernández Garrasino C.; Laffitte G.; Villar H. (2005). Cuenca Chacoparanaense. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina: 97-114.

Filí, M. F., (2001). Síntesis Geológica e Hidrogeológica del noroeste de la provincia de Entre Ríos - República Argentina. Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, Núm. especial, pp. 25-36.

Ford, I. & Gancio, F. (1989). Carta Geológica del Uruguay, escala: 1/100.000. Hoja O-21 Bizcocho. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.

Ford I, & Gancio F.(1988b). Asociación caolinita – montmorillonita en un paleosuelo del Terciario inferior del Uruguay (Fm. Asencio). Boletín de Investigación N° 12 Facultad de Agronomía.:1-12. Montevideo. Uruguay.

Gancio F. & Ford I. (1990). Carta Geológica del Uruguay escala 1/100.000 Hoja O15 Porvenir. Convenio Facultad de Agronomía. Facultad de Ciencias, Dirección Nacional Minería y Geología. Montevideo. Uruguay.

Goso C. (1999). Análise estratigráfico do grupo Paysandú (Cretácico) na bacia do litoral, Uruguay. Tese Doutorado, Campus de Rio Claro, Instituto de Geociencias e Ciencias Exatas, Universidade Estadual Paulista. 29-170 p.

Goso, C. & Perea, D. (2004). El Cretácico post-basáltico y el Terciario Inferior de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. En: Veroslavsky, G.; Ubilla, M.; Martínez, S. (eds.). Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Mesozoico.2.ed. Montevideo, DIRAC – Facultad de Ciencias. 141-165 p.

Hernández M.; Montaña J.; González N.; Collazo P.; Trovatto M.; Hernández L.; Álvarez M.; Montaña M. (2012). El programa de geohidrología comparada en la cuenca inferior del Río Uruguay (Argentina-Uruguay). Revista Latino-Americana de Hidrogeología. Alhsud. Vol 8: 71-78.

MGAP (1994). Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay (CAISU) de la División Suelos y Aguas, RENARE.

Montaña J.; Hernández M.; González N.; Hernández L.; Montaña M.; Trovatto M.M.; Álvarez M. Asimetrías hidrogeológicas en los sistemas acuíferos de la cuenca inferior del Río Uruguay (Argentina-Uruguay). (2011). VII Congreso Argentino de Hidrogeología. Salta, Argentina. 175-180 p.

Oyhantcabal P.; De Souza S.; Muzzio R. (1993). Geología y aspectos estructurales del borde orogénico en el extremo Sur del Cinturón Don Feliciano. 1er. Simposio Internacional NeoProterozoico-Cámbrico de la Cuenca del Plata; Resúmenes Extensos, 1: 22. La Paloma - Minas, Uruguay.

Perinotto J.A. & Goso C. (1998). Litofacies da Fm. Guichón (Ks) na região de Pº Hervidero (Dpto. Paysandú-Uruguai). Actas del II Congreso Uruguayo de Geología. : 70-74. Punta del Este. Uruguay.

Santa Cruz, J. & Silva Busso, A. (1999). Escenario hidrogeológico general de los principales acuíferos de la llanura pampeana y mesopotamia meridional Argentina. Hidrología Subterránea. Serie de correlación geológica N°13: 461-471.

Santi M.; Bianchi G.; Rezzónico G. (2007). Aguas subterráneas en la región Sudeste de La Provincia de Entre Ríos. En: V Congreso Argentino de Hidrogeología, Grupo Argentino AIH-UNER. Actas, 307-318. Paraná.

Servicio Geográfico Militar (1992). Mapa Topográfico del Uruguay. Escala 1-500.000. Uruguay.

Tófalo, O. (1986). Depósitos clásticos y carbonáticos del Cretácico Superior, Formación Puerto Yerúa, Entre Ríos. Actas 1ra. Reunión Argentina de Sedimentología, La Plata, pp. 201-204.

Tófalo O. (1998). Consideraciones sedimentarias del Cretácico superior del Uruguay occidental. Actas del 6º Panel de Geología del Litoral y 1ª Reunión de Geología Uruguay. 35-37. Salto. Uruguay.

