

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Departamento de Ciencias Geológicas



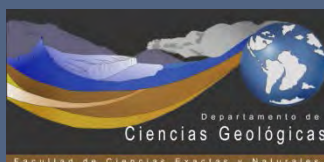
# Hidrogeología y Vulnerabilidad de la Sección Epiparaneana en la Cuenca del Río Luján, Buenos Aires

---

*Autora: Mariana Alicia Paparás*

Director: Adrián Silva Busso

Año: 2018



## Índice

Resumen .....	8
Capítulo 1 – Introducción .....	10
1.1 Objetivos .....	10
1.2 Materiales y Métodos .....	10
Capítulo 2 – Características del área de estudio .....	13
2.1 Ubicación y vías de acceso .....	13
2.2 Clima .....	15
Capítulo 3 – Geología.....	16
3.1 Antecedentes .....	16
3.2 Estratigrafía .....	18
3.3 Estructura y Tectónica .....	33
3.4 Geomorfología .....	35
3.5 Suelos .....	39
Capítulo 4 – Hidrología .....	43
Capítulo 5 – Hidrogeología .....	48
5.1 Hidroestratigrafía.....	48
5.2 Características hidrogeológicas .....	52
5.3 Explotación del recurso.....	57

Capítulo 6 – Geomorfología y Suelos del área de estudio .....	60
6.1 Generalidades .....	60
6.2 Reconocimiento geomorfológico.....	61
6.3 Geomorfología y Suelos .....	65
Capítulo 7 – Geología del área de estudio .....	67
7.1 Generalidades .....	67
7.2 Resultados de análisis y descripciones de los cortes delgados .....	70
7.3 Análisis y clasificación de las muestras de arenas .....	75
7.4 Perfiles litoestratigráficos característicos.....	77
7.5 Mapa geológico.....	79
Capítulo 8 – Hidrogeología del área de estudio .....	82
8.1 Generalidades .....	82
8.2 Caracterización del régimen de precipitaciones de la cuenca .....	83
8.3 Calculo de variables hidrogeológicas.....	85
8.4 Hidroestratigrafía e hidroquímica.....	91
8.5 Mapa hidrogeológico .....	93
Capítulo 9 – Vulnerabilidad .....	94
9.1 Conceptos y antecedentes.....	94
9.2 Metodología empleada.....	97
9.3 Validación de un sector de la cuenca .....	109

Capítulo 10 – Conclusiones y Recomendaciones .....	112
10.1 Conclusiones .....	112
10.2 Recomendaciones .....	113
Agradecimientos.....	115
Bibliografía.....	116
Anexo I: Análisis de cortes delgados de grano suelto	
Anexo II: Perfiles geológicos	
Anexo III: Cortes hidrogeológicos	
Anexo IV: Mapas	

### **Índice de figuras**

Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río Luján. ....	14
Figura 2: Mapa de los partidos de la provincia de Buenos Aires que integran la cuenca del río Luján. ....	15
Figura 3: Columna estratigráfica tipo propuesta para el relleno de valles pampeanos (Toledo, 2011).....	18
Figura 4: Columna estratigráfica tipo del lujanense levantada sobre el río Luján, entre las localidades de Jáuregui y Luján (Toledo, 2005). ....	29



Figura 5: Localización de las fosas de Quilmes y Recalada y sus relaciones con las cuencas del Salado y Santa Lucía (Rossello et al., 2017).....	34
Figura 6: Mapa geomorfológico de las principales cuencas del noreste de la provincia de Buenos Aires (Gatti, 2003).....	36
Figura 7: Mapa geomorfológico del área Metropolitana Bonaerense, según Pereyra (2004).....	37
Figura 8: Unidades geomorfológicas del estuario del Río de La Plata y delta del Paraná (Marcomini y López, 2011) .....	38
Figura 9: Mapa de cuencas aledañas a la cuenca del río Luján (Fuente: DPOH). .....	43
Figura 10: Mapa de cursos de agua del área de estudio.....	44
Figura 11. Área de la Subregión río Paraná (Santa Cruz y Silva Busso, 1999) .....	48
Figura 12: Mapa de cotas del contacto entre la Formación Puelches y los Sedimentos Postpampeanos (Amato y Silva Busso, 2006).....	50
Figura 13: Planicie de cordones litorales y paleoacantilado en la cuenca baja (mosaico Landsat 1986-1992). .....	61
Figura 14: Planicie de inundación en Los Cardales (izq). Ambiente anegado dentro de la planicie de inundación en Los Cardales (der).....	62
Figura 15: meandro abandonado en la cuenca baja. ....	63
Figura 16: Zona cubierta de cubetas de deflación en las nacientes del Arrollo Los Leones, en la Planicie Ondulada, cuenca alta del río Luján (mosaico Landsat 1986-1992).....	64
Figura 17: Mapa geomorfológico de la cuenca del río Luján. ....	65
Figura 18: Mapa de unidades edáficas.....	66

Figura 19: Ubicación de los pozos utilizados para los cortes petrográficos.....	69
Figura 20: Fragmento lítico, correspondiente a un cemento silíceo, Formación Paraná. .....	71
<i>Figura 21: Vista en microscopio petrográfico de los cortes delgados de grano suelto de las muestras correspondientes a la Formación Puelches. ....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 22: Vista en microscopio petrográfico de los cortes delgados de grano suelto de las muestras correspondientes a los Sedimentos Pampeanos. ....</i>	<i>73</i>
Figura 23: Vista en microscopio petrográfico del corte delgado de grano suelto de la muestra correspondiente a los Sedimentos Postpampeanos. ....	74
Figura 24: Clasificación según Folk et al. (1970).....	76
Figura 25: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca alta.	77
Figura 26: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca media. .....	78
Figura 27: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca baja.	79
Figura 28: Formación Luján verde superior, barranca en Escobar.....	80
Figura 29: Depósitos fluviales de la Formación Platense en Los Cardales (izq). Y depósitos de cordones litorales, fase regresiva de la Formación La Plata, en Escobar (der). ....	80
Figura 30: Mapa geológico de la Cuenca del río Luján.....	81
Figura 31: Precipitaciones medias mensuales en mm, estación INTA-Delta (años 2011 a 2015).....	84
Figura 32: Precipitaciones medias mensuales en mm, estación SMN Ezeiza (años 1956 a 2017).....	85

Figura 33: Ubicación de los datos de pozo hallados y puntos de intersección de los cursos de agua con las curvas de nivel (punto río). .....	88
Figura 34: Mapa Piezométrico de la Cuenca del río Luján para la Sección Epiparaneana. ....	89
Figura 35: Mapa de Gradiente Hidráulico. ....	90
Figura 36: Mapa de espesor de la Zona no Saturada (ZNS). ....	91
Figura 37: Sistema GOD para la evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero (Foster et al., 2002). ....	95
Figura 38: Mapa de Índice de Gradiente. ....	100
Figura 39: Mapa de Índice de Suelo. ....	104
Figura 40: Mapa de Índice de Zona no Saturada (IZNS). ....	106
Figura 41: Mapa de Vulnerabilidad de la Cuenca del río Luján. ....	107
Figura 42: Comparación entre el mapa de peligrosidad de contaminación con metales pesados (Silva Busso y Santa Cruz, 2003) y el mapa de vulnerabilidad generado en este trabajo para el partido de Escobar. ....	110

### **Índice de tablas**

Tabla 1: Unidades hidroestratigráficas (modificado de Santa Cruz y Silva Busso, 1999). ....	49
Tabla 2: Pozos muestreados (cota en msnm y profundidad en mbbp). ....	67

Tabla 3: Muestras extraídas para la confección de cortes delgados de grano suelto. ...	70
Tabla 4: Conteo de granos realizado en los cortes delgados de arenas. ....	75
Tabla 5: Composición mineralógica de las muestras analizadas.....	75
Tabla 6: Recálculos para la clasificación según Folk et al. (1970). ....	76
Tabla 7: Precipitaciones medias mensuales, estación meteorológica INTA-Delta (años 2011 a 2015) y estación SMN Ezeiza (1956 a 2017).....	84

## Resumen

La Cuenca del río Luján cuenta con una superficie de 3400km<sup>2</sup> y recorre 170km en todo su trayecto desde la confluencia de los arroyos Leones y Durazno hasta su desembocadura en el Río de la Plata. Se ubica en el noreste de la provincia de Buenos Aires y contiene una alta densidad poblacional. Tiene un clima templado húmedo con temperaturas medias anuales de 17°C y precipitaciones de aproximadamente 1000mm por año.

En la zona afloran sedimentos pliocenos y holocenos compuestos por limos y arcillas con algunas intercalaciones de niveles calcretizados y de arenas muy finas. Estos sedimentos han conformado el material parental de los potentes suelos que allí se desarrollan. En profundidad se encuentran unidades pliocenas a pleistocenas, mayormente psamíticas, de hasta 120 m de espesor con intercalaciones de psefitas y pelitas, que suprayacen a secuencias predominantemente arcillosas con intercalaciones arenosas del Mioceno. Todas estas unidades albergan los acuíferos más importantes de la región, constituyendo acuíferos libres y semilibres en las unidades más superficiales y semiconfinados y confinados en las más profundas.

Las características geológicas e hidrogeológicas de los acuíferos en la zona, sumado a la gran aglomeración urbana y suburbana que se asienta mayormente en las zonas media y baja de la cuenca, generan una susceptibilidad a la contaminación del agua en los acuíferos que se ve agravada por el vertido de contaminantes ejercido por las actividades humanas. Cabe destacar que estos acuíferos representan la única fuente de agua potable de la región.

Como forma de abordaje a esta problemática se realizó un estudio geológico e hidrogeológico que abarca toda la cuenca del río Luján, con el fin de caracterizarla en esos aspectos.

En base a estos estudios se presenta un análisis y estimación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el uso de herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfica), recurriendo a un sistema

paramétrico adaptado a las características hidrogeológicas del área, obteniéndose como resultado final un mapa de vulnerabilidad para toda la cuenca.

En función de los estudios realizados se concluye que las zonas más urbanizadas, generalmente ubicadas en el área de la cuenca baja, son las que presentan las mayores anomalías en los niveles piezométricos, además de encontrarse allí las zonas de más alta vulnerabilidad calculada.

## Capítulo 1 – Introducción

### 1.1 Objetivos

Este estudio tiene como objetivo realizar el Trabajo Final de Licenciatura para cumplimentar con los requisitos que exige el Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires para otorgar del título de grado en Cs. Geológicas.

Desde el punto de vista geológico, se propone una caracterización hidrogeológica de la zona que comprende la cuenca del río Luján, provincia de Buenos Aires, y un análisis de vulnerabilidad de los acuíferos de la Sección Epiparaneana de la misma.

### 1.2 Materiales y Métodos

Las tareas comenzaron con una búsqueda bibliográfica para reunir los antecedentes de estudios realizados en la zona. Por otro lado, considerando la falta de afloramientos en el área, se planteó una búsqueda de información de pozos y captaciones realizadas en toda el área de la cuenca del río Luján, con datos de perfiles litológicos e hidrogeológicos.

Una vez obtenida toda la información posible, se generó una base de datos para toda la cuenca, que se tomó como punto de partida para las etapas posteriores del trabajo.

En marzo de 2018 se realizó una campaña cuyo objetivo fue corroborar los límites de las unidades geológicas y geomorfológicas y la toma de datos hidrogeológicos.

Por otra parte, en 5 pozos ubicados en la cuenca, se muestrearon los niveles representativos de cada unidad geológica. Con el material obtenido se realizaron

cortes delgados del sedimento impregnado con resina epoxi, que luego se analizaron en microscopio. En base a esto se generaron 3 perfiles estratigráficos para caracterizar la cuenca en sus zonas alta, media y baja.

Además se realizó un mapeo geomorfológico a escala 1:250.000. Para tal fin se utilizaron imágenes satelitales, capas base GIS y DEM generados por el IGN (Instituto Geográfico Nacional).

Con los valores de niveles estáticos obtenidos de la recopilación de datos y luego de un trabajo de normalización de los mismos, se trabajó mediante el uso de softwares tipo GIS en el armado de una piezometría a nivel cuenca, de acuerdo al método propuesto por Santa Cruz *et al.* (2004). A partir de la misma se crearon superficies de espesor de zona no saturada y de gradiente hidráulico que fueron la base para generar los índices de gradiente y de zona no saturada. También se creó un índice de suelos en base a lo propuesto por Gatti *et al.* (2005) y el mapeo geomorfológico realizado.

En base a las capas GIS obtenidas, se calculó un índice de vulnerabilidad, basado en el método GIS-INA (Gatti *et al.*, 2005).

Para la realización de parte de este estudio se desarrolló una base de datos espaciales georreferenciada ligada a un GIS (Sistemas de Información Geográfica), a partir del cual se confeccionaron las capas vectoriales y raster que se utilizaron para determinar los Índices de Suelo, de Gradiente y de Zona no saturada y finalmente, mediante álgebra de mapas, el índice de Vulnerabilidad.

Esta base de datos se usó además para generar un diseño 3D del modelo hidrogeológico para la cuenca, utilizando un software de modelamiento implícito, del cual se obtuvieron también cortes transversales 2D.

Por último, se propone una breve comparación de los valores de vulnerabilidad obtenidos con un estudio de peligro de contaminación con elementos pesados del acuífero en el partido de Escobar.



***Listado de material digital utilizado en este trabajo:***

- Dirección Provincial de Obras Hídricas (DPOH): Capa GIS de cuencas hídricas de la provincia de Buenos Aires, 2016.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN):
  - Capa GIS de Curvas de nivel
  - Capa GIS de Centros poblados
  - Capa GIS de Red vial
  - Capa GIS de Red ferroviaria
  - Modelo Digital de Elevaciones de Argentina (MDE-Ar), 2016, 30m.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Datos meteorológicos de la estación Ezeiza.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): Datos meteorológicos de la estación INTA-Delta.
- U.S. Geological Survey (USGS):
  - Imagen Landsat, U.S. Geological Survey (USGS), publicación: 2004-07-07, TM Orthorectified Mosaic for Entity ID: MTS-20-30\_LOC, fecha inicio: 1986-03-07, fecha fin: 1992-02-04.
  - Imagen Landsat, U.S. Geological Survey (USGS), publicación: 2000-12-20, Landsat Orthorectified ETM+ - Path: 225 Row: 84 for Scene: ELP225R084\_7T20001220
  - Imagen Landsat, U.S. Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, publicación: 2013, LANDSAT 8 OLI/TIRS Collection 1 - Path: 225 Row: 84 for Scene: LC08\_L1TP\_225084\_20161224\_20170315\_01\_T1
  - Imagen Landsat, U.S. Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, publicación: 2013, LANDSAT 8 OLI/TIRS Collection 1 - Path: 226 Row: 84 for Scene: LC08\_L1TP\_226084\_20161215\_20170316\_01\_T1

## Capítulo 2 – Características del área de estudio

### 2.1 Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio comprende la Cuenca del río Luján, que se ubica en el noreste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Dentro de ella, más específicamente en la cuenca baja, se encuentra parte de una de las regiones urbanas más extensas del mundo, el Gran Buenos Aires, una región metropolitana con una densidad poblacional de 4530.97 hab/Km<sup>2</sup> (fuente: INDEC, 2010). Mientras que hacia las zonas de la cuenca media y alta, se desarrollan zonas rurales con algunas localidades aisladas.

Las principales vías de acceso a la zona son las rutas nacionales y autopistas 5, 7, 8 y 9, que atraviesan los partidos de Campana, Escobar, Tigre, Pilar, Luján, Mercedes, Suipacha, San Andrés de Giles, José C. Paz y Malvinas Argentinas. Y en menor medida Chacabuco, Carmen de Areco, Exaltación de la Cruz, Moreno y General Rodríguez (Figura 2).