Tófalo O. & Pazos P. (1998). Rasgos sedimentarios de la formación Mercedes (Cretácico superior) entre las ciudades de Mercedes y Fray Bentos, Rca. Oriental del Uruguay. Actas del II Congreso Uruguayo de Geología. : 75- 77. Punta del Este. Uruguay.

Tófalo O. & Pazos P. (2002). Caracterización de las calcretas de la Formación Puerto Yerúa (Cretácico), en base a su micromorfología (Entre Ríos Argentina). Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Revista Asociación Argentina de Sedimentología, Vol 9 n° 2: 127-134.

Tófalo, O.R.; Pazos, P.J., (2010). Paleoclimatic implications (Late Cretaceous-Paleogene) from micromorphology of calcretes, palustrine limestones and silcretes, southern Paraná Basin, Uruguay. Journal of South American Earth Sciences 29, 665-675.

Veroslavsky G. & Martínez S. (1996). Registros no depositacionales del Paleoceno Eoceno del Uruguay: nuevo enfoque para viejos problemas. Revista de la Universidad de Guarulhos. Série Geociências 1(3): 32-41.

Veroslavsky G.; Martínez S.; de Santa Ana H. (1997). Calcretas de aguas subterráneas y pedogénicas: génesis de los depósitos carbonáticos de la Cuenca de Santa Lucía, sur del Uruguay (Cretácico Superior? – Paleógeno). Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 4(1): 25-35.

Veroslavsky G.; Etchebehere M.L. de C.; Saad A.R. y Fúlfaro V.J. (1998). Análisis comparativo de los procesos de calcretización en las formaciones Marílis (Grupo Bauru - Brasil) y Mercedes (Grupo Paysandú - Uruguay), Cretácico superior de la Cuenca de Paraná. Actas del II Congreso Uruguayo de Geología. : 81-86. Punta del este. Uruguay.

Anexo 1

Tabla resumen de perforaciones relevadas

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
1		259900	6255100		40	17		1500	Guichón / confinado	MEVIR
2		260400	6249100		41	6,6		4200	Guichón / confinado	MEVIR
3		268400	6250300		35	9		1800	Guichón / confinado	MEVIR
4		270400	6241300		32	8.6		1800	Guichón / confinado	MEVIR
5	Paysandú	295700	6257300	Paysandú	30	8	12	4000	Guichón / confinado	MEVIR
6	Paysandú	309200	6508600	Paysandú	53	3	35	2000	Guichón / libre	MEVIR
7	Paysandú	314200	6468500	Paysandú	51	6	30	3000	Guichón / libre	MEVIR
8	Paysandú	313400	6475000	Paysandú	39	4	12	8000	Guichón / libre	MEVIR
9	Chapicuy	298300	6496100	Paysandú	40	24	29	2000	Guichón / libre	MEVIR
10		310000	6486700	Paysandú	27	6	12	6000	Guichón / libre	MEVIR
11		300400	6496700	Paysandú	45	0		1200	Guichón / libre	MEVIR
12		301800	6494900	Paysandú	24	5		5000	Guichón / libre	MEVIR
13		311800	6479300	Paysandú	38	7	20	4000	Guichón / libre	MEVIR
14		313300	6489500	Paysandú	35	14	21	7200	Guichón / libre	MEVIR
15		307800	6491000	Paysandú	37	28	32	600	Guichón / libre	MEVIR
16		302500	6470900	Paysandú	43	12	21	2000	Guichón / libre	MEVIR
17		291800	6463500	Paysandú	35	22	26	4000	Guichón / confinado	MEVIR
18		299700	6512300	Paysandú	43	7		1500	Guichón / libre	MEVIR
19	Chapicuy	314282	6487374	Paysandú	36	13,52		2000	Guichón / libre	MEVIR
20	San Javier	284879	6379760	Río Negro	45	4,93		2000	Guichón / confinado	MEVIR
21	Paysandú	332200	6407000	Paysandú	39	4		10000	Guichón / confinado	MEVIR
22	Bellaco	307750	6374418	Río Negro	45	9		2500	Guichón / confinado	MEVIR
23	Ruta 3, Km 432.500	305650	6467800	Paysandú	43,7	13	18	3000	Guichón / confinado	Prenader
24	Ruta3, Km 438, 12.5 Km al este	298000	6478450	Paysandú	45,7	7	0	2000	Guichón / libre	Prenader
25		301700	6498750	Paysandú	39,5	7	25	1500	Guichón / libre	Prenader
26	Ruta 3, Km 438, camino al este	310700	6478600	Paysandú	45	12	24	3000	Guichón / libre	Prenader