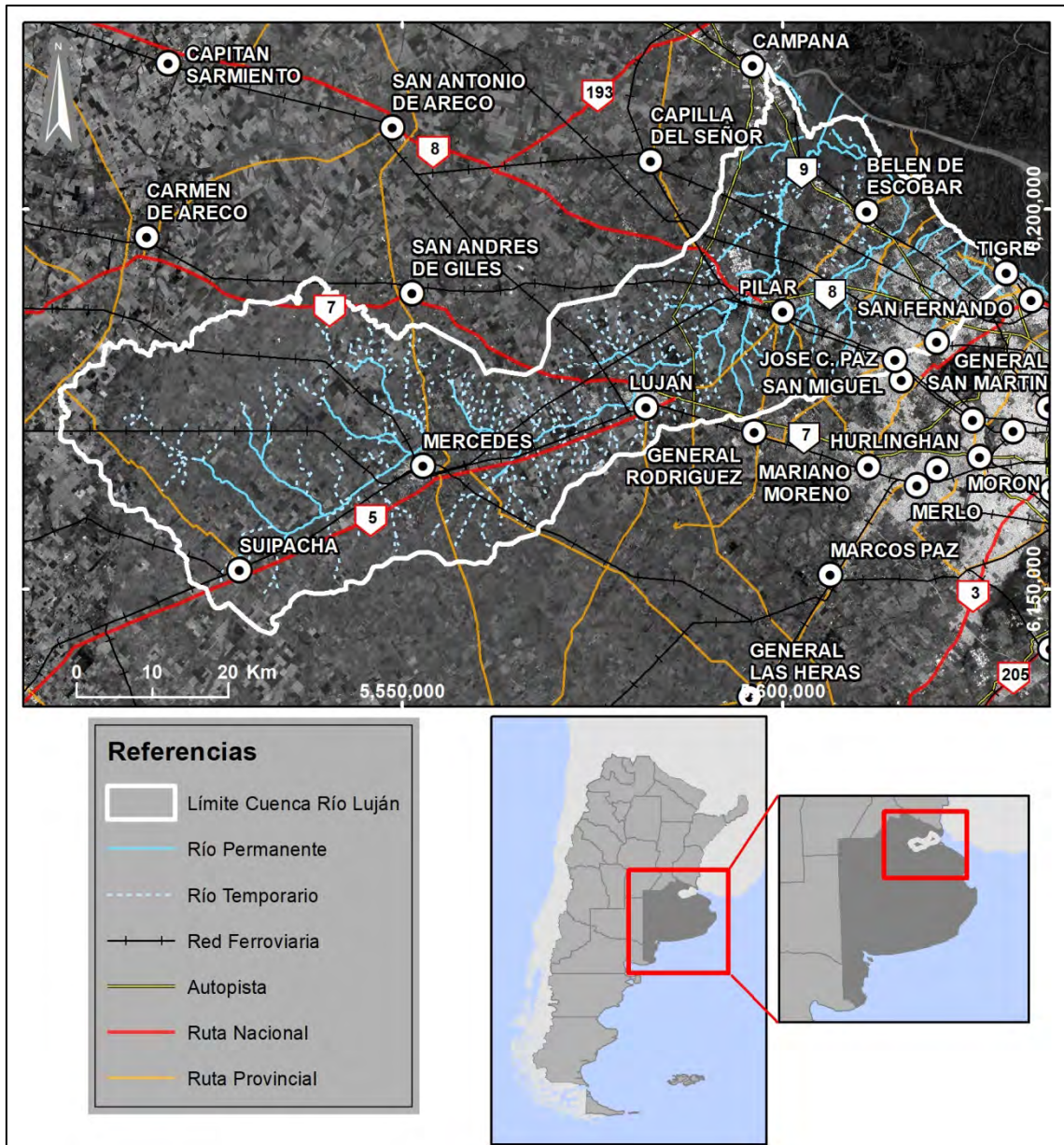
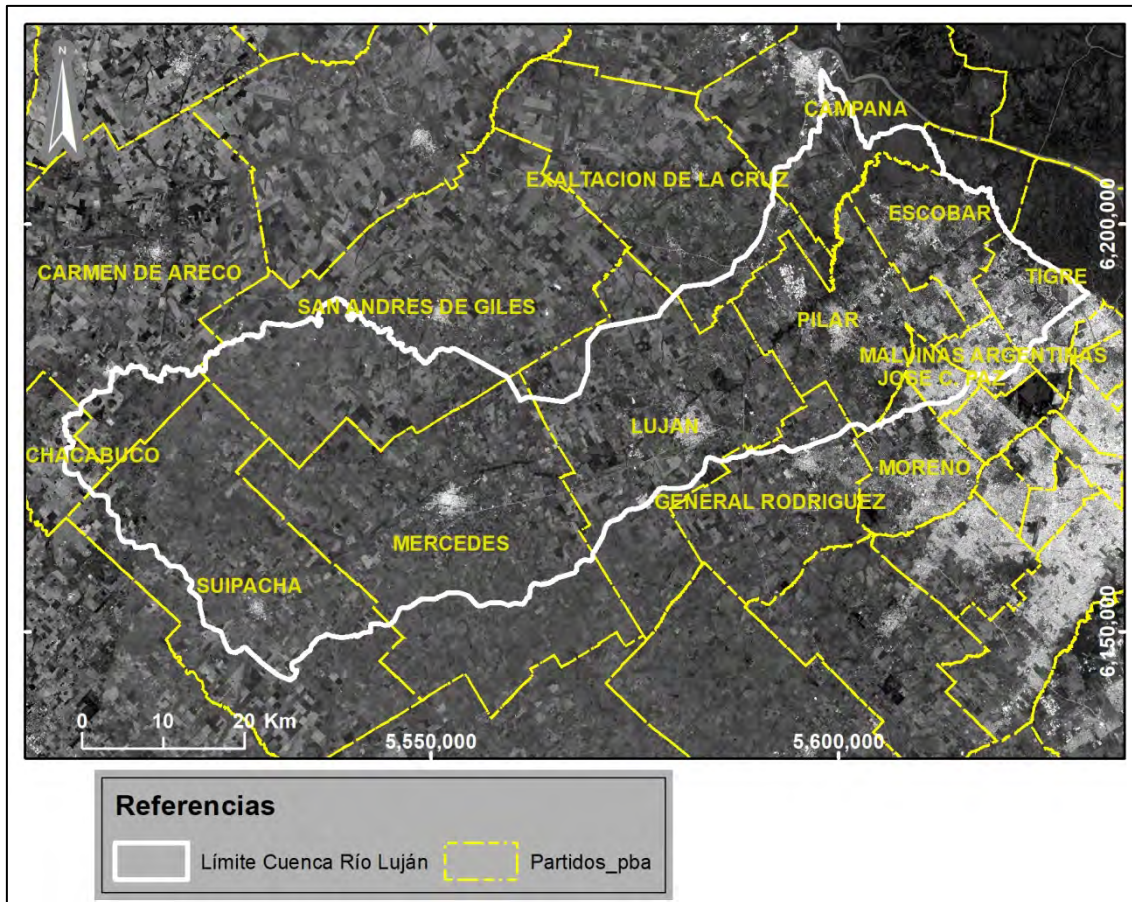


Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río Luján.

El relieve predominante es de llanura, con cotas que van desde los 0 a los 60 msnm. El río Luján nace en el partido de Suipacha, de la confluencia de los Arroyos Durazno y Los Leones. Desde allí discurre hacia el noreste, hasta su cuenca baja, determinando el límite de los partidos de Campana y Escobar, donde realiza un desvío hacia el sureste, dirección que mantiene hasta su desembocadura en el estuario del río de la Plata.



*Figura 2: Mapa de los partidos de la provincia de Buenos Aires que integran la cuenca del río Luján.*

## 2.2 Clima

La región del noroeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por un clima templado subhúmedo, con cuatro estaciones marcadas.

Según Fucks (2005), quien analiza datos estadísticos del SMN del Observatorio Central de Buenos Aires, las temperaturas medias anuales varían entre 16 y 18 °C.

Según Gatti (2003), las precipitaciones medias anuales rondan los 1075 mm, la presión atmosférica media anual es de 1014 a 1016 Hpa. Respecto a los vientos, predominan los provenientes del norte, noreste, este, sureste y sur, con una velocidad promedio de 10 a 16 km/h. Mientras que la humedad relativa promedio va de 70 a 80% en julio, y de 70 a 60% en enero.



## Capítulo 3 – Geología

### 3.1 Antecedentes

Desde el siglo XIX, numerosos y reconocidos naturalistas e investigadores han recorrido y estudiado el área de la cuenca del río Luján.

Ameghino (1889, 1909), con el objetivo de construir una base estratigráfica para sus estudios arqueológicos, lo hizo sobre la base de a los estratos aflorantes en el río Luján para el área del Río de la Plata.

Daus (1946) investigó la morfología general de las llanuras argentinas, detallando sus divisiones y límites, características, rasgos morfogénicos, secuencia sedimentaria, tectónica, topografía, hidrografía y suelos. Este autor ubicó a la zona de estudio dentro de la "Pampa Ondulada".

Frenguelli (1950) realizó estudios sobre las características generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires, designando al área en cuestión como "Pampa baja". Postuló la existencia de cuatro ciclos climáticos cuaternarios correspondientes a los pisos Pre-Ensenadense, Ensenadense, Bonaerense y Postpampeano, basado en la alternancia de limos (fase pluvial) y loess (fase seca).

González Bonorino (1965) investigó la mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano de la ciudad de Buenos Aires, su significado estratigráfico y sedimentológico, y las posibles áreas de aporte de los materiales constituyentes del loess. Concluyó que la sedimentación del Pampeano comenzó con un régimen fluvial y finalizó con un ambiente predominantemente eólico. Afirmó que dicha sedimentación constituyó solo un ciclo, explicándolo con un retroceso de la línea de costa debido al descenso del nivel de base.

Sala (1969, 1972, 1975) evaluó los recursos hídricos del noreste de la provincia de Buenos Aires, señaló las distintas unidades morfológicas y ambientes, y efectuó el

balance hídrico del área. Detalló las características: geología, morfología, tectónica y comportamiento del agua superficial y subterránea en el sector mencionado. Finalmente se refiere a la contaminación, exploración y desarrollo del agua subterránea en el área.

Fidalgo *et al.* (1975) realizaron una síntesis de los conocimientos geológicos y estratigráficos referidos exclusivamente a las unidades aflorantes, redefiniendo los pisos propuestos por Ameghino.

Yrigoyen (1975) estudió la geología del subsuelo de la provincia de Buenos Aires y la plataforma continental adyacente. Analizó detalladamente la tectónica del área, la formación de cuencas y el relleno sedimentario de las mismas.

Russo *et al.* (1979) consideraron los aspectos geológicos más importantes de la llanura chacopampeana, en especial aquellos vinculados con el subsuelo de la región. Estudiaron los lineamientos generales de la estratigrafía y esbozaron las principales características estructurales de la cuenca.

Fucks (2005) realiza cortes geológicos y perfiles aportando nuevos datos y dataciones absolutas a los estudios geomorfológicos y litoestratigráficos.

Toledo (2011) contribuye con nuevas observaciones estratigráficas y dataciones absolutas de perfiles de valles en el río Luján (Toledo, 2005) y hace una revisión de todos los estudios estratigráficos y nomenclaturas utilizadas hasta ese momento tomando como base los estudios de Ameghino, autor que sigue en su propuesta de una estratigrafía que simplifica las múltiples denominaciones que otros autores han dado a depósitos similares presentes en el área del noreste de la provincia de Buenos Aires (Toledo, 2011) (Figura 3).

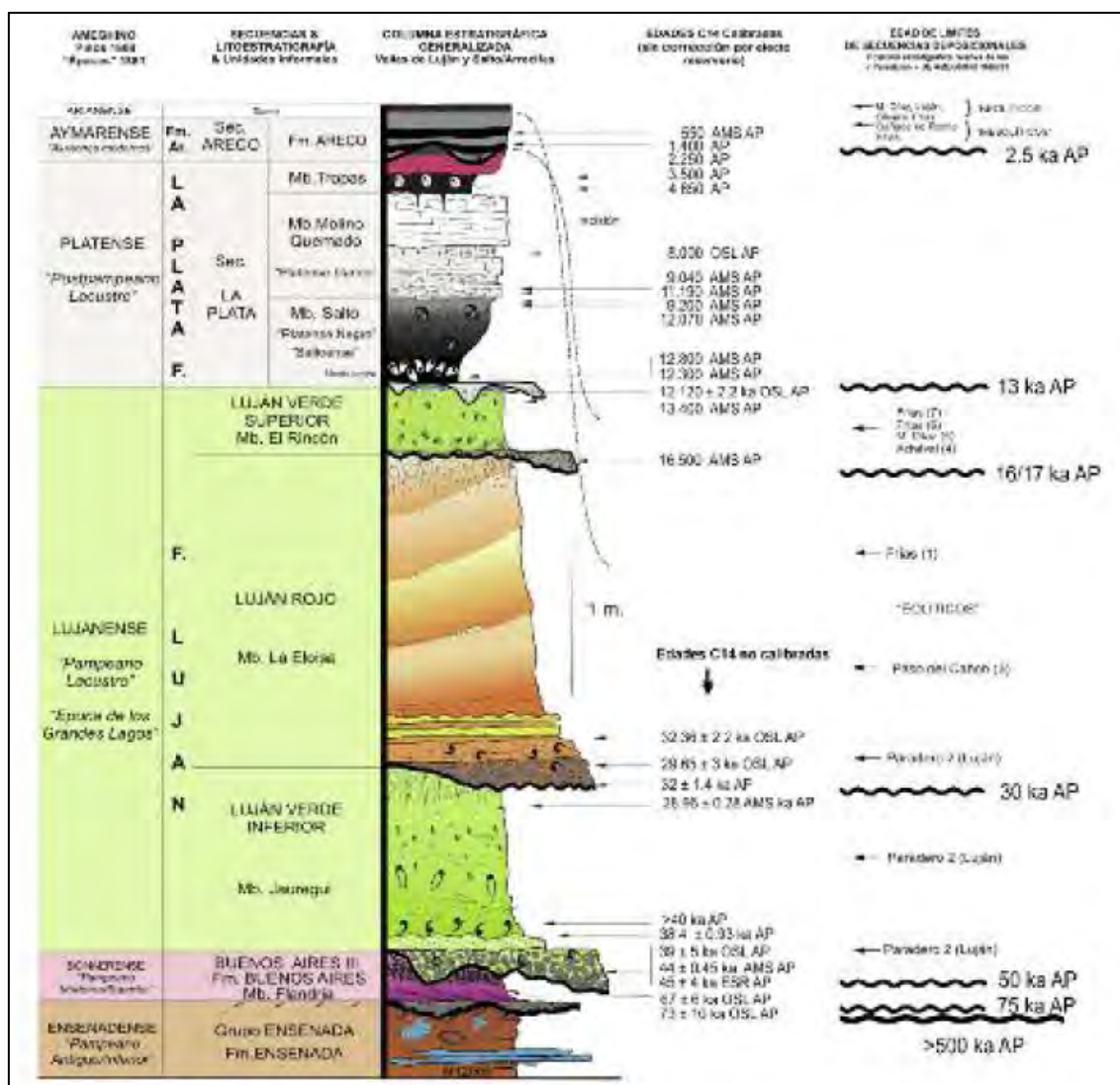


Figura 3: Columna estratigráfica tipo propuesta para el relleno de valles pampeanos (Toledo, 2011).

### 3.2 Estratigrafía

A continuación se describen las unidades geológicas del área de estudio.

#### **Basamento cristalino:** Precámbrico, Paleoproterozoico.

El complejo ígneo metamórfico que conforma el basamento cristalino de la región, está constituido por rocas graníticas y metamórficas de grado intermedio (mica

esquistos) y fue datado en afloramientos en las Sierras de Tandil en 2100 Ma (Dalla Salda, 1999).

Se comporta como la base de la cuenca sedimentaria y es la unidad más antigua reconocida en la región. Este basamento aflora a pocos kilómetros en la Isla Martín García en el Río de la Plata y en la República Oriental del Uruguay. Se profundiza hacia el río Salado en la provincia de Buenos Aires y vuelve a aflorar formando el Sistema Serrano de Tandilia (Dalla Salda, 1999).

Este complejo se encuentra afectado por fallas normales que limitan bloques escalonados. Comienza en el borde suroccidental de Escudo Brasileño, se extiende por Uruguay, el Río de la Plata, donde aflora en la isla Martín García y se hunde hacia el río Salado en la provincia de Buenos Aires a aproximadamente 6 km (Yrigoyen, 1993). Vuelve a aflorar hacia el sur, en las sierras de Tandil.

***Formación Chaco: Oligoceno a Mioceno Inferior.***

Según Marengo (2015), la Formación Chaco está integrada por sedimentos continentales del Neógeno, entre los que se intercalan niveles marinos de las transgresiones Laguna Paiva y Paraná, lo que permite separar a esta unidad en tres miembros, excepto en el centro y oeste de Chaco y el oeste de Formosa, donde la sedimentación continental es continua, por lo que es una sola formación. El Miembro Palermo, depositado por debajo de la Formación Laguna Paiva, está compuesto por areniscas limo arcillosas, limolitas y areniscas conglomerádicas castañas, castaño rojizas a blanquecinas, con carbonato y yeso. En la mitad inferior, son comunes las trizas vítreas. El Miembro San Francisco, depositado entre las Formaciones Laguna Paiva y Paraná es similar al anterior, aunque tiene mayor contenido de sedimentos finos, principalmente arcilitas y fangolitas de color rojizo, con abundante yeso y concreciones calcáreas. Por último, el Miembro Pozo del Tigre, solo se encuentra en algunos sitios de las provincias de Chaco y Formosa (Tófaló *et al.*, 2017).



Esta Formación se considera correlacionable con la formación Olivos, también conocida informalmente como “Mioceno Rojo”, y considerada como la unidad sedimentaria más antigua que se asienta sobre el basamento cristalino por Groeber (1945). Aunque su definición no se ajusta a las normas del Comité Argentino de Estratigrafía (1992).

Tófalo et al. (2017), estudiando el material extraído de una perforación en San Isidro, en el noreste de la provincia de Buenos Aires, reconocen un tramo concordante con la litología de los Miembros Palermo y San Francisco de Marengo (2015).

***Formación Paraná: Mioceno medio a superior.***

También conocida informalmente como “Arcillas Verdes o Azules” (Santa Cruz, 1972), se encuentra entre dos discordancias, en su contacto basal con la Formación Chaco y en contacto erosivo con la Formación Puelches que la suprayace. Es una secuencia predominantemente arcillosa (70%) con intercalaciones arenosas, de tonalidades fuertemente verdosas en las secciones arcillosas y blanquecinas a grisáceas en las arenosas (Aceñolaza, 2007). Fucks (2005) señala que la secuencia sedimentaria es granodecreciente, diferenciando una sección inferior arenosa, que se vuelve regularmente gravosa hacia la base, y una sección superior arcillosa, de color predominantemente verdoso a gris verdoso, oscuro y compacto con abundante contenido fosilífero.

Aceñolaza (2007) describe un perfil en el área tipo en la ciudad de Paraná, Entre Ríos, donde la unidad alcanza unos 100 m de potencia. En la base se disponen arcillas pardas y pardo-rojizas que hacia arriba pasan a arcillas verdes plásticas, luego dos bancos de arenas finas blanquecinas de 8 a 10 m, cada uno recubierto por arcillas verdes. Hacia arriba sigue arena arcillosa gris verdosa que es cubierta por un banco de carbonatos y carbonatos organógenos de hasta 6 m de espesor. Más al sur, en El Cerro, entre las capas de arenas arcillosas se intercalan niveles fosilíferos con moluscos

y equinodermos, culminando la secuencia con un banco de caliza gris blanquecina con abundantes restos y trazas fósiles (Aceñolaza y Aceñolaza, 2000).

La Formación Paraná es una secuencia de origen marino, depositada durante un evento transgresivo que comenzó a fines del Oligoceno, cuando se produjo un gran avance del mar que transgredió profundamente durante el Mioceno inferior. La ingresión del Mar Paraneano ocupó un sector importante de la Argentina y la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, dado que solo quedaron emergentes los 2 ámbitos serranos (Tandilia y Ventania) junto con la zona interserrana que los ensambla (Yrigoyen, 1992).

***Formación Puelches: Plioceno Superior a Pleistoceno Inferior.***

Fue denominada originalmente como Piso Puelches (Doering, 1882) y Arenas Puelches (Frenguelli, 1950). Se asienta en discordancia erosiva sobre la Formación Paraná y subyace a los Sedimentos Pampeanos o a los Postpampeanos, en las zonas donde los primeros han sido erosionados o no se depositaron.

La distribución de la Formación Puelches esta confinada principalmente a las provincias del denominado litoral fluvial argentino. El límite aproximado abarcaría desde la bahía de Samborombón hacia el oeste de la provincia de Buenos Aires, a la altura de Las Flores, luego al noroeste entrando en el sur de la provincia de Santa Fe (Santa Cruz, 1972; Auge y Hernández, 1983). Sigue hacia el norte hasta alcanzar el Chaco. Se correlacionaría en el subsuelo de las provincias de Entre Ríos y Corrientes (Formación Ituzaingó) y sector oriental de la provincia de Córdoba (aproximadamente hasta el sur de la laguna de Mar Chiquita).

Su estudio es de gran importancia, ya que alberga al acuífero del mismo nombre, de aguas aptas para casi todos los usos, por lo cual es uno de los más explotados del país.

Las sedimentitas de esta formación están representadas esencialmente por psamitas, aunque se suelen encontrar intercalaciones de psefitas y/o pelitas. La profundidad de la Formación Puelches varía entre 15 y 120 m en la región noroeste de Buenos Aires (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). Santa Cruz (1993) en la cuenca inferior del río Luján (localidad de Campana), advierte la falta de la Formación Paraná en el registro del subsuelo, apoyándose la Formación Puelches directamente sobre las arcillas de la Formación Chaco. Según los datos registrados (Santa Cruz, 1972), en el noreste de Buenos Aires el espesor de la Formación Puelches (salvo en la localidad de Monte Veloz con un espesor de 75 m), varía entre un mínimo de 13.70 m y un máximo de 40 m, siendo su espesor promedio de 26 m. La profundidad con que se encuentra con respecto al nivel del mar, varía entre los -12 m y -41 m.

Las psamitas son en general de grano mediano a fino, con escasa matriz pelítica. En general se compone de granos de cuarzo en alrededor del 90% del total de los minerales (Santa Cruz, 1972). El material pelítico, se presenta ya sea como matriz de las psamitas (especialmente hacia el techo) o como delgadas intercalaciones, de aproximadamente 0.50 m de espesor, con tonalidades amarillentas (similares a las de las psamitas) hasta rojizas. En general, son limolitas más o menos arcillosas, que contienen variables cantidades de materiales arenosos dispersos entre los cuales se encuentran aglutinados pelíticos.

Los depósitos de la Formación Puelches corresponden a un sistema de canales fluviales, ubicados algunos a diferentes niveles dentro de la unidad y con un rumbo aproximado de N-S y NNE-SSW. Hay zonas que presentan menor tamaño de arena y que marcarían sectores de energía más baja que la que caracterizaba a los canales principales, que son interpretados como de planicie de inundación (Santa Cruz, 1972). Fucks (2005) señala que sobre las planicies generadas por el retiro del mar Paraniense se desarrolló un río entrelazado con barras arenosas transversales y pendiente similar al actual río Paraná, denominado río proto-Paraná, sistema del cual provendrían estos sedimentos.

Por su contenido fosilífero (mamíferos, peces, restos de árboles) se le asigna a esta formación una edad entre Plioceno superior a Pleistoceno inferior.

### ***Sedimentos Pampeanos: Cuaternario.***

El termino informal “Sedimento Pampeano” comprende a las formaciones sedimentarias que, en la cuenca del Plata y otras partes vecinas de la Pampa, se apoyan sobre las arenas cuarzosas de la formación Puelches. Llamado Formación Pampeano por González Bonorino (1965) y Formación Pampiano por Fidalgo *et al.* (1973). El término Sedimentos Pampeanos se ha usado en sentido litoestratigráfico, cronológico o ambos (Fidalgo *et al.*, 1975). En el sector noreste de la provincia se ha subdividido en Formación Ensenada y Formación Buenos Aires, según proponen Riggi *et al.* (1986).

En la zona se observa un espesor general de 40 metros que disminuye hacia las barrancas y los ríos (Fucks y Deschamps, 2008). Están constituidos por limos arcillosos a arcillo limosos de color castaño a castaño oscuro. Estos depósitos se caracterizan por la presencia de carbonato de calcio como calcretes, que pueden tener un espesor de decenas de centímetros a varios metros. También suelen encontrarse intercalaciones lenticulares de rodados de calcretes de menos de 2 cm de diámetro (Fidalgo *et al.*, 1975).

Doering (1907) señaló por primera vez la importancia del vidrio volcánico como constituyente del loess de la provincia de Córdoba. Wright y Fenner (1912), realizaron el primer estudio petrográfico del loess de diversos lugares de la Pampa confirmando y ampliando las conclusiones de Doering (1907) acerca de la importancia del componente eruptivo en su composición haciendo notar la escasez del cuarzo, así como la abundancia de arcillas, en comparación con el loess alemán y Teruggi *et al.* (1957) fueron quienes efectuaron el primer análisis mineralógico completo de un perfil de la Formación Pampeana en las Barrancas de los Lobos.

### *Formación Ensenada: Pleistoceno medio.*

Descrito como Pampeano inferior por Ameghino (1881), Piso Ensenadense por Ameghino (1889) y Frenguelli (1950) y como Formación Ensenada por Riggi *et al.* (1986).

En general, esta formación se encuentra constituida por limos arcillo arenosos y arcillas limo arenosas, de color castaño claro a moderado, con algunas intercalaciones de capas lenticulares de color gris verdoso (Frenguelli, 1950). Todos sus niveles presentan calcretes nodulares, concreciones calcáreas que se ha formado alrededor de raíces vegetales. En su sector basal suele ser compacto con una rica fauna de mamíferos y un espesor de 8 a 10 m en la Cuenca del río Luján. Se trata de un sedimento de tipo loésico, muy poco estratificado y de textura uniforme (Silva Busso, 2010). Puede incluir en zonas costeras una capa marina margosa, de color verdoso, de uno a dos metros de espesor, rica en restos de conchas marinas mal conservadas y relacionada a la ingresión Interensenadense (González Bonorino, 1965). La sección superior está constituida por un limo de color castaño rojizo, en estratificación bien perceptible, por lo general más compacto y con gran cantidad de calcretes (Silva Busso, 2010).

En general, en la Formación Ensenada, la fracción limo es mayor que la de arena y arcilla. En fracciones arena y limo grueso se mantienen constantes las proporciones de plagioclasa, ortoclasa, cuarzo y fragmentos volcánicos, mientras que el vidrio volcánico es variable. En las fracciones de sedimentos más finos disminuye la proporción de otros componentes cuando aumenta la de vidrio y montmorillonita (Terrugi *et al.* 1957).

Contiene un importante registro paleontológico, desde moluscos de agua dulce hasta mamíferos extintos (Frenguelli, 1950). La desaparición de *Mesotherium cristatum* (*Typotherium* para los autores clásicos) marca el techo de la Formación Ensenada, coincidente con el fin de la biozona piso edad Ensenadense (Cione y Tonni, 2005 y Soibelzon *et al.*, 2008). Según Toledo (2011) esto confirmaría la hipótesis de la

independencia paleoambiental y paleogeomorfológica entre la Formación Ensenada y los depósitos suprayacentes.

Toledo (2011) propone una edad mayor a la asignada hasta ese momento a la Formación Ensenada, la asigna al Pleistoceno medio, en base a dataciones y estudios paleogeomorfológicos y neotectónicos, considera que se trató de un período erosivo y de no depositación, entre 300 ka y 600 ka AP.

#### *Formación Belgrano: Pleistoceno Superior.*

También llamado Piso belgranense por Ameghino (1889) o ingresión belgranense, se correlaciona con la Formación Pascua (Fidalgo *et al.*, 1973) y la Formación Pilar (Fucks y De Francesco, 2003). Sus límites secuenciales, cronología, tipo y distribución de facies en el noreste pampeano son poco conocidos (Toledo, 2011).

Cerca de la Ciudad de Pilar Fucks (2005) describe una secuencia granocreciente de 12 m de espesor. La sección basal se compone de secuencias arcillosas masivas, de color gris verdoso oscuro que cambian lateralmente a secuencias arenosas estratificadas de tonos amarillentos a castaños amarillentos claros. La sección superior es limosa fina de color amarillo claro, masivo y pasa en forma transicional a arenas medianas, de color amarillo claro a grisáceo, con intercalaciones de arenas gruesas de color rojo a amarillo fuerte.

Estos depósitos representan una transgresión marina que ingresó al continente a través de los principales ríos y presenta diferentes especies de moluscos.

#### *Formación Buenos Aires: Pleistoceno Superior.*

También conocido como Pampeano superior (Ameghino, 1880) y Piso Bonaerense (Ameghino, 1889 y Frenguelli, 1950).

Su espesor es variable ya que está cortado por arriba por la superficie más o menos erosionada de la terraza alta, 6 a 12 metros en la Cuenca del río Luján (Silva Busso, 2010).

Sobre la Formación Ensenada se encuentran los limos y conglomerados de residuo de canal de la Secuencia Luján Verde Inferior, base de todos los sedimentos conocidos tradicionalmente como “Lujanenses” (Ameghino, 1889 y Toledo, 2005).

La Formación Buenos Aires se caracteriza por sus depósitos rojizos loessoides y representa los típicos limos pampeanos caracterizados por estructuración en poliedros, moderada a baja consolidación y calcretes en formas ramificadas o de pequeños nódulos (Toledo, 2011). En general se observa un color castaño más oscuro que el de la Formación Ensenada (Fucks, 2005), contiene menor proporción de carbonato de calcio, mayor proporción de arena y se encuentra menos compacta y coherente (Ameghino 1889).

Sobre la discordancia post-ensenadense se encuentran conglomerados de calcretes masivos con matriz de limos arenosos rojizos de residuo de canal de 20 a 30 cm, que son solo visibles por debajo del nivel normal de agua del río. Sobre estos se encuentran limos arenosos rojizos con estratificación entrecruzada cruda planar de 40 a 60 cm que gradan a limos masivos intercalados con limos arcillosos grises a verdosos y horizontes Bt de bloques pequeños (Toledo, 2011).

A diferencia de la Formación Ensenada, la fase de sedimentación inicial de la Formación Buenos Aires se correspondería con un período breve de clima húmedo, que dio lugar a limos pantanosos esporádicos y en cauces pequeños. Continuó a este período uno muy árido y erosivo, por lo cual en muchos casos esta capa fue erosionada y lo que se encuentra es una capa espesa de loess eólico que cubrió tanto depresiones (cuencas y cauces) como zonas elevadas (Frenguelli, 1950).

Los restos fósiles en la formación son escasos, esto se relaciona con el ambiente árido imperante durante su depositación, de todos modos se encuentran huesos

descalcificados que denotan una fauna similar a la de la Formación Ensenada (Frenguelli, 1950).

En sedimentos de la Formación Buenos Aires, Riggi et al. (1986) realizan dataciones radiocarbónicas que dan por resultado una edad menor a los 16 ka AP. Más recientemente Blasi et al. (2009) realizan dos dataciones ISRL dando como resultado edades de  $50.4 \pm 10.2$  y  $56.4 \pm 6.5$  ka AP. Por otro lado, Toledo (2011), considera edades OSL de  $73 \pm 10$  y  $67 \pm 6$  ka AP.

### ***Sedimentos Post-pampeanos: Pleistoceno Superior a Holoceno.***

Ameghino (1889) define el Postpampeano y lo divide en Lujanense y Platense. Fidalgo et al. (1973) lo estudian en el área de Samborombón, describiéndolas en conjunto como Formación Luján, y separándolas en Miembro Guerrero y Miembro río Salado. Dillon y Rabassa (1985) describen un depósito en la base del Miembro Guerrero al que denominan Miembro La Chumbiada, en el paraje del mismo nombre en el río Salado. Otros autores retoman estos nombres aunque en ocasiones con discrepancias en cuestiones estratigráficas. Toledo (2011) pone de manifiesto el problema evidente de una nomenclatura estratigráfica confusa, realiza numerosas dataciones, particularmente en los sitios originalmente estudiados por Ameghino y redefine como Formación Luján y Formación La Plata que corresponden a los pisos propuestos por Ameghino (1889). Además propone tres secuencias a las que denomina Luján Verde Inferior (LVi), Luján Rojo (LR) y Luján Verde Superior (LVs), que conforman la Formación Luján (Toledo, 2005, 2011).

El Postpampeano se encuentra en zonas como la desembocadura del valle del río Luján y otros ríos de la región, se apoya sobre una superficie de erosión que alcanzaría en algunas zonas hasta la Formación Ensenada y en otras puede apoyarse directamente sobre la Formación Puelches. Ya Ameghino (1889) habla de un hiatus “Postbonaerense” y lo atribuye a un período de levantamiento de la Pampa. Según Violante et al. (1992), la secuencia deposicional del Holoceno constituye un paquete



sedimentario de gran extensión regional que forma una unidad estratigráfica con características propias, y que fue originada por el efecto del último evento glacieustático. El desarrollo de este evento estuvo influenciado por la variación del nivel del mar, la morfología del sustrato y los aportes sedimentarios.

#### *Formación Luján: Pleistoceno Superior.*

Ameghino (1880) describe una secuencia que se apoya sobre el relieve labrado en el loess bonaerense en clara discordancia erosiva. Comienza con un conglomerado basal con clastos de calcretes levemente rodados de hasta 8 o 10 cm de diámetro, visible por debajo del nivel de agua del río. Es de carácter residual y muy discontinuo. Presenta granulometría no mayor a arena fina, exceptuando intraclastos pelíticos o concreciones calcáreas del sustrato pampeano (Toledo, 2005). Esta secuencia ha sido objeto de malinterpretaciones, habiéndosele atribuido edades pre-bonaerenses o bonaerenses (Toledo, 2011).

Según Fidalgo *et al.* (1975) los depósitos lujanenses están constituidos por limos, a menudo arcillosos, de color verde y gris, con bancos de limos pardos y amarillentos. En los cauces profundos como el del río Luján, comienzan con capas psamíticas y psefíticas (principalmente clastos de calcretes), que hacia los niveles superiores pasan a sedimentos más finos y homogéneos, y que en algunos casos presentan un nivel cuspidal de suelo negro de estepa, asociado comúnmente a sedimentos sapropélicos y limos amarillentos. El carbonato de calcio aparece, en general, bajo la forma de tosquillas ramificadas o impregnaciones y llega a constituir bancos de potencia variable. La estratificación es irregular y por lo general poco marcada, variando el espesor de la unidad de centímetros a 5 o 6 metros.