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
27		305500	6467350	Paysandú	72	17	43	800	Guichón / semiconfinado	Prenader
28		302400	6497200	Paysandú	62	14	25	1800	Guichón / libre	Prenader
29		301800	6494300	Paysandú	32,5	6	15	5000	Guichón / libre	Prenader
30	Ruta 3, Km 438, camino al este	302900	6479950	Paysandú	47	8,5	27,5	3000	Guichón / semiconfinado	Prenader
31	Ruta3, Km 433.500	305300	6468800	Paysandú	49,6	9		2000	Guichón / semiconfinado	Prenader
32	Ruta 3, Km 430.500, 18 Km al este	306500	6473750	Paysandú	48	14	29	3500	Guichón / libre	Prenader
33	Ruta 90, Km 31	291600	6420050	Paysandú	42,2	5	31	1500	Guichón / confinado	Prenader
34	SAN JAVIER	286200	6382700	Paysandú	45	20	33	1600	Guichón / confinado	Prenader
35	San Javier	287000	6381100	Río Negro	33		20	8000	Guichón / confinado	Prenader
431001	Piedras coloradas			Paysandú	55	19,22	29,63	8800	Guichón / semiconfinado	Ose
431002	Piedras coloradas			Paysandú	85	7,1	26,78	18000	Guichón / semiconfinado	OSE
432001 B		295900	6416400	Paysandú	48	20,2	26,9	4000	Guichón / confinado	OSE

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
36	Ruta 3, Km 438, 4 Km al este	308500	6479200	Paysandú	45,5	10		3000	Mercedes / libre	Prenader
37		345700	6364800	Río Negro	45			5000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
38	Ruta 2	316500	6291050	Soriano	32			3000	Mercedes / libre	Prenader
39	Ruta 2 km. 244, 8 km hacia W	298700	6297250	Soriano	47			5000	Mercedes / confinado	Prenader
40	Ruta 21 km. 293	265100	6264850	Soriano	55			1200	Mercedes / confinado	Prenader
41	Ruta 21 km. 310.8	271500	6280850	Soriano	49	12	30	2000	Mercedes / confinado	Prenader
42	Cno. Paso Ramos	278300	6286400	Soriano	35	3	30	30000	Mercedes / confinado	Prenader
43	Ruta 105 km.31.4	288800	6291800	Soriano	45			8000	Mercedes / confinado	Prenader
44	Ruta 95 km. 3	265800	6301000	Soriano	43	12	34	8000	Mercedes / confinado	Prenader
45	Ruta 21, 5 km. al N. De Dolores	281100	6295450	Soriano	43			1500	Mercedes / confinado	Prenader
46	Colonia L.A. De Herrera	288700	6379550	Río Negro	39	5	35	2500	Mercedes / confinado	Prenader
47	San Javier	284400	6380650	Río Negro	18,5	5	16	1000	Mercedes / confinado	Prenader
48		345400	6364200	Río Negro	50			4000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
49		342400	6363200	Río Negro	50	15	33	3000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
50		270600	6240900	Colonia	45	13,5	23	900	Mercedes / confinado	Prenader
51		270100	6242650	Colonia	45			10000	Mercedes / confinado	Prenader
52		268800	6239000	Colonia	45	11		4000	Mercedes / confinado	Prenader
53	Ruta 21 hacia N. Palmira	279900	6235500	Colonia	50	9,8		9000	Mercedes / confinado	Prenader
54		263900	6328350	Río Negro	68	30	50	10000	Mercedes / confinado	Prenader
55		263500	6329150	Río Negro	60	24	50	3000	Mercedes / confinado	Prenader
56		263300	6323950	Río Negro	67	30	55	10000	Mercedes / confinado	Prenader
57	Ruta 24 km.5	282100	6329950	Río Negro	60	14	37	8000	Mercedes / confinado	Prenader
58	Ruta 2 km. 244, 15 km hacia el E	313700	6303950	Soriano	44			30000	Mercedes / libre	Prenader
59	Ruta 105 km 35	293000	6288550	Soriano	50			20000	Mercedes / confinado	Prenader