Estas secuencias se depositaron en un ambiente fluvial con facies de desborde y lacustres. En base al cambio en la coloración de los sedimentos pardo rojizos de la Formación Buenos Aires que pasan a los grises y grises verdosos de la Formación Luján, Frenguelli (1950) interpreta un cambio climático.



La secuencia Luján Verde Inferior (50ka AP-30ka AP) constituye el primer relleno del paleorelieve generado durante el hiatus post-bonaerense. Comienza con un conglomerado basal de calcretes rodados, moluscos y restos óseos rodados y quebrados, continúa con limos verdosos masivos, margosos y lentes de arena fina, gravillas de barras fluviales y depósitos finos de planicie de inundación. Termina con un nivel edafizado. Se la relaciona con un período más húmedo y menos frío que los anteriores (Toledo, 2011).

La secuencia Luján Rojo (30ka AP-17ka AP) comienza con una discordancia erosiva que la separa de la secuencia LVi y marca el inicio del último máximo glacial. Comienza con un conglomerado basal con matriz de limos y arenas finas limosas verdes a rojizas de 15 cm de espesor que contiene restos fósiles con fractura concoide. Por encima se encuentra un depósito limo arenoso y arenas finas rojizas interpretadas como barras limosas de relleno de canal cuyo espesor va de 3 a 4 m, en el interfluvio depósitos mantiformes de loess. Esta secuencia se habría depositado bajo condiciones frías y áridas. Tiene similitud con los depósitos pampeanos, por lo cual ha sido producto también de malinterpretaciones (Toledo, 2011).

Por último, la secuencia Luján Verde Superior (16ka AP-13ka AP) presenta en su base gravas con arena y calcretes rodados, como residuos de canal. Gradan a arenas y limos arcillosos verde oliva, fluviopalustres. En toda la secuencia se presentan manchas de óxidos y concreciones de hierro amarillas castañas (Toledo, 2011). Corresponde al Miembro Guerrero de la Formación Luján de Fidalgo (1973).

#### *Formación La Plata: Holoceno.*

Siguiendo la propuesta de Toledo (2011), se agrupan aquí los depósitos correspondientes al Piso Platense de Ameghino (1889) o Miembro Río Salado de la Formación Luján según Fidalgo *et al.* (1973) y los depósitos Querandinenses y se habría depositado entre 13ka AP y 3/2.5ka AP.

Luego de una caída del nivel de base y erosión del techo de la secuencia Luján Verde Inferior y edafización, se produce un ascenso del nivel de base en clima húmedo, con depósitos de facies palustres, edafización hidromórfica, transgresión lacustre y sedimentación lacustre (13-10ka AP). En el techo hay niveles ricos en materia orgánica, “mantos negros” (9-10ka AP). Toledo (2011), propone el aumento abrupto de humedad anual media como una de las causas de la extinción de megamamíferos. Corresponde al Miembro Río Salado de Fidalgo *et al.* (1973).

En el centro del valle se depositaron pelitas negras con alto contenido orgánico (incluida en los mantos negros), lo que refleja un clima húmedo, con formación de humedales.

Se superponen margas blanquecinas y diatomitas que indican condiciones más cálidas y secas, y sobre estas suelos hidromórficos, finalmente limos rojizos eólicos edafizados (Formación La Postrera II de Fidalgo, 1991).

En los tramos inferiores de los valles, se han depositado pelitas de estuario del Holoceno medio (Querandinense).

Según Toledo (2011) la denominación de “mantos negros” reúne a los niveles de geosuelos o paleosuelos del límite Pleistoceno-Holoceno pampeano que se depositaron en valles, bajo condiciones de mayor humedad media anual y niveles freáticos altos, como respuesta a un evento de aumento abrupto de la humedad media anual como una de las causas principales de las extinciones de mamíferos. Esta red denominación es realizada por Toledo (2008) para intentar poner fin a las malas interpretaciones y usos dados a la unidad que Fidalgo *et al.* (1973) llaman “Suelo Puesto Callejón Viejo” en cercanías del río Salado.

Las margas blanquecinas y diatomitas friables representan un pasaje a un clima más cálido y seco con precipitación carbonática (Prieto *et al.* 2004). Mientras que los limos eólicos finales se atribuyen a mantos eólicos distales y evidencian un evento seco, probablemente neoglacial (Toledo, 2011). Esta última capa de limos eólicos es

descrita como Cordobense por Frenguelli (1920) y se correlaciona con la Formación La Postrera II (Fidalgo *et al.*, 1991).

Toledo (2011) define tres miembros para subdividirla. El Miembro Salto correspondiendo al Platense negro, el Miembro Molino Quemado, son las Margas platenses o Platense blanco, y el Miembro Las Tropas.

#### *Formación Areco: Holoceno.*

Se trata del llamado Aymareense o Piso Aimará por Ameghino (1889), también se lo denomina como aluviones modernos o recientes. Frenguelli (1957) lo separa en dos niveles, uno inferior, más oscuro o Aimareense y uno superior y castaño o Arianense.

Toledo (2011) propone denominarlos litoestratigráficamente como Formación Areco, con estratotipo en el área de Puente Castex en el río Areco (de allí su nombre).

Corresponden sedimentos históricos y actuales, por encima se encuentran limos de inundación modernos con geometría marcadamente lenticular y base erosiva o una delgada capa de suelo. Cuando estas características no pueden ser bien distinguidas suelen ser confundidos con depósitos platenses (Toledo, 2011).

Según dataciones se le asigna edades de entre 3/2.5 ka y el presente (Toledo, 2011).

### 3.3 Estructura y Tectónica

Groeber (1945) postuló la subdivisión del sector norte de la provincia de Buenos Aires en 4 bloques tectónicos principales, separados entre sí por fallas y dispuestos en forma escalonada.

Frenguelli (1950) observa lineaciones predominantemente NO-SE en la morfología de la provincia de Buenos Aires, evidenciadas en las serranías (Ventana y Tandil) y ríos más importantes (Paraná, Salado y Colorado). También observa orientaciones que cruzan las anteriores, en sentido SO-NE. Las orientaciones predominantes se relacionan con un sistema de fallas escalonadas con bloques elevados y otros hundidos, generando las variaciones en el relieve.

Yrigoyen (1975) reconoce en el ángulo NE de la provincia de Buenos Aires un elemento positivo conocido como "Umbral de Martín García", que se halla relacionado al borde uruguayo y separado del mismo por fallas transcurrentes que se evidencian en los tramos inferiores de los ríos Paraná y Uruguay. Los ríos Luján y Matanza-Riachuelo correrían sobre fallas transversales asociadas.

La provincia de Buenos Aires aparece entonces como una región de importantes hundimientos (Russo *et al.*, 1979) en la cual la formación de cuencas responde a una tectónica de basamento con paulatino desmembramiento de bloques.

Urien y Zambrano (1996) presentan los principales elementos estructurales de la región que engloba la zona de estudio del presente trabajo. Las orientaciones predominantes NO-SE estarían controladas por estructuras del Precámbrico y Paleozoico superior. Proponen la existencia del Alto de Martín García como estructura principal, con orientación SE, extendiéndose desde el centro del país hacia el margen atlántico coincidiendo con el eje del Río de la Plata.

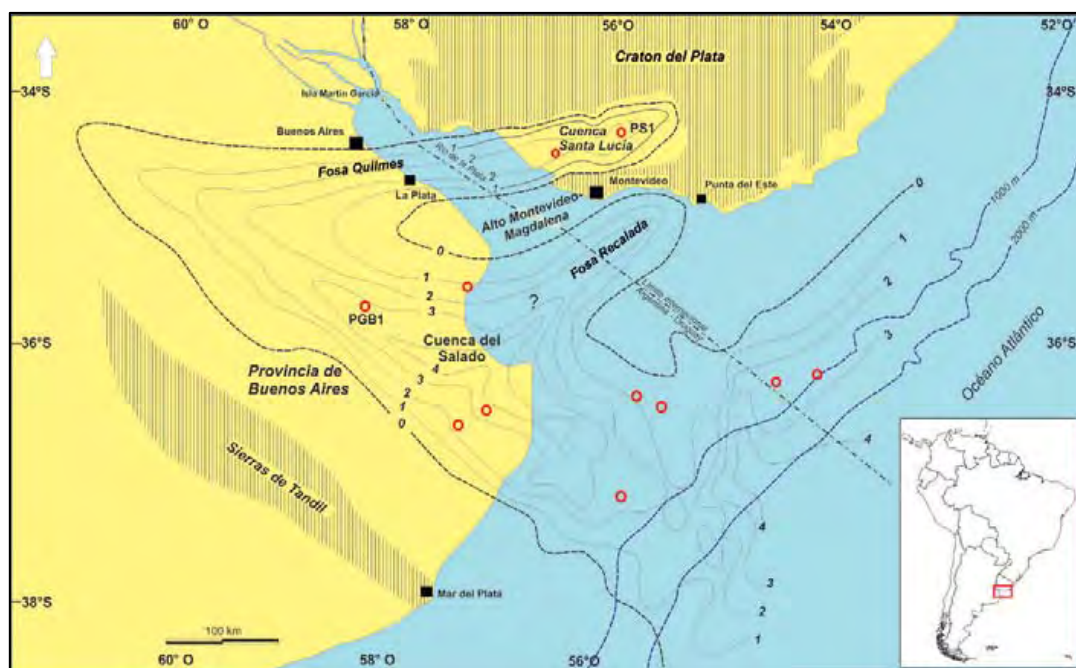


Figura 5: Localización de las fosas de Quilmes y Recalada y sus relaciones con las cuencas del Salado y Santa Lucía. Mapa isopáquico esquemático de los registros sedimentarios meso-cenozoicos (Rossello et al., 2017).

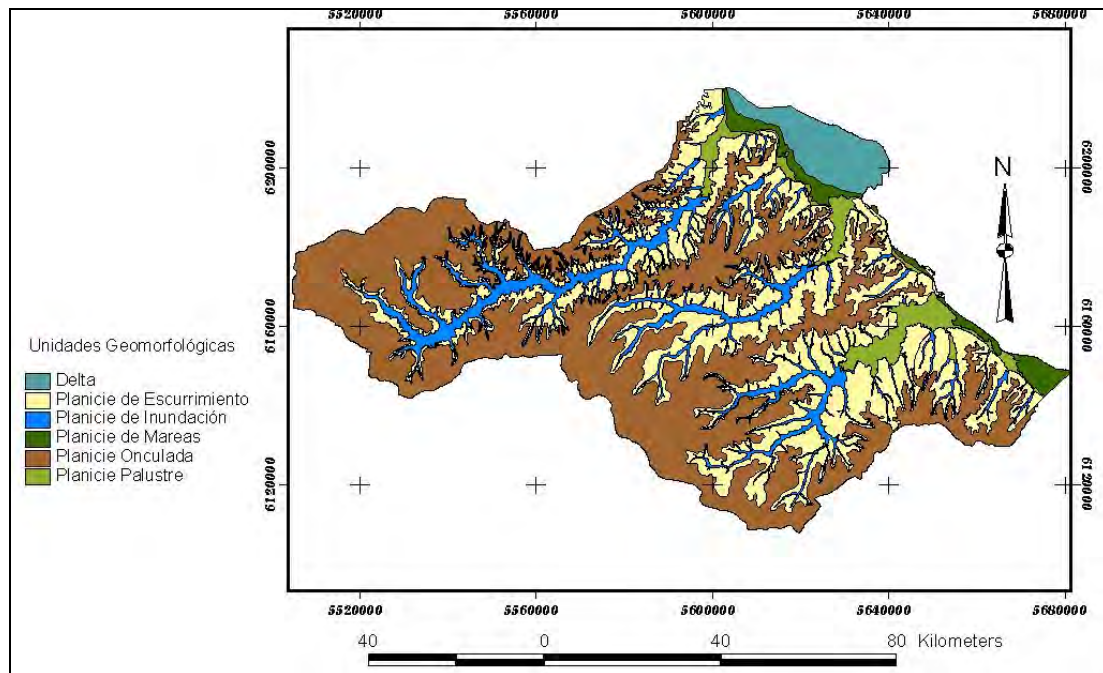
Rossello et al. (2011), pone de manifiesto la pérdida de vigencia de la hipótesis de la presencia de un límite estructural de naturaleza tectónica de primer orden, haciendo referencia al Umbral o Alto de Martín García como tal. Integrando e interpretando datos e información geofísica y geológica del basamento del Río de la Plata a partir de la correlación crono-litoestratigráfica entre las cuencas Santa Lucía (Uruguay) y del Salado (Argentina), logran identificar evidencias de rellenos meso-cenozoicos sobre el litoral septentrional de la provincia de Buenos Aires denominada Fosa de Quilmes, que fueron considerados como la continuación de la cuenca Santa Lucía en el territorio argentino. Más recientemente, Rossello et al. (2017), definen un nuevo depocentro mesozoico cuyo eje mayor se dispone con orientación NE, paralelo a la Fosa de Quilmes y sobre el basamento cristalino del Río de la Plata, al que denomina Fosa Recalada. Ambos depocentros quedan limitados por un alto del basamento dispuesto con la misma orientación regional aproximadamente entre las localidades de Magdalena y Montevideo (Figura 5).

### 3.4 Geomorfología

Diversos autores han abordado el estudio de la geomorfología del NO bonaerense en la Cuenca del río Luján. Herrera (1993), distingue tres grandes áreas de acuerdo a la morfología general, la primera es la denominada "Terraza Alta" (Frenguelli, 1950), los terrenos que se extienden por sobre la cota de 5 m, la segunda es la que forma una faja que bordea al Río de la Plata por debajo de la cota de 5 m, o "Terraza Baja" (Yrigoyen, 1993), y la tercera es la zona del Delta. Las dos primeras unidades deben su génesis especialmente a las ingresiones y regresiones marinas holocenas. Los ascensos y descensos del nivel del mar han generado las importantes geoformas que hoy pueden apreciarse y que tienen influencia en los ambientes fluviales actuales. Se destaca especialmente una barranca que marca el límite entre las dos primeras unidades mencionadas. Estas barrancas se hallan recortadas por profundas penetraciones tierra adentro que van conformando las márgenes de los cursos de agua principales. Las entradas mayores corresponden al río Luján y al Matanza-Riachuelo. Entre ambas existen otras escotaduras importantes correspondientes a los cauces de los arroyos Escobar, Las Tunas, y al valle del río Reconquista, sobre el límite de Capital Federal, ciudad que se encuentra recorrida por siete arroyos que han sido entubados. Todos estos arroyos tienen rumbo dominante SO-NE y sus cursos originales son meandriformes. Son ríos de escasa velocidad y cuyas desembocaduras se hallan frecuentemente cegadas por barras costaneras. Poseen muy suave declive del orden de 1:1.000; esta escasa pendiente sumada a frecuentes sudestadas que cancelan el desagüe natural de los cursos, hacen frecuentes las inundaciones provocadas por los arroyos luego de una copiosa lluvia.

Gatti (2003), en un contexto más regional, reconoce seis unidades geomorfológicas, basándose en reconocimiento de campo e interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales: Planicie Ondulada, Planicie de Esguerrimiento, Planicie Palustre, Planicie de Inundación, Planicie de Marelas y Delta (Figura 6).





*Figura 6: Mapa geomorfológico de las principales cuencas del noreste de la provincia de Buenos Aires (Gatti, 2003).*

Pereyra (2004) confecciona un mapa geomorfológico del área metropolitana bonaerense, diferenciando diversas unidades geomorfológicas, la Planicie lésbica de origen eólico, el Paleoacantilado y la Planicie poligenética del Río de la Plata (ambos de origen poligenético marino-fluvial), las Planicies y terrazas fluviales, Laderas de valles y Delta del Paraná, estas últimas de origen fluvial. A cada unidad la relaciona con los suelos más representativos y delinea sus características principales (Figura 7).

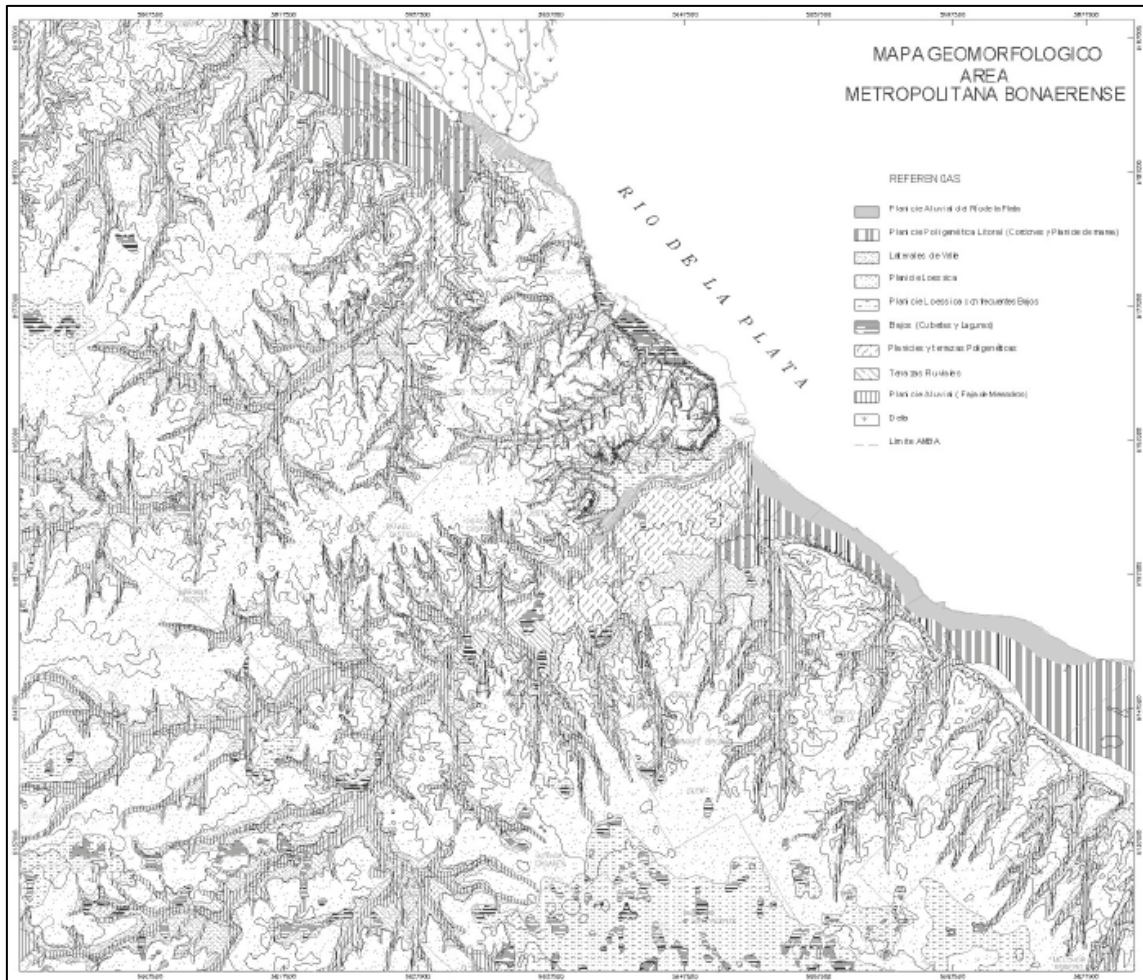


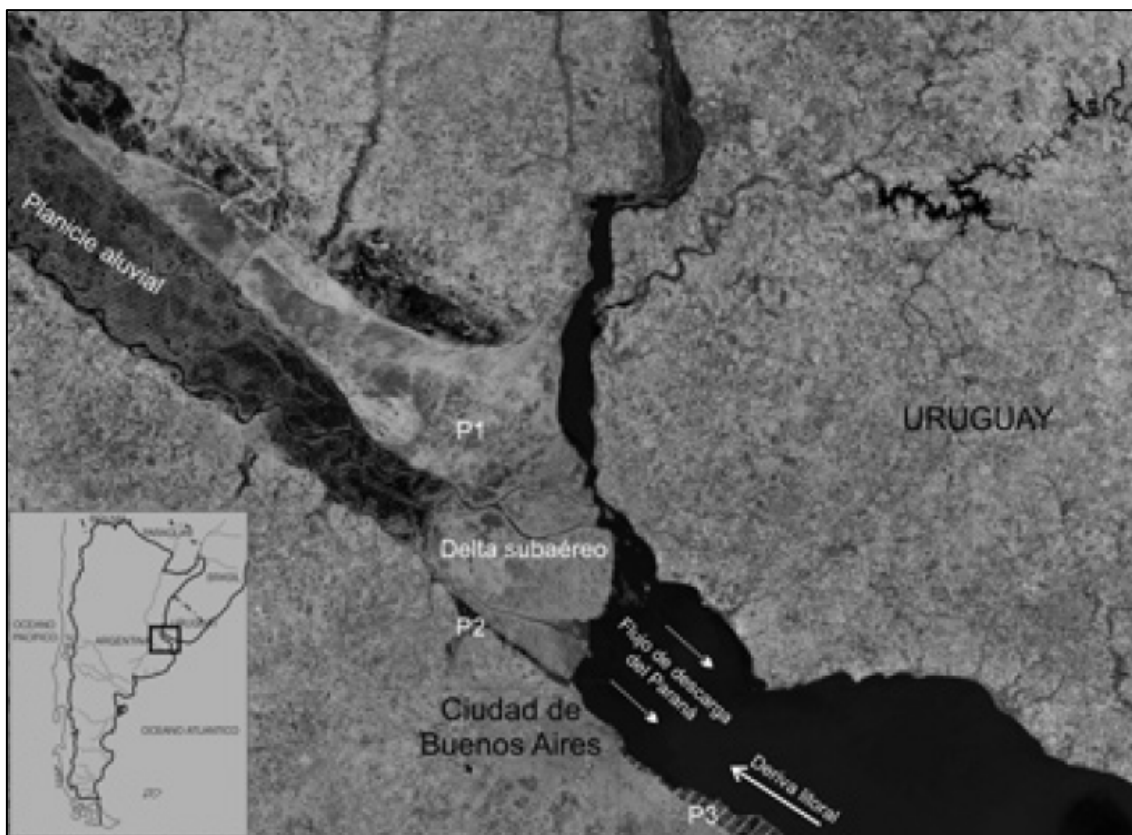
Figura 7: Mapa geomorfológico del área Metropolitana Bonaerense, según Pereyra (2004).

Fucks (2005) estudia la geomorfología de la cuenca baja del río Luján, diferenciando procesos continentales y paleoambientes litorales.

En un marco regional, dentro de la planicie costera, Marcomini y López (2011) diferencian tres unidades asociadas a distintos pulsos de progradación ocurridas en el Holoceno: la planicie de cordones al norte del delta, la que se desarrolla sobre el margen del estuario desde San Fernando hacia el noroeste (al sur del delta) y la que conforma la costa actual del estuario desde Avellaneda hacia el sur (Figura 8).

La segunda unidad es la que se encuentra incluida dentro de la cuenca baja del río Luján y se asocia a la desembocadura de este río y de aquellos que desembocan en él y que antiguamente drenaban en el estuario. Se trata de una planicie de acreción de cordones litorales que se extiende desde Otamendi hasta San Fernando en forma

discontinua y representa la antigua costa del estuario, y que se interdigita con planicies de marea y marismas (Marcomini y López, 2011).



*Figura 8: Unidades geomorfológicas del estuario del Río de La Plata y delta del Paraná: planicies de cordones litorales: al norte del delta (P1), en el margen del estuario desde San Fernando hacia el noroeste (P2) y la costa actual del estuario desde Avellaneda hacia el sur (P3) (Marcomini y López, 2011)*

Según Herrera (1993) la génesis de los paleocordones litorales adyacentes al río Luján responde a un proceso hidrodinámico de sedimentación en una costa progradante y se encuentra relacionada con la acción de las olas que se generan durante las sudestadas, y que producen corrientes tractivas, capaces de transportar materiales gruesos acumulados en la playa sumergida, a lo largo de la costa con sentido hacia al NO. Fenómeno que observara mejor en la zona de Atalaya, dentro del partido de Magdalena en la provincia de Buenos Aires.

Por último el Delta del río Paraná, se caracteriza por estar cruzado por los brazos del río homónimo y por una muy marcada falta de relieve (Groeber, 1961). La importante acreción que se produce en el Río de la Plata superior afecta no solo las

morfologías subaéreas sino también a los canales navegables y a la distribución y crecimiento de las islas. Fue estudiada por diferentes autores y tiene características distintivas y una compleja evolución asociada a las fluctuaciones del nivel del mar durante el Cuaternario (Pereyra, 2004). Cavallotto *et al.* (2002, 2005, 2008) proponen una evolución del delta del Paraná en tres etapas. Primero una etapa estuárica, con un inicio del relleno del paleovalle con un depocentro arcilloso y deltas menores. Como segunda etapa la de llanura costera, con facies de llanura de marea, cordones y médanos, provocada por una progradación costera relacionada con el descenso del nivel del mar. Y como tercer y última etapa la formación del delta actual a partir del pasaje de condiciones estuáricas a fluviales.

### 3.5 Suelos

Las características fundamentales de los suelos se deben a los factores de formación como lo son el clima, el relieve, la roca madre, la vegetación y el tiempo de desarrollo. En el área de estudio el material parental está constituido principalmente por los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos aflorantes, lo cual determina el desarrollo edafológico.

Cappannini y Mauriño (1966) estudiaron los suelos de la zona litoral estuárica comprendida entre Buenos Aires y La Plata. Presentaron informes preliminares acerca de las condiciones climáticas, geomorfología y tectónica del área; definieron la roca madre de los suelos, detallaron los perfiles de cada uno de ellos. Finalmente los clasificaron según los siguientes grupos:

- Suelos de la Terraza Alta
- Suelos del Escalón
- Suelos de la Terraza Baja
- Suelos del Delta

Los suelos de la Terraza Alta se vinculan principalmente con el loess del Bonaerense y materiales del Ensenadense subyacente. El primero tiene color pardo

claro, textura franco limosa y alta porosidad; la presencia de concreciones calcáreas se atribuye al lavado por procesos edáficos o por acción de las aguas de la capa freática. Relacionados en general con relieves altos, son suelos bien drenados con escurrimiento normal y cubierta vegetal herbácea de pastos altos. El segundo presenta una estructura maciza y abundantes concreciones cálcicas, férricas y manganésicas; debido a esto se comporta como roca madre más impermeable, dando lugar a suelos con horizontes A y B menos profundos y con menor lixiviación.

Desde el punto de vista agrícola son suelos muy buscados por la magnitud de la profundidad de los horizontes A y B, su textura y su alta porosidad; son levemente ácidos con óptima concentración de materia orgánica y sales solubles; no sufren inundaciones y la cubierta herbácea los protege de los procesos erosivos. Debido a estos factores son los suelos que han alcanzado mayor grado de madurez.

Los suelos del escalón se desarrollan normalmente sobre materiales del Ensenadense, más impermeables y consolidados que los anteriores, con drenaje lento y en partes impedido. Debido a estos factores se producen fenómenos de decapitación y anegamiento de los mismos, con un horizonte A muy desarrollado y fuertes concentraciones de arcilla y carbonato de calcio.

Los suelos de la Terraza Baja (Cappannini y Mauriño, 1966), se asocian a las Formaciones Luján y La Plata. Los dos primeros poseen sedimentos muy ricos en sales, no obstante, los depósitos asociados a la ingresión “Querandina” son más ricos que los lujanenses, constituyendo por sí mismos un ambiente geoedafológico definido.

Los sedimentos platenses se presentan en forma de limos pantanosos, ricos en materia orgánica y moluscos, y en forma de cordones conchiles desarrollados mientras ocurría el retroceso de las aguas marinas y estuáricas durante la última ingresión Pleistocena - Holocena.

En general son suelos más jóvenes y menos evolucionados, desarrollados sobre depósitos más recientes. Se hallan sometidos a frecuentes inundaciones, fenómenos de sepultamiento o decapitación. Son principalmente hidromórficos, salvo los

asociados a los cordones conchiles, con evidentes procesos de gleyzación o con tendencia a la salinización intensa.

Cappannini y Mauriño (1966) diferencian tres tipos de suelos desarrollados en este ambiente:

- Suelos de los llanos inundados
- Suelos del llano costero
- Suelos de los cordones conchiles

Los suelos de los llanos inundados se desarrollan en los valles de ríos y arroyos en forma de prolongaciones alargadas y digitadas excavadas dentro de la Terraza Alta a cotas mayores de 5 m; el material originario es loess retransportado. Son suelos muy ricos en sales solubles (cloruros, sodio, etc.), con un pH alto (aproximadamente 9) y sufren en su evolución la influencia preponderante de las aguas. Son suelos aluviales, salino-alcálinos, intrazonales.

Los suelos del llano costero se desarrollan sobre la Terraza Baja, asociados a las arcillas marinas del querandínense, evolucionando bajo condiciones típicamente hidromórficas debido a la capa freática y a las aguas superficiales. Son suelos salinos con carencia casi absoluta de vegetación de alto porte.

Por otro lado, los suelos de los cordones conchiles se desarrollan desde el escalón hacia la planicie costera, siendo el material parental los términos marinos de la Formación La Plata, Formación Campana según Fucks (2005) o Formación Playa Honda según Parker (1990). Estos sedimentos son ricos en conchillas y arena, lo cual le brinda al suelo alta permeabilidad. Son jóvenes con escasa diferenciación de horizontes.

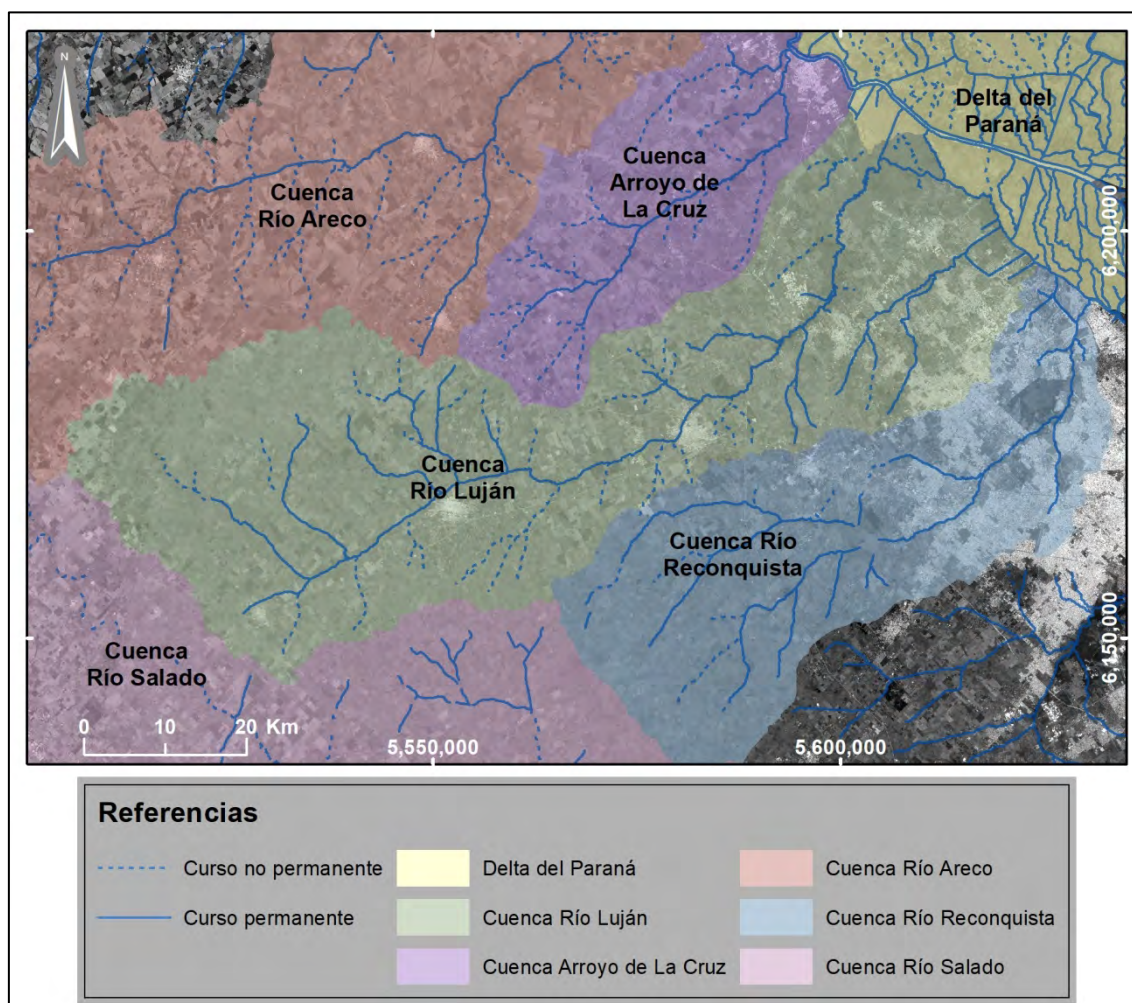
Por último, los suelos del Delta (Cappannini y Mauriño, 1966), cuyo principal material originario es el fango fluvial de color pardo amarillento que constituye el aluvión no consolidado, se encuentran dentro del área del delta actual del río Paraná, donde la acción de las mareas del Río de la Plata ejerce influencia directa sobre el ascenso y descenso de la capa freática. Los suelos aquí desarrollados sufren

anegamientos debido a inundaciones y por ascenso de la capa freática, son suelos mal drenados, profundos, incipientes, no salinos y sin alcalinidad.