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
60	Ruta 96 km. 32.2	279000	6278400	Soriano	37			2000	Mercedes / confinado	Prenader
61	Ruta 2 km 277, 1 km hacia el E	295300	6317050	Soriano	48			6000	Mercedes / libre	Prenader
62	Ruta 21 km. 296	260700	6269150	Soriano	42			1000	Mercedes / confinado	Prenader
63	Ruta 2 km. 244, 8 km hacia W	310100	6299750	Soriano	26			6000	Mercedes / libre	Prenader
64	Ruta 3 km 305	331600	6377750	Río Negro	36	6	11	6000	Mercedes / confinado	Prenader
65		342800	6360300	Río Negro	32	15	25	1500	Mercedes / libre	Prenader
66		285000	6386650	Río Negro	50	3	29	10000	Mercedes / confinado	Prenader
67	TRES BOCAS	294100	6379550	Río Negro	40,8	3	6	4800	Mercedes / confinado	Prenader
68	Ruta 24 y 25	302500	6368250	Río Negro	53	3	41	1000	Mercedes / confinado	Prenader
69		345300	6364200	Río Negro	50	20	36	4000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
70	Ruta 3 km 306	330600	6378100	Río Negro	46	9	14	6000	Mercedes / confinado	Prenader
71	Ruta 25 km. 32			Río Negro	40	8	27	2000	Mercedes / confinado	Prenader
72		282100	6395450	Río Negro	52	16	39	2000	Mercedes / confinado	Prenader
73	Colonia L.A. De Herrera	293800	6381350	Río Negro	23,2	15	16	6000	Mercedes / confinado	Prenader
74	San Javier	286500	6382550	Río Negro	50,5	11,5	15	3000	Mercedes / confinado	Prenader
75	San Javier	282000	6383800	Río Negro	40,5	5	6	6000	Mercedes / confinado	Prenader
76		349100	6396700	Río Negro	44,5	5	12	6000	Mercedes / libre	Prenader
77	Tres Quintas	296600	6379350	Río Negro	44,2	10	34	1800	Mercedes / confinado	Prenader
78	Tres Quintas	295800	6379600	Río Negro	43,7	14	33	1500	Mercedes / confinado	Prenader
79	San Javier	283800	6379250	Río Negro	28	5	20	2000	Mercedes / confinado	Prenader
80				Río Negro	30	8	24	5000	Mercedes	Prenader
81	Cno. a Sánchez	324100	6373900	Río Negro	57	18	27,1	5000	Mercedes / confinado	Prenader
82		343300	6365350	Río Negro	50	12	20	10000	Mercedes / confinado	Prenader
83		291400	6380450	Río Negro	55	15	32	10000	Mercedes / confinado	Prenader
84		293800	6381900	Río Negro	44,5	12	20	20000	Mercedes / confinado	Prenader
85	Tres Quintas	295600	6381000	Río Negro	50,8	4	26,5	2400	Mercedes / confinado	Prenader