## Capítulo 4 – Hidrología

La Cuenca del río Luján cuenta con una superficie total de 3400km<sup>2</sup>, recorre unos 170 km antes de verter sus aguas al Río de la Plata, la longitud total de cauces de la cuenca es de aproximadamente 1354 km. Según Silva Busso (2010) su caudal medio es de 5,37m<sup>3</sup>/seg y su pendiente media es de 0,44m/km, aproximadamente.

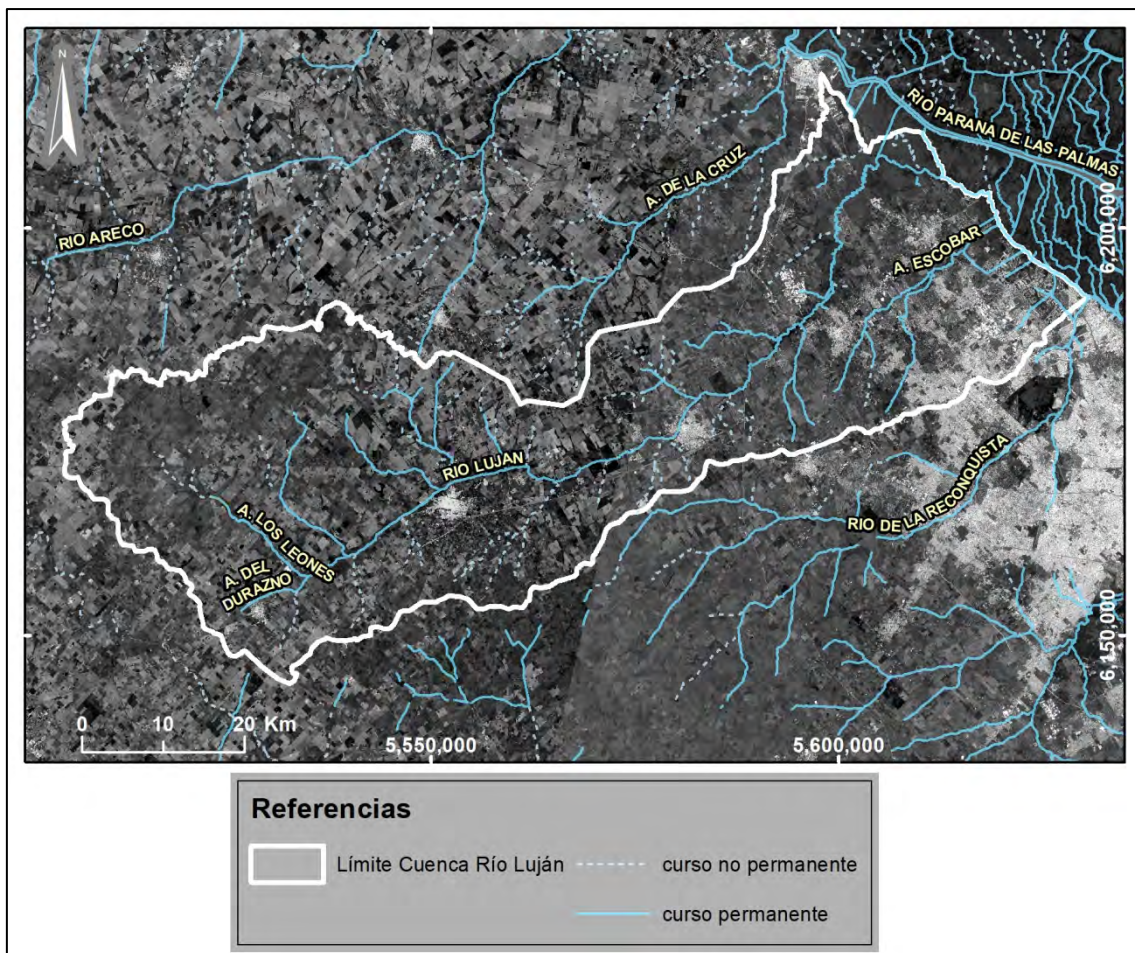


*Figura 9: Mapa de cuencas aledañas a la cuenca del río Luján (Fuente: DPOH).*

Los límites hidrográficos de la cuenca son, al Noroeste la cuenca del arroyo de la Cruz (en su porción inferior y media, compartida por los partidos de Campana y Escobar), y la cuenca del río Areco (en su porción superior). Al Sudeste la cuenca del río Reconquista y al Sur la cuenca del río Salado (Figura 9).



Nace en el partido de Suipacha por la confluencia de los arroyos Durazno y Los Leones. En el tramo de recorrido hasta la cuenca baja sigue una dirección general NE y a partir de allí, cercano al río Paraná, describe un meandro con curvatura de casi 90° que lo hace desviarse hacia el SE, volviéndose paralelo a dicho río hasta su desembocadura en el Río de la Plata. La cuenca tiene una forma subrectangular y en su zona inferior el río se ensancha, profundiza y favorece la navegabilidad (Figura 10). Su régimen es irregular, se alimenta de las aguas subterráneas, lo que representa su caudal de base, mientras que las crecientes son rápidas y pronunciadas con ocurrencia en otoño y primavera, coincidentes con los períodos de mayores precipitaciones, mientras que los estiajes se dan en invierno (Silva Busso, 2010).



*Figura 10: Mapa de cursos de agua del área de estudio.*

El río Luján, al igual que la mayoría de los ríos del NO de Buenos Aires, es autóctono de la llanura. En la zona pampeana donde se ubica la cuenca alta del río

Luján, en general, los arroyos se forman en áreas húmedas e inundables, de muy poca pendiente, lo que produce un escurrimiento lento. Inicialmente la escorrentía comienza como mantiforme y pasa gradualmente a un tipo de drenaje en surco. Estas zonas de cuerpos inundables donde nacen los arroyos pueden recibir aportes extraordinarios dados por intensas lluvias o por el afloramiento de la superficie freática, aumentando los caudales de las incipientes cañadas naturales.

En relación a estudios hidroquímicos efectuados en la zona, la empresa AySA (2010) realizó un estudio que incluyó 15 campañas de muestreo de las aguas superficiales entre los años 1999 y 2005 y entre 2008 y 2009, en las cuencas de Luján y Reconquista. Según los resultados la temperatura varía entre 8.5 y 13.4 °C durante el invierno y no más de 19 °C en primavera, el pH toma valores entre 7.5 y 9.3 y la conductividad fluctúa entre 906 y 1350 us/cm. Por otra parte los hidrocarburos totales fluctúan entre 0.5 y 7.1 mg/l. Los resultados muestran además un promedio de Oxígeno Disuelto (OD) no mayor a 4 mg/l, por debajo del nivel de peligro para la vida de los peces. Los valores de carga orgánica son altos para toda la cuenca en general, y muestran la existencia de una gran cantidad de materia orgánica no biodegradable o en su defecto presencia de agentes inhibidores del proceso de degradación biológica, se evidencian además zonas de descargas de altos contenidos de materia orgánica en la cuenca baja. Por otro lado los valores de fenoles son más altos que el nivel recomendado para aguas de consumo humano, mostrando los mayores valores en las zonas aguas arriba de la desembocadura, donde se estima se encuentran los puntos de descarga, y los valores más bajos en la zona de desembocadura del río Luján, por lo cual se evidencia la importancia de los procesos de dilución o degradación en el río. Respecto de los metales pesados, el cromo es el más abundante, llegando a tener concentraciones 18 veces mayores que el nivel recomendado para consumo humano, llegando a 920 ug/l. Se estudiaron también las concentraciones de arsénico, registrándose entre 1300 ug/l y 10 ug/l (límite inferior de detección) y de plomo, con concentraciones entre 200 y 62 ug/l.

En la cuenca del río Luján se desarrollan múltiples actividades humanas, por un lado las relacionadas con la actividad primaria, mayormente en la zona de la cuenca alta, y las vinculadas a la industria y la recreación, dentro del área metropolitana de Buenos Aires y hasta la desembocadura en el Río de La Plata. Como se mencionara anteriormente, en ella se asientan numerosos ejidos urbanos de importancia como las localidades de San Fernando, Tigre, Escobar, Pilar, Luján y Mercedes.

De acuerdo a la actividad predominante que se desarrolla en cada lugar de la cuenca, se produce la variación del nivel de contaminación que afecta al río. En el sector de la cuenca alta la actividad principal es el cultivo, por lo cual la contaminación está relacionada con el drenaje de agroquímicos provenientes de la agricultura. Sin embargo, en la localidad de Suipacha, recibe efluentes producidos por la industria láctea y frigorífica que allí se encuentra y de tipo urbano. Mientras que la localidad de Mercedes, aguas abajo, se vuelcan los desagües pluviales y cloacales de la ciudad. A esta altura ya comienza a notarse el deterioro ambiental del río.

En el sector de la cuenca media la contaminación está relacionada específicamente con la actividad industrial. En el partido de Luján desaguan efluentes urbanos y de curtiembres.

En el partido de Pilar, se produce el vuelco de efluentes industriales y urbanos, además se encuentran canteras en ambos márgenes del río y se han construido lagos artificiales que se alimentan con agua del mismo río Luján.

Ya en la zona de la cuenca baja, los tramos que circulan entre los partidos de Campana y Escobar, las actividades más explotadas son las relacionadas con el turismo, se pueden encontrar allí clubes de campo, actividades al aire libre, acuáticas, entre otras. Por supuesto, los efluentes generados por la infraestructura que estas actividades requieren son volcados directa o indirectamente al río.

Pero es el sector inferior de la cuenca el que se encuentra más afectado por el vuelco de residuos en sus afluentes, los arroyos Escobar, Garín, Claro y de las Tunas,

que atraviesan zonas urbanas en casi toda la extensión de sus recorridos y en muchos casos, además, han visto modificado su curso por la acción del hombre.

El relevamiento de algunas estaciones de muestreo indica la existencia de metales pesados en valores superiores a los permisibles: hierro y cromo (en el curso inferior), arsénico (en Mercedes), plomo (en Mercedes y en Tigre), mercurio y cadmio (en Mercedes, Luján y Tigre). En el tramo cercano a su afluencia con el Río de La Plata, el poder de dilución de éste disminuye en forma significativa los niveles de contaminación incorporados en su recorrido (Silva Busso y Santa Cruz, 2003).

Por otro lado se producen en forma periódica inundaciones que afectan las zonas aledañas al río Luján y se asocian principalmente a los eventos de sudestada que obstruyen el normal drenaje de las aguas hacia el Río de la Plata. Este fenómeno empeora los procesos de dispersión de contaminantes en el área correspondiente a la llanura de inundación. Se produce más frecuentemente durante el invierno, cuando la evapotranspiración es lenta, por lo que el agua permanece en superficie por más tiempo.

## Capítulo 5 – Hidrogeología

### 5.1 Hidroestratigrafía

El área de estudio se encuentra enmarcada en la Subregión Hidrogeológica I río Paraná (Santa Cruz y Silva Busso, 1999). La misma se extiende desde la Cuenca del río Salado al sur y sudoeste, hacia el norte hasta al menos el meridiano 33°30' o los bajos submeridionales, al este el río Paraná y al oeste hasta aproximadamente el paralelo 62°30' (Figura 11).

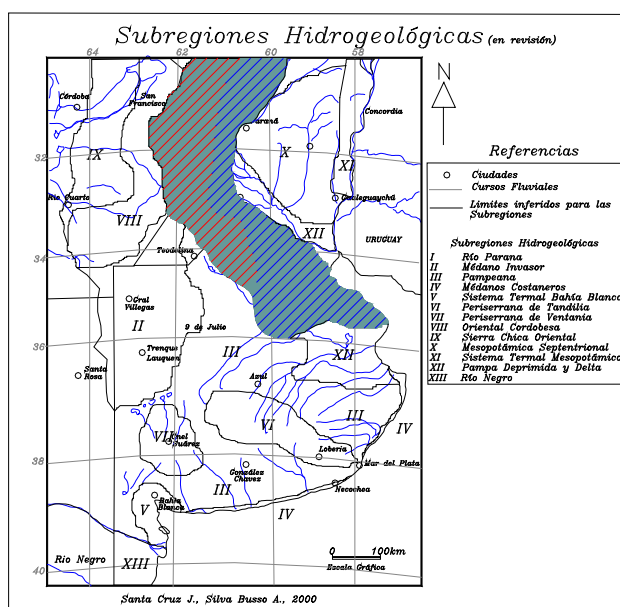


Figura 11. Área de la Subregión río Paraná (Santa Cruz y Silva Busso, 1999)

En la provincia de Buenos Aires corresponde a un área aproximada de 60.000 km<sup>2</sup>, que involucra una numerosa serie de partidos, todos ellos ubicados aproximadamente al NE de la traza de la ruta provincial 46 desde su límite con la provincia de Santa Fe hasta la localidad de Saladillo, continuando por las rutas provinciales 63 y 61 hasta la ciudad de Las Flores y de allí hacia el este hasta la costa del Río de la Plata. Los principales acuíferos de esta región se caracterizan por la estratigrafía e hidroestratigrafía de la Tabla 1.

<b>Estratigrafía</b>	<b>Hidroestratigrafía</b>	<b>Acuíferos Principales</b>
Sedimentos Postpampeanos	Epiparaneano	Acuífero Postpampeano
Sedimentos Pampeanos		Acuífero Pampeano
Formación Puelches		Acuífero Puelches
Formación Paraná	Paraneano	Acuífero Paraná
Formaciones Olivos y Mariano Boedo	Hipoparaneano	Acuitardo
Basamento Cristalino	Basamento Hidrogeológico	Acuífugo

*Tabla 1: Unidades hidroestratigráficas (modificado de Santa Cruz y Silva Busso, 1999).*

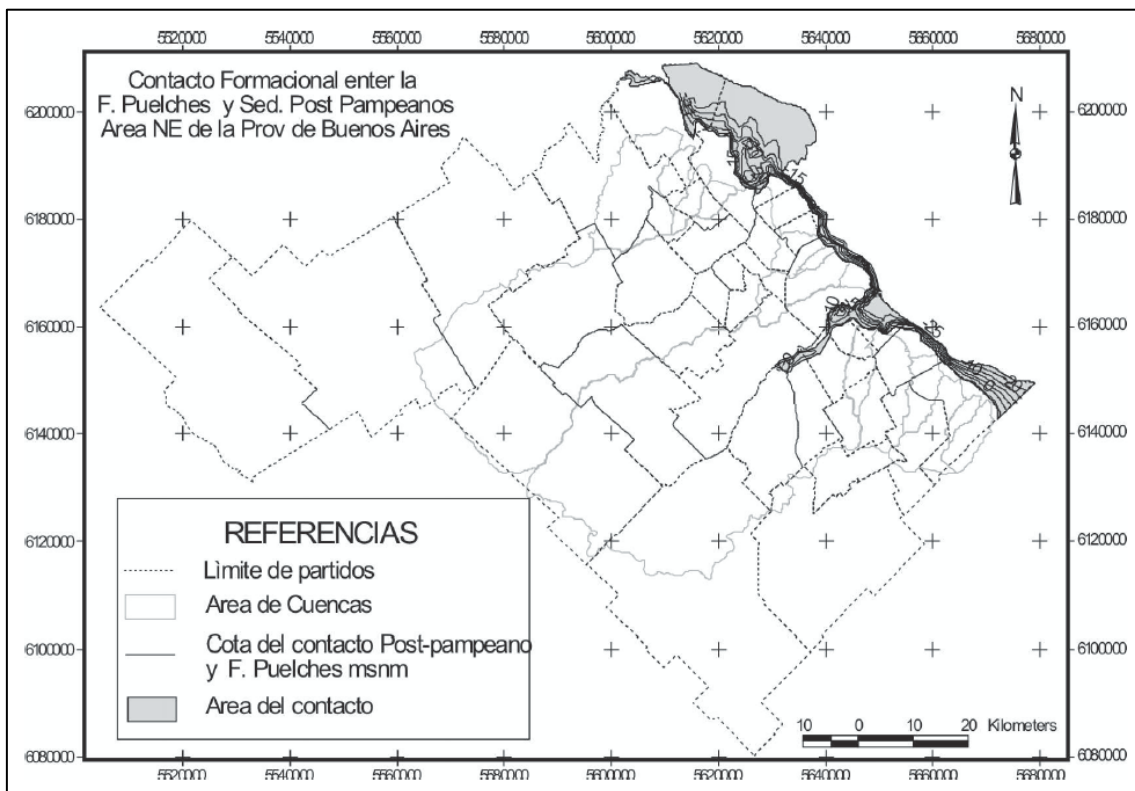
La Sección Epiparaneana es la tercera sección acuífera que, por su accesibilidad resulta la más explorada, se desarrolla en toda la provincia a excepción de las áreas donde aflora el basamento de roca dura (EASNE, 1972 y Hernández, 1975). Constituye un depósito de sedimentos acuíferos, de granulometría arenosa, limosa y arcillosa con intercalaciones de calcretes (Fm. Puelches, Sedimentos Pampeanos y Sedimentos Postpampeanos). La misma suele dividirse en las subsecciones Epipuelche y Puelche, de acuerdo a su posición respecto de la formación homónima.