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
86	San Javier	287500	6379600	Río Negro	24	14	18	12000	Mercedes / confinado	Prenader
87		344800	6363750	Río Negro	50			3000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
88		330600	6377950	Río Negro	60	10	36	3500	Mercedes / confinado	Prenader
89		295000	6419100	Río Negro	41	12,8	25	5500	Mercedes/semiconfinado	Prenader
90	Colonia Paysandú	279700	6410600	Río Negro	50,6	11	20	5000	Mercedes / confinado	Prenader
91		313000	6424350	Río Negro	21,5	5	7	7000	Mercedes / libre	Prenader
92	Ruta 25 km. 10	310500	6376400	Río Negro	50	10	27	10000	Mercedes / confinado	Prenader
93	Ruta 3 km. 308	329500	6379950	Río Negro	50			3000	Mercedes / confinado	Prenader
94		349200	6369100	Río Negro	27	5	19	2000	Mercedes/semiconfinado	Prenader
95		329400	6382900	Río Negro	50	9	11	5000	Mercedes / confinado	Prenader
96	Colonia Ros de Oger	301200	6474200	Paysandú	47	7	37	900	Mercedes / libre	Prenader
97		283600	6465300	Paysandú	28	16	23	4800	Mercedes/semiconfinado	Prenader
98	Fray Bentos	264423	6327995	Rio Negro	79	0		14400	Mercedes / confinado	MEVIR
99	Fray Bentos	268843	6325658	Rio Negro	46	14,04		2000	Mercedes / confinado	MEVIR
100	Colonia T. Berreta	263529	6329256	Rio Negro	70	10	20	14400	Mercedes / confinado	MEVIR
101	Colonia T Berreta	262306	6329487	Rio Negro	67	12		11500	Mercedes / confinado	MEVIR
102	Colonia T. Berreta	264917	6329970	Rio Negro	40	11	25,2	2800	Mercedes / confinado	MEVIR
103	Colonia T. Berreta	265296	6328836	Rio Negro	43	13,4	26	2800	Mercedes / confinado	MEVIR
104	Mercedes	298200	6313200	Soriano	53	19,4	24	4500	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
105	San Javier	287178	6381024	Rio Negro	64	11,5	30	4000	Mercedes / confinado	MEVIR
106	San Javier	282362	6388189	Rio Negro	50	8,5	28	2000	Mercedes / confinado	MEVIR
107	San Javier	283454	6394014	Rio Negro	34	4,8	22	3000	Mercedes / confinado	MEVIR
108	San Javier	286000	6377900	Rio Negro	40	3	5	7000	Mercedes / confinado	MEVIR
109	San Javier	286300	6382800	Rio Negro	54	1,5	32	2500	Mercedes / confinado	MEVIR

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
110	San Javier	281500	6392700	Rio Negro	45	10	20	4000	Mercedes / confinado	MEVIR
111	San Javier	284000	6377000	Rio Negro	30	3,8	11	5000	Mercedes / confinado	MEVIR
112	San Javier	286000	6382000	Rio Negro	54	5,8	34	3000	Mercedes / confinado	MEVIR
113	San Javier	289000	6379000	Rio Negro	35	5,2	18	5000	Mercedes / confinado	MEVIR
114	San Javier	284000	6387000	Rio Negro	39	12	30	1500	Mercedes / confinado	MEVIR
115	San Javier	286000	6389000	Rio Negro	40	18		3600	Mercedes / confinado	MEVIR
116	San Javier	294000	6379600	Rio Negro	35	17	20	800	Mercedes / confinado	MEVIR
117	San Javier	285000	6391000	Rio Negro	49	8,6	26	2000	Mercedes / confinado	MEVIR
118	San Javier	283000	6387000	Rio Negro	54	8,6		1000	Mercedes / confinado	MEVIR
119	San Javier	282000	6384000	Rio Negro	54	3,54	35	4000	Mercedes / confinado	MEVIR
120	Esperanza	298000	6414000	Paysandú	38	6,3		3200	Mercedes / confinado	MEVIR
121	Esperanza	295000	6419000	Paysandú	54	22		8000	Mercedes / confinado	MEVIR
122	Esperanza	289000	6423000	Paysandú	32	15		8000	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
123	Esperanza	291000	6416000	Paysandú	39	12	16	2400	Mercedes / confinado	MEVIR
124	Esperanza	307000	6420000	Paysandú	40	22		900	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
125	Esperanza	296000	6417000	Paysandú	29	5		10000	Mercedes / confinado	MEVIR
126	Esperanza	295000	6419000	Paysandú	36	22		4000	Mercedes / confinado	MEVIR
127	Esperanza	296000	6416000	Paysandú	33	10	12	10000	Mercedes / confinado	MEVIR
128	Esperanza	296000	6415000	Paysandú	37	13		4000	Mercedes / confinado	MEVIR
129	Porvenir	297205	6417633	Paysandú	44	10,61		4000	Mercedes / confinado	MEVIR
130	Porvenir	296239	6420574	Paysandú	56	22,77		2500	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
131	Colonia Kennedy	332669	6352696	Rio Negro	41	18,7		2000	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
132	Colonia Kennedy	332294	6354993	Rio Negro	40	13		2000	Mercedes / confinado	MEVIR
133	Colonia Kennedy	333355	6353438	Rio Negro	20	1,68		4000	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
134	Porvenir	292617	6417862	Paysandú	34	7		2000	Mercedes / confinado	MEVIR