La Sección Superior, denominada Epipuelche, está alojada en los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos, distinguiéndose dos capas acuíferas, una de carácter freático libre y otra semiconfinada (Silva Busso, 2010).

Por debajo de la freática se encuentran otros acuíferos más profundos, el Pampeano y el Puelches, que se encuentran hidráulicamente conectados ya que son acuíferos multicapa de llanura. Lo cual significa que si se explotara sólo el más profundo, en este caso el Acuífero Puelches, se produciría también la depresión de la superficie freática debido a dicha conexión entre acuíferos. E inversamente, si se extrae agua del acuífero freático, en este caso el Pampeano, se llegará a un punto en el cual un acuífero más profundo comienza a aportar agua en sentido ascendente,

disminuyendo su nivel piezométrico (EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz y Silva Busso, 1996).

Los Sedimentos Pampeanos tienen espesores medios de 25 a 30m. Presentan una profundización y aumento de espesor hacia el oeste, hacia la zona del partido de Luján, con valores de hasta 50m. Hacia el este, en las proximidades de la planicie de inundación de la cuenca baja del río Luján se acuñan por debajo de los Sedimentos Postpampeanos, hasta desaparecer del registro geológico. Por lo tanto, en los perfiles puede observarse el contacto entre la Formación Puelches y los Sedimentos Postpampeanos (Figura 12). Los valores de espesor máximos para estos últimos pueden alcanzar los 30m en la zona de planicie deltaica que flanquea el norte del curso fluvial (Amato y Silva Busso, 2006 y 2009).



*Figura 12: Mapa de cotas del contacto entre la Formación Puelches y los Sedimentos Postpampeanos (Amato y Silva Busso, 2006).*

La Formación Puelches por otro lado, presenta profundidades variables, entre los 40m en las cercanías del río Paraná, a más de 100m en Pergamino, y 120m en Junín. Sus espesores son muy variables (especialmente el cuerpo de arena) pudiéndose

considerar valores más comunes entre 20 y 35 metros con espesores mayores en algunos puntos.

En base al análisis de datos provenientes de algunas perforaciones en la cuenca del río Luján, estudiando las columnas estratigráficas obtenidas de dichos pozos, Silva Busso (2010) determina que la sección pelítica cuspidal de la Formación Puelches se encuentra distribuida en forma discontinua, mientras que la sección psamítica se ha depositado en forma uniforme en todo el área de la Cuenca. Los espesores máximos para la sección psamítica alcanzan los 40m hacia el oeste, mientras que los mínimos los 5 m. Su valor medio de espesor es de 20 a 25m. Los espesores para la sección pelítica pueden superar los 10m, y hasta podría reemplazar totalmente las arenas. Los máximos espesores se pueden encontrar en los partidos de Suipacha y Luján, observándose una tendencia a acuñarse hacia la zona de la costa.

Subyacente a la Sección Epiparaneana se encuentra la Sección Paraneana, de origen marino y constituida por arcillas grises azuladas y verdes con intercalaciones arenosas y abundantes fósiles marinos, predominando los sedimentos acuicludos aunque también conteniendo algunas intercalaciones acuíferas de muy buen rendimiento (Weisser, 2018).

Por otro lado, la Sección Hipoparaneana se conforma por una sucesión sedimentaria de origen continental dividida en tres subsecciones de las cuales la mejor conocida es la superior, de 250m aproximadamente, conformada por las areniscas y arcillas rojas reconocidas como Formación Chaco que presenta varios niveles acuitardos y algunos acuíferos de variable salinidad y muy poco conocidos a la actualidad (Santa Cruz y Silva Busso, 1999).

Por último, el Basamento Cristalino, constituido por rocas ígneas y metamórficas, es la unidad acuífuga basal de los sistemas acuíferos que se desarrollan por encima del mismo y constituye el basamento hidrogeológico de la región (Silva Busso, 2010).



## 5.2 Características hidrogeológicas

Como se observa en el apartado anterior se diferencian tres grandes secciones o unidades hidrogeológicas apoyadas sobre el Basamento geológico, denominándose Sección Hipoparaneana la inferior, Sección Paraneana la media, y Sección Epiparaneana la superior. Dentro de estas unidades hidrogeológicas se distinguen complejos sedimentarios permeables o acuíferos, complejos medianamente permeables o acuitardos y unidades impermeables o acuicludos.

La sección más estudiada y de mayor importancia es la Epiparaneana, que a su vez se subdivide en Epipelches y Pelches. Se conforma de este modo con una serie de acuíferos semiconfinados, ubicados en las arenas de la Formación Pelches y en los Sedimentos Pampeanos. Además estos últimos contienen a la capa libre o acuífero freático. Es por este motivo que suele considerarse a la Sección Epiparaneana para su estudio como un único Acuífero Multicapa.

La recarga del sistema se produce a partir de las precipitaciones, especialmente en las áreas de interfluvios, la descarga principal se produce en los cursos de aguas principales. Especialmente en muchos sectores del conurbano bonaerense y en las cercanías a grandes núcleos urbanos se han desarrollado grandes conos de depresión en el acuífero, permitiendo así que en zonas de la costa del Río de la Plata se produzca un avance salino importante hacia el acuífero (Santa Cruz *et al.*, 1996).

La Sección Superior o Epipelches, está alojada en sedimentos del Pampeano y Postpampeano y se distinguen dos niveles acuíferos, uno de carácter freático libre y otro semiconfinado. La capa freática, que en algunas zonas urbanas se encuentra agotada, resurgiendo a veces como respuesta a periodos muy lluviosos, o por cese en la explotación de acuíferos inferiores a la misma, proporciona bajos caudales de explotación, inferiores a  $1\text{m}^3/\text{h}$ , y presenta aguas de mala calidad por su contaminación química y bacteriológica con pozos sépticos domiciliarios. La sección superior acompaña la morfología de la superficie con techo variable.

El flujo subterráneo del acuífero libre que contendría a este conjunto de Acuíferos Pampeanos y Postpampeanos sería regionalmente de oeste a este. Presentando conos de depresión en algunas áreas de la cuenca baja debidos a los bombeos realizados para el abastecimiento de agua tanto del Acuífero Pampeano como del Puelches.

En algunos sectores, mayormente en la cuenca baja, se identifican sedimentos más modernos denominados Postpampeanos de menor espesor y variado origen. Los Acuíferos Postpampeanos se encuentran delimitados por la cota de 5 msnm. Se encuentran estos depósitos en el área de la cuenca inferior del río Luján, constituyendo las zonas más bajas del río. Los Sedimentos Postpampeanos suprayacen a los Sedimentos Pampeanos, a excepción de aquellos casos donde apoyan directamente sobre la Formación Puelches. Los espesores máximos alcanzados en la cuenca son de 20 m, en los partidos de Escobar y Campana. En la zona de la planicie de inundación del río estos sedimentos suelen presentar una litología fundamentalmente pelítica, por lo cual pueden ejercer cierto grado de semiconfinamiento sobre las unidades acuíferas infrayacentes. Cuando se produce este semiconfinamiento suele ser local y puede manifestarse en áreas con cierto grado de surgencia de poca magnitud, un metro aproximadamente, como consecuencia de pequeñas diferencias topográficas con el área de recarga. Su importancia radica en que es portador del Acuífero libre en la cuenca baja del río Lujan. La calidad de las aguas de los Acuíferos Postpampeanos es salobre (entre 3000 y 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y presenta parámetros hidráulicos pobres, tratándose en muchos casos de unidades discontinuas (Silva Busso, 2010).

El Acuífero Pampeano, por lo común semilibre, está limitado superior e inferiormente por sedimentos acuitardos, y la base de la unidad se alumbra generalmente a profundidades que varían entre 40 y 90 metros, de acuerdo a la cota del terreno fundamentalmente. Este acuífero proporciona caudales de extracción muy dispares según su emplazamiento (Silva Busso, 2010).

Los Sedimentos Pampeanos brindan caudales más bajos comparativamente respecto de los caudales obtenidos de la Formación Puelches, debido a su menor permeabilidad. Se encuentran caracterizados por los siguientes parámetros hidráulicos. Presentan una porosidad efectiva de 10%, permeabilidad de 5 a 10m/d, transmisividad de 100 a 200m<sup>2</sup>/d, coeficiente de almacenamiento del orden de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-3</sup>, caudales específicos más comunes de 1 a 3m<sup>3</sup>/h, caudales obtenibles más comunes entre 40 y 100 m<sup>3</sup>/h, y caudales máximos sin garantía de sostenibilidad hasta 150m<sup>3</sup>/h. El espesor que pueden alcanzar los Sedimentos Pampeanos varía entre los 20 y 60m (Santa Cruz y Silva Busso, 1996).

Los Acuíferos Pampeanos en las planicies de inundación se acuñan al igual que los Sedimentos Pampeanos. El Acuífero Pampeano tiende a aumentar su espesor en dirección oeste, alcanzando los 50 m o más hacia la zona de Suipacha. Al igual que en los casos anteriores los Sedimentos Pampeanos pueden presentar profundizaciones locales de sus depósitos. Se trata de un acuífero en general libre y/o semilibre, aunque a mayor profundidad algunos horizontes pueden llegar a ser semiconfinados.

El Acuífero Pampeano se caracteriza por aportar a las aguas subterráneas elementos nocivos tales como flúor y arsénico que en muchos casos, dado los altos tenores, impide su utilización como agua potable (Nicollini *et al.*, 1985). En muchos casos hay una relación directa entre el caudal extraído y la cantidad de esas sales. Por lo que los caudales para uso de agua potable están regulados en función de la potabilidad natural al flúor o arsénico, y no a sus posibilidades reales.

También registra un aumento de la salinidad de sus aguas. Hacia el oeste en Lincoln, por ejemplo, el residuo seco alcanza los 1200mg/l, en Bolívar los 1100 mg/l, en Colón los 1800 mg/l. En Arrecifes el residuo seco alcanza los 800 mg/l, Pergamino en los 1000 mg/l, Mercedes en los 900 mg/l, Baradero y Campana en los 600 mg/l. Las aguas de la capa libre pueden clasificarse como bicarbonatadas sódicas, magnésico-cálcicas, mientras que las aguas semiconfinadas del Pampeano pueden clasificarse como bicarbonatadas sódicas, cálcico-magnésicas. La salinidad del agua de esta Sección aumenta en las áreas de las llanuras de inundación de los grandes ríos y

arroyos donde se hallan importantes depósitos de Sedimentos Postpampeanos incluso superiores a los 2.000 mg/l (Santa Cruz y Silva Busso, 1996). En general la calidad de las aguas del Acuífero Pampeano es dulce, entre 800 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque al igual que el Postpampeano en áreas de planicie de inundación de la cuenca inferior pueden ser salobres y alcanzar los 10000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Silva Busso, 2010).

La sección media o “Arenas Puelches”, es portadora del Acuífero Puelches, segunda capa semiconfinada, suprayacente a sedimentos acuicludos constituidos por las arcillas verdes de la Formación Paraná, que actúan limitando la infiltración vertical hacia abajo. Hacia el techo del Acuífero Puelches se localizan sedimentos acuitardos que permiten la conexión hidráulica con los acuíferos superiores o sección Epipuelches. Esta característica resulta de suma importancia, ya que permite la recarga del acuífero y el paso de posibles contaminantes. Sus características físicas como su gran extensión, el fácil acceso mediante perforaciones, sus caudales y la calidad química de sus aguas lo han convertido en el recurso hídrico subterráneo más explotado del país y las aguas extraídas de él se destinan principalmente al consumo humano.

La Formación Puelches posee un comportamiento acuífero excelente y buenos rendimientos. Sus parámetros hidráulicos así lo demuestran, presenta una porosidad efectiva de hasta 20%, permeabilidad de hasta 25 m/d, transmisividad entre 300 y 500m<sup>2</sup>/d, coeficiente de almacenamiento del orden de 10<sup>-3</sup> e incluso 10<sup>-4</sup>, caudales específicos más comunes entre 3 y 11 m<sup>3</sup>/h, caudales obtenibles más comunes de 50 a 120 m<sup>3</sup>/h y caudales máximos sin garantía de sostenibilidad de hasta 200 m<sup>3</sup>/h (Sala y Auge, 1970; EASNE, 1972; Hernández, 1975; Santa Cruz y Silva Busso, 1996).

La recarga de agua del Acuífero Puelches es de tipo autóctona indirecta y se produce cuando el nivel piezométrico es más bajo que el nivel freático. Es de tipo indirecto debido a que las unidades acuíferas, como mencionáramos, se encuentran superpuestas. La capa freática es el elemento receptor en primera instancia del aporte meteórico directo, luego este aporte es transferido en profundidad hacia la sección media y de este modo se produce la recarga del acuífero (Hernández, 1975).

El Acuífero Puelches mantiene valores de profundidad y espesor más homogéneos en la cuenca inferior y media, aunque comienza a profundizar hacia el oeste en la cuenca alta en dirección del límite con la Cuenca del río Salado. Las profundidades de la base pueden alcanzar fácilmente los 125 a 150mbbp en la zona de Suipacha y Chivilcoy.

Con respecto a la calidad química del Acuífero Puelches y en términos generales, se puede concluir en que la misma desmejora hacia el oeste de la región, abarcando en líneas generales, los partidos de Pergamino, Colón, Rojas, Salto y Chacabuco, donde el acuífero Puelches presenta agua con valores superiores a los 2000 mg/l de residuo salino. Hacia el este las condiciones mejoran y se registran valores de residuo seco inferiores a los 500 mg/l. En el mismo la salinidad varía con la posición respecto a las zonas de recarga y descarga. En general se las considera bicarbonatadas cálcicas-magnésicas sódicas y carbonato-cloruradas, pero pueden ser cloro-sulfatadas cuando se hallan infrapuestas a ambientes Postpampeanos y/o en las cercanías de las áreas de descarga subterránea. (Santa Cruz y Silva Busso, 1996).

Respecto a su calidad de aguas, el Acuífero Puelches presenta aguas dulces entre 700 a 1800 $\mu$ S/cm, alimentado verticalmente por el Acuífero Pampeano. Los cambios químicos significativos, con aumentos de salinidad, se observan en las zonas de la cuenca inferior con valores que pueden alcanzar hasta los 15000 $\mu$ S/cm donde los Sedimentos Post-pampeanos marinos apoyan sobre esta unidad. En la Cuenca alta hacia el oeste, se verifica otro cambio salino con aguas de hasta 5000  $\mu$ S/cm (Silva Busso, 2010).

Finalmente, el Acuífero Paraná, ha sido alcanzado por pocos pozos en la cuenca, aislando los niveles previos (epiparaneanos), por lo cual es prácticamente desconocido en cuanto a sus características hidrogeológicas. Los pocos datos con los que se cuenta muestran valores de salinidad de 6000 $\mu$ S/cm.

Si se considera toda la extensión territorial de los Acuíferos Pampeano y Puelches, podemos decir que en el este de la región pampeana en general se

caracteriza por aguas bicarbonatadas cálcico-sódicas, con sólidos disueltos totales o sales disueltas inferiores a los 2g/litro, con valores medios entre 600 y 900mg/litro, en tanto que hacia el oeste el agua es naturalmente salada. En la provincia de Santa Fe el límite agua dulce agua salada se halla a aproximadamente 70km hacia el oeste, siguiendo en forma paralela al curso del río Paraná, torciendo hacia el SO en la provincia de Buenos Aires. En el ámbito de la provincia de Santa Fe se han detectado altos contenidos de arsénico, flúor y selenio. En las regiones donde su condición es naturalmente salada se alcanzan valores de hasta 10.000 mg/l pasando a cloruradas.

En el área de la cuenca del río Salado, Delta del Paraná y áreas por debajo de la cota 5 msnm, las unidades Pampeano y Puelches poseen aguas de salobres a salinas con límites locales y regionales aún no claramente establecidos. La Sección Paraneana en el área de la Cuenca del Salado y Delta se encuentra poco descripta debido a las pocas perforaciones que la alcanzan y la atraviesan. En algunos sectores mayoritariamente afectados los tenores salinos se han elevado a los 20 g/litro, lo que obliga a abandonar estas perforaciones.

### 5.3 Explotación del recurso

El área que abarca el Conurbano Bonaerense dentro y más allá de la cuenca del río Luján, así como también la Ciudad de Buenos Aires ha visto incrementarse progresivamente la demanda del recurso hídrico subterráneo. Ya sea para uso domiciliario, industrial u otros, el uso del agua aumenta a medida que aumenta la población y nuevos espacios se destinan a desarrollos urbanos, industriales o de recreación.

Cabe destacar que las fuentes de abastecimiento de agua de consumo en el perímetro inmediato al Gran Buenos Aires son subterráneas y provenientes de los distintos acuíferos semiconfinados, Epipelches y Puelches, captadas por múltiples perforaciones realizadas con ese fin.

Las arenas de la Formación Puelches ocupan solo en la provincia de Buenos Aires unos 83.000 km<sup>2</sup> (Auge, 1986). Teniendo en cuenta sus espesores y una porosidad efectiva de 0.10, Auge y Hernández (1983) realizaron un cálculo aproximado de las reservas contenidas en esta unidad, que son la suma de las reservas efectivas, calculadas en base a los parámetros ya mencionados, más las reservas bajo confinamiento que resultan del coeficiente de almacenamiento del acuífero semiconfinado en función de los niveles piezométricos por encima de su techo. Las primeras fueron estimadas en 280000hm<sup>3</sup> y las segundas en unos 18000hm<sup>3</sup>, lo que indica una reserva total de casi 300000hm<sup>3</sup>. Lo cual resulta interesante si se la compara con el total de las aguas embalsadas superficialmente en todo el país hacia 1980, que era de unos 47000hm<sup>3</sup>. De las reservas totales un 45 % son aguas aptas para el consumo humano (salinidad menor a 2gr/l). De estos 135000hm<sup>3</sup> serían técnicamente explotables unos 95000hm<sup>3</sup>. Es decir que, sin contar la recarga que naturalmente se produce, se alcanzaría a satisfacer la demanda de 10 millones de habitantes si estuvieran uniformemente distribuidos durante 75 años a razón de 0.35m<sup>3</sup>/día.habitante (Auge y Hernández, 1983).

En la cuenca, ha sido intensiva la actividad agropecuaria, comprendiendo zonas de viveros, granjas y quintas de hortalizas. Además han existido canteras de áridos carbonáticos y hornos de ladrillos, que luego de ser abandonadas, han quedado las zonas de labor más bajas y han sido rellenadas con basura, constituyendo pasivos ambientales (Silva Busso y Fresina, 2005). La actividad industrial y urbana e incluso en algunas épocas la agropecuaria y minera han efectuado usos muy dispares de los recursos. En los casos donde se produce una extracción excesiva del recurso, se puede observar extensas zonas afectadas por conos o coalescencia de conos de depresión en la superficie piezométrica.

En síntesis puede decirte que un tema clave en la problemática relacionada al agua subterránea como recurso es cómo ha ido en aumento el ejido urbano, al aumentar la población y cómo ha evolucionado la actividad industrial en forma asociada. Esto enmarcado en el hecho que se mencionara al comienzo de este

apartado, de considerar que la ciudad de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires constituyen una de las aglomeraciones urbanas más amplias e importantes del mundo.



## Capítulo 6 – Geomorfología y Suelos del área de estudio

### 6.1 Generalidades

Gran parte de la zona de estudio se encuentra cubierta por zonas urbanas y suburbanas. Sobre todo el área de la cuenca baja del río Luján se encuentra muy alterada por la gran cantidad de población que allí se asienta, generando una alta demanda no solo de espacios sino también de recursos naturales. Esta alteración se agrava con el crecimiento de la zona urbana y hace difícil el reconocimiento geomorfológico del ambiente natural primigenio. A pesar de ello se realizó un mapeo geomorfológico (Figura 17) en base al análisis de imágenes satelitales Landsat de los años 1986 a 1992 y 2000, donde la mancha urbana es menor a la actual y a gran escala puede verse mucho mejor el terreno. Además se utilizó la capa de curvas de nivel y el MDE-Ar (Modelo Digital de Elevaciones de Argentina) del IGN.

El tipo de relieve predominante es de llanura, con cotas que van desde los 0 a los 60 msnm. En general, la geomorfología del área corresponde a ambientes fluviales y fluvio-estuariños hacia la desembocadura, desarrollados durante el Cuaternario, y que están asociados a cambios climáticos y eustáticos regionales. Los procesos predominantes son los fluviales y marinos, y en menor medida, subordinados a los anteriores actúan los procesos eólicos y de remoción en masa.

La red de drenaje ha sido afectada por obras de canalización o entubamiento de los cursos de agua. Esto ha modificado en parte el funcionamiento natural del sistema. El drenaje superficial presenta un rumbo predominante en dirección al NE aunque rota hacia el SE en su cuenca baja como consecuencia del avance de las facies deltaicas modernas. En la cuenca media se vuelve sinuoso y luego cambia a meandriforme. Volviéndose nuevamente rectilíneo en la cuenca baja, luego de girar casi 90° hacia el SE, para desembocar en el estuario del Río de la Plata. El curso principal mantiene un régimen permanente, aunque algunos de sus afluentes son de régimen intermitente con periodos de agotamiento coincidentes con grandes sequías.

## 6.2 Reconocimiento geomorfológico

Se describen a continuación las geoformas reconocidas en función de su localización en la cuenca, de menor a mayor cota.

Los procesos marinos se encuentran evidenciados en la zona de la cuenca baja, donde puede observarse la Planicie de paleocordones litorales (Marcomini y López, 2011), llamada por Gatti (2003) Planicie de mareas y por Pereyra (2004) Planicie poligenética. Se trata del registro acrecional de las regresiones holocenas y se encuentra limitada por un paleoacantilado que se extiende en sentido general NO-SE (Figura 13).



*Figura 13: Planicie de cordones litorales y paleoacantilado en la cuenca baja (mosaico Landsat 1986-1992).*

Esta Planicie de cordones litorales se extiende en forma de faja a lo largo de toda la cuenca baja del río Luján, y más allá. Presenta un ancho variable, entre más de un kilómetro y hasta 6 km dentro de la cuenca, es amplia y en parte pantanosa, con una altura promedio de 2 m sobre el nivel del estuario. Ya sea por crecidas del estuario,

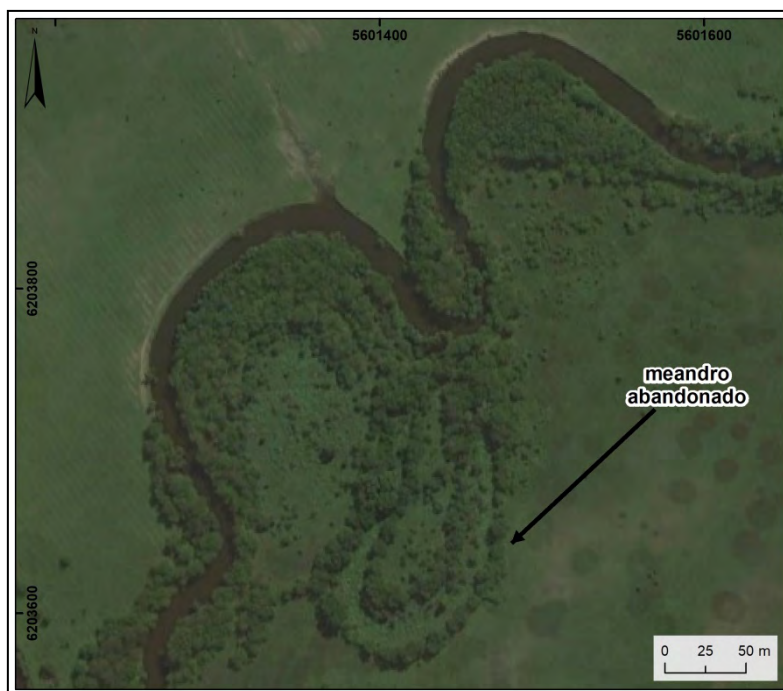
durante épocas de sudestada, o por lluvias torrenciales, puede anegarse y hasta llegar a inundar las planicies de los cursos fluviales. Esto se agrava debido al anárquico desarrollo urbano, que ha llegado a ocupar parte de la planicie de inundación del río, lo cual dificulta la escorrentía natural y empeora la problemática de anegamientos aguas abajo.

El Paleoacantilado (Pereyra, 2004; Marcomini y López, 2011) tiene una altura promedio de 17 m y fue labrado durante las ingresiones holocenas por procesos marinos. Ha sido retrabajado por procesos de remoción en masa que continúan en la actualidad y que lo van recortando por sectores, ejemplo de ello es la profunda entrada que se observa en la zona del cauce del río Luján.



*Figura 14: Planicie de inundación en Los Cardales (izq). Ambiente anegado dentro de la planicie de inundación en Los Cardales (der).*

Los procesos principales, como se señalara anteriormente, son los fluviales. Asociados a ellos pueden observarse geoformas de erosión y acumulación. La planicie de inundación se presenta más angosta en la zona de la cuenca alta, donde el río presenta hábito rectilíneo, y luego se ensancha al volverse meandriforme, donde pueden distinguirse geoformas tales como meandros abandonados en las zonas de la cuenca media y baja (Figura 15). El criterio empleado en este trabajo, es llamar a toda la unidad Planicie de inundación, pero diferenciando las zonas que se encuentran bajo la cota de 5 msnm como Planicie de inundación de la zona baja. Esta zona más baja suele presentar dificultades para el escurrimiento de pequeños arroyos, además se observan depresiones de fácil y recurrente anegamiento.

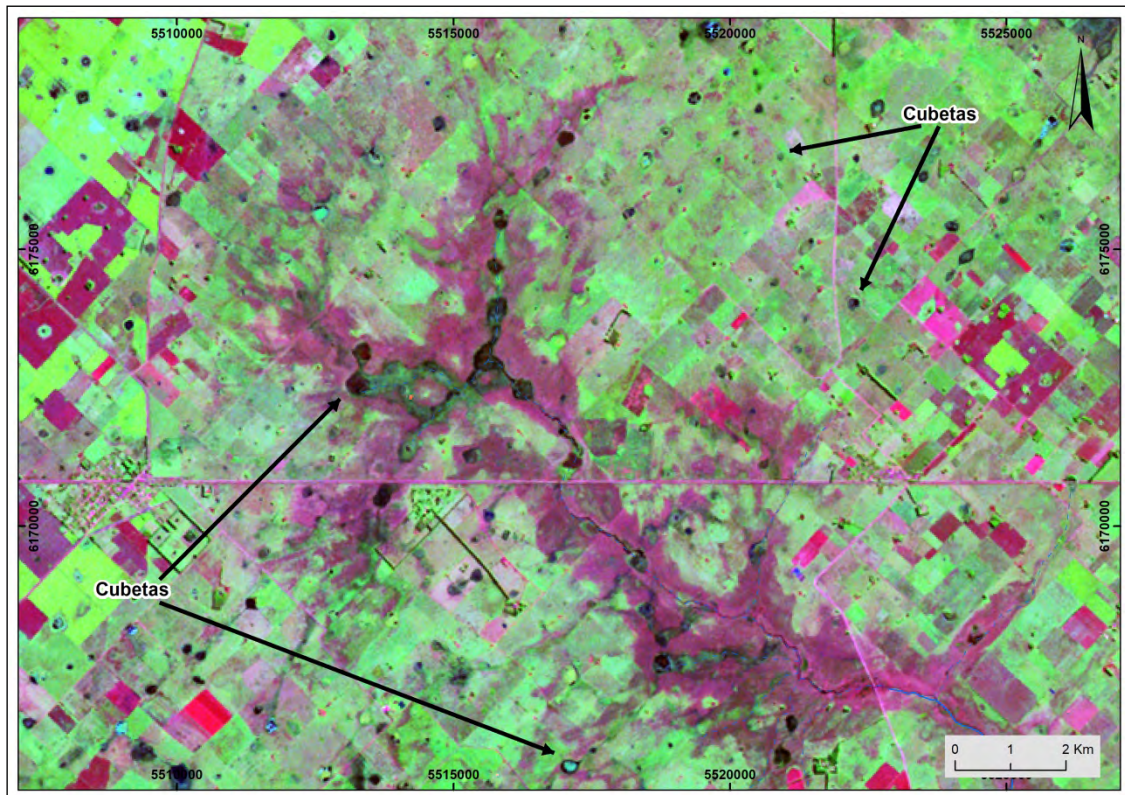


*Figura 15: meandro abandonado en la cuenca baja.*

Por otro lado, se distingue como unidad a la Planicie de escurrimiento (Gatti, 2003), o como lo llamaría Pereyra (2004), los laterales de los valles. Esta unidad se encuentra entre las zonas más altas y la Planicie de inundación. Sus pendientes se encuentran orientadas hacia el interior de los valles fluviales, y fluctúan entre 1.5 a 2.5%. Sus límites pueden distinguirse especialmente a través de las imágenes satelitales y la información topográfica (curvas de nivel y MDE-Ar).

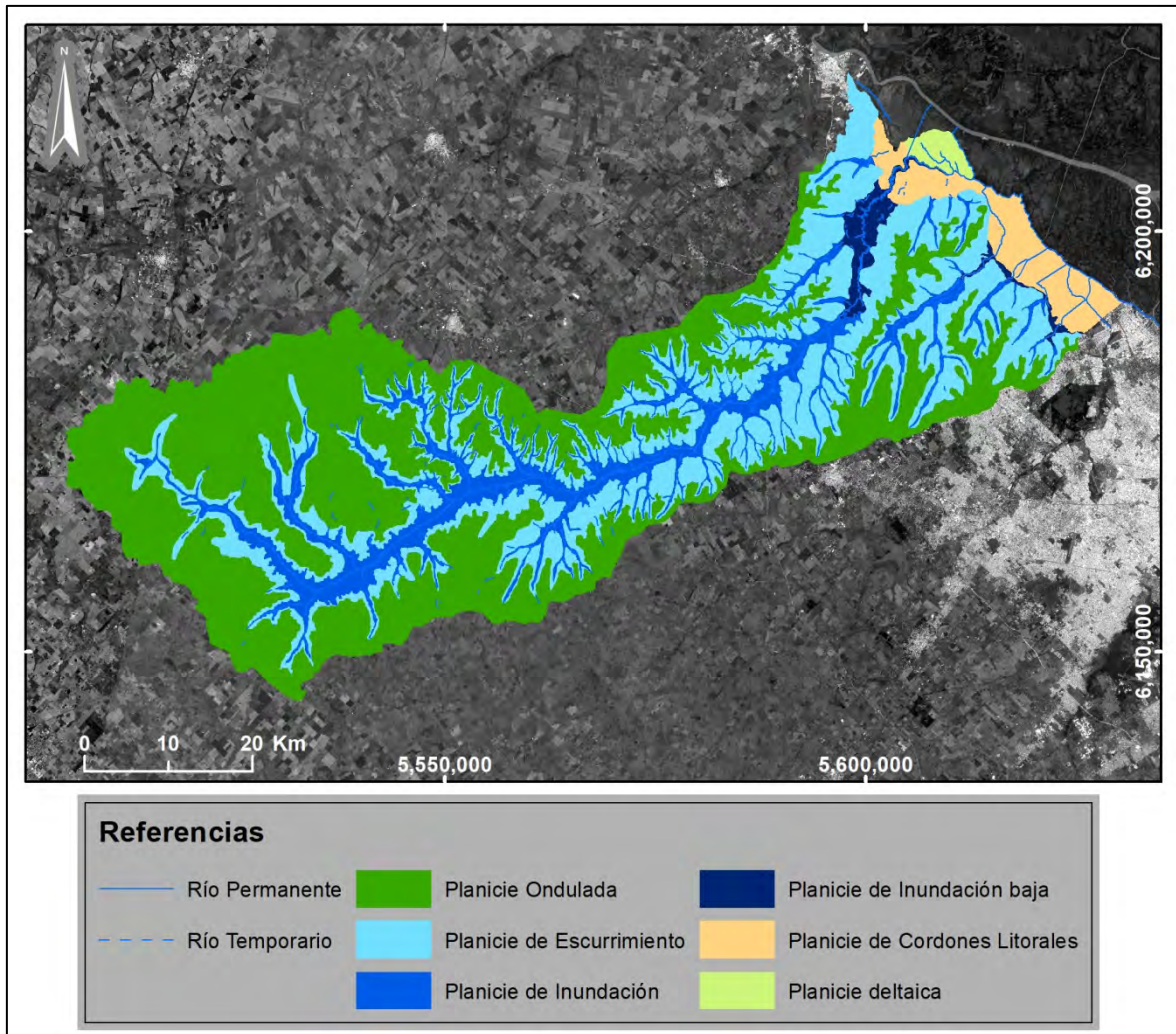
También los procesos eólicos pueden observarse en la zona de la Planicie ondulada (Gatti, 2003), también denominada Planicie loésica (Pereyra, 2004), que ocupa la mayor parte del área de estudio y corresponde a las zonas más elevadas que rodean y separan los valles fluviales. Cubre un área aproximada de 1721 km<sup>2</sup>. Su límite al NE, dentro de la cuenca, está dado por la Planicie