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
135	Porvenir	297085	6413944	Paysandú	38	6,58		2400	Mercedes / confinado	MEVIR
136	Porvenir	291525	6420663	Paysandú	36	21,65		2000	Mercedes / confinado	MEVIR
137	Colonia Kennedy	330582	6355766	Rio Negro	36	10,7		2400	Mercedes / confinado	MEVIR
138	Paysandú	293970	6421563	Porvenir	36	23,48		1500	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
139	Porvenir	296462	6419436	Paysandú	39	20,72		2000	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
140	Porvenir	296775	6416810	Paysandú	47	5		6000	Mercedes / confinado	MEVIR
141	Chapicuy	316375	6487858	Paysandú	26	4,07		4200	Mercedes / libre	MEVIR
142	Chapicuy	314588	6487590	Paysandú	42	13,63		3000	Mercedes / libre	MEVIR
143	Chapicuy	302597	6480175	Paysandú	24	2,8		2900	Mercedes/semiconfinado	MEVIR
144	Colonia Ros de Oger	306300	6475000	Paysandú	50	10	30	4000	Mercedes / libre	Prenader
145	Arroyo Malo	316700	6473800	Paysandú	40,5	12	26	3000	Mercedes / libre	Prenader
764001	Nueva Palmira			Colonia	90	1,1	47,5	10000	Mercedes / confinado	OSE
764006	Nueva Palmira			Colonia	90,4	4,5	49,75	7500	Mercedes / confinado	OSE
764002	Nueva Palmira			Colonia	77	4,43	26	16000	Mercedes / confinado	OSE
764005	Nueva Palmira			Colonia	106	8,15	49,38	11500	Mercedes / confinado	OSE
681001	Villa Soriano			Soriano	45	4,2	21,9	12000	Mercedes / confinado	OSE
33233	Villa Darwin			Soriano	89	4,8	14,8	3500	Mercedes / confinado	OSE
683003	Dolores			Soriano	40	1,9	13	5000	Mercedes/semiconfinado	OSE
683001	Dolores			Soriano	26,2	6,73	12	15000	Mercedes / confinado	OSE
683004	Dolores			Soriano	35,5	5,27	15,83	40000	Mercedes / confinado	OSE
683006	Dolores			Soriano	24,5	5,3	15	6500	Mercedes / confinado	OSE
674003	Palmitas			Soriano	24,3	1,9	18	5000	Mercedes / libre	OSE
674007	Palmitas	314075	6240410	Soriano	40	9,2	29	2500	Mercedes / libre	OSE
674008	Palmitas	235750	6231407	Soriano	40	9,2	29	11000	Mercedes / libre	OSE
603003	Pence-Mercedes	297550	6316900	Soriano	37	5,75	25,5	1000	Mercedes / confinado	OSE

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero/confinamiento	Proyecto
603004	Pence-Mercedes	296600	6317200	Soriano	47,5	2,2	18,4	3000	Mercedes / confinado	OSE
591001	Villa Darwin			Soriano	89		14,8	3500	Mercedes / confinado	OSE
741001	La Casilla	393250	6274900	Flores	36	6,7	26,7	2800	Mercedes	OSE
511004	Young			Rio Negro	104	18,32	60	8500	Mercedes / confinado	OSE
511003	Young			Rio Negro	115	14,72	40	17000	Mercedes / confinado	OSE
511002	Young			Rio Negro	96	6,98	63	25000	Mercedes / confinado	OSE
442003	Porvenir			Paysandú	55	14,9	22,02	22000	Mercedes / confinado	Ose
442006	Porvenir	296397	6415232	Paysandú	65,5	12,5	16,8	20000	Mercedes / confinado	Ose
442007	Esperanza	297283	6419288	Paysandú	69	19,6	22,8	21000	Mercedes/semiconfinado	OSE
442004	Paysandú	288500	6418300	Paysandú	55	8,8	33,44	12000	Mercedes / confinado	OSE
152	Col. Mayo Gutiérrez			Rio Negro	31	10	24	5000	Mercedes	Prenader

ID	Ubicación	x	y	Departamento	Profundidad (m)	NE (m)	ND (m)	Caudal (l/h)	Acuífero	Proyecto
153	Arroyo Malo		6466550	Paysandú	39,6	2,5	30	3000	Mercedes/Guichón	Prenader
511010	Young			Rio Negro	192	14,1	92,3	53000	Mercedes/Guichón	Ose
511005	Young			Rio Negro	146,5	13,8	57,5	13000	Mercedes/Guichón	Ose
511001	Young			Rio Negro	110	18	47,74	15000	Mercedes/Guichón	Ose
511006	Young			Rio Negro	153	22,48	60	17000	Mercedes/Guichón	Ose
511007	Young			Rio Negro	191	3,8	46	60000	Mercedes/Guichón	Ose
511008	Young	330100	6374800	Rio Negro	178	4,5	71,3	31000	Mercedes/Guichón	Ose
511009	Young	330100	6378400	Rio Negro	84	4,6	57	22000	Mercedes/Guichón	Ose
602001	Nuevo Berlín	288447	6349508	Rio Negro		0,7	23,05	21000	Mercedes/Guichón	Ose
442002	Esperanza			Paysandú	92	20,9	28,36	17000	Mercedes/Guichón	Ose
433001	Algorta			Paysandú	74	10,1	37,5	1650	Mercedes/Guichón	Ose
442001	San Félix			Paysandú	47	6,2	34	5300	Mercedes/Guichón	Ose
	Queguay			Paysandú	47	10,38	23,22	5700	Mercedes/Guichón	Ose
363008	Constancia			Paysandú	134	18,8	47,7	6000	Mercedes/Guichón	Ose
146	Young	323638	6385761	Río Negro	118	3,56	52,9	65000	Mercedes/Guichón	Particular
147	Young			Río Negro	114	3,17	44,1	30000	Mercedes/Guichón	Particular

Anexo 2

Caudal específico

Caudales específicos para perforaciones en el acuífero Mercedes

Número	Ubicación	Departamento	Proyecto	Caudal específico (m ³ /h/m)
Norte del Río Negro				
49		Río Negro	Prenader	0,17
46	Colonia L.A. De Herrera	Río Negro	Prenader	0,08
54		Río Negro	Prenader	0,5
55		Río Negro	Prenader	0,12
56		Río Negro	Prenader	0,4
57	Ruta 24 km.5	Río Negro	Prenader	0,35
64	Ruta 3 km 305	Río Negro	Prenader	1,2
65		Río Negro	Prenader	0,15
66		Río Negro	Prenader	0,38
67	TRES BOCAS	Río Negro	Prenader	1,6
68	Ruta 24 y 25	Río Negro	Prenader	0,026
69		Río Negro	Prenader	0,25
70	Ruta 3 km 306	Río Negro	Prenader	1,2
71	Ruta 25 km. 32	Río Negro	Prenader	0,11
72		Río Negro	Prenader	0,087
73	Colonia L.A. De Herrera	Río Negro	Prenader	6
74	San Javier	Río Negro	Prenader	0,86
75	San Javier	Río Negro	Prenader	6
76		Río Negro	Prenader	0,86
77	Tres Quintas	Río Negro	Prenader	0,075
78	Tres Quintas	Río Negro	Prenader	0,079
79	San Javier	Río Negro	Prenader	0,13
80		Río Negro	Prenader	0,31
81	Cno. a Sánchez	Río Negro	Prenader	0,55
82		Río Negro	Prenader	1,25
83		Río Negro	Prenader	0,59
84		Río Negro	Prenader	2,5
85	Tres Quintas	Río Negro	Prenader	0,11
86	San Javier	Río Negro	Prenader	3
88		Río Negro	Prenader	0,13
89		Paysandú	Prenader	0,41
90	Colonia Paysandú	Paysandú	Prenader	0,56
91		Paysandú	Prenader	3,5
92	Ruta 25 km. 10	Río Negro	Prenader	0,59
94		Río Negro	Prenader	0,14
95		Río Negro	Prenader	0,412
96	Colonia Ros de Oger	Paysandú	Prenader	0,03
97		Paysandú	Prenader	0,685
100	Colonia T. Berreta	Río Negro	MEVIR	1,44
102	Colonia T. Berreta	Río Negro	MEVIR	0,197
103	Colonia T. Berreta	Río Negro	MEVIR	0,22
105	San Javier	Río Negro	MEVIR	0,22

106	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,1
107	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,17
108	San Javier	Rio Negro	MEVIR	3,5
109	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,082
110	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,4
111	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,69
112	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,11
113	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,39
114	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,83
116	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,27
117	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,11
119	San Javier	Rio Negro	MEVIR	0,13
123	Esperanza	Paysandú	MEVIR	0,6
127	Esperanza	Paysandú	MEVIR	5
144	Colonia Ros de Oger	Paysandú	Prenader	0,2
145	Arroyo Malo	Paysandú	Prenader	0,21
511004	Young	Rio Negro	OSE	0,204
511003	Young	Rio Negro	OSE	0,67
511002	Young	Rio Negro	OSE	0,45
442003	Porvenir	Paysandú	OSE	3,09
442006	Porvenir	Paysandú	OSE	4,65
442007	Esperanza	Paysandú	OSE	6,56
442004	Paysandú	Paysandú	OSE	0,49
Sur del Río Negro				
41	Ruta 21 km. 310.8	Soriano	Prenader	0,11
42	Cno. Paso Ramos	Soriano	Prenader	1,11
741001	La Casilla	Flores	OSE	0,14
44	Ruta 95 km. 3	Soriano	Prenader	0,36
50		Colonia	Prenader	0,095
764001	Nueva Palmira	Colonia	OSE	0,22
764006	Nueva Palmira	Colonia	OSE	0,17
764002	Nueva Palmira	Colonia	OSE	0,74
764005	Nueva Palmira	Colonia	OSE	0,29
681001	Villa Soriano	Soriano	OSE	0,697
33233	Villa Darwin	Soriano	OSE	0,35
683003	Dolores	Soriano	OSE	0,45
683001	Dolores	Soriano	OSE	2,85
683004	Dolores	Soriano	OSE	3,79
683006	Dolores	Soriano	OSE	0,67
674003	Palmitas	Soriano	OSE	0,31
674007	Palmitas	Soriano	OSE	0,13
674008	Palmitas	Soriano	OSE	0,56
603003	Pence-Mercedes	Soriano	OSE	0,05
603004	Pence-Mercedes	Soriano	OSE	0,185

Caudales específicos para perforaciones en el acuífero Guichón

Número	Ubicación	Departamento	Proyecto	Caudal específico (m ³ /h/m)
5	Paysandú	Paysandú	MEVIR	1
6	Paysandú	Paysandú	MEVIR	0,06
7	Paysandú	Paysandú	MEVIR	0,13
8	Paysandú	Paysandú	MEVIR	1
9	Chapicuy	Paysandú	MEVIR	0,4
10		Paysandú	MEVIR	1
13		Paysandú	MEVIR	0,31
14		Paysandú	MEVIR	1,03
15		Paysandú	MEVIR	0,15
16		Paysandú	MEVIR	0,22
17		Paysandú	MEVIR	1
23	Ruta 3, Lm 432.500	Paysandú	Prenader	0,6
25		Paysandú	Prenader	0,08
26	Ruta 3, Km 438, camino al este	Paysandú	Prenader	0,25
27		Paysandú	Prenader	0,031
28		Paysandú	Prenader	0,16
29		Paysandú	Prenader	0,55
30	Ruta 3, Km 438, camino al este	Paysandú	Prenader	0,16
32	Ruta 3, Km 430.500, 18 Km al este	Paysandú	Prenader	0,23
33	Ruta 90, Km 31	Paysandú	Prenader	0,057
34	San Javier	Río Negro	Prenader	0,12
431001	Piedras coloradas	Paysandú	OSE	0,84
431002		Paysandú	OSE	0,91
432001 B		Paysandú	OSE	0,59

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos son para el Dr. en Geología Jorge Montaña por sus aportes, constante colaboración y sobre todo por su tutoría en este trabajo final. Al personal de OSE de la división Aguas Subterráneas por su amable atención y disposición, en especial a la Lic. en Geología Margarita Sienra. A la Lic. en Geología Carmen Alves en el desarrollo de mapas y en la premura en la entrega del trabajo. Al Dr. en Geología Mario Hernández por su apoyo y colaboración y a los integrantes del tribunal por sus aportes en las correcciones.

Por último quiero dar las gracias a mi familia y amigos por ser un apoyo constante e incondicional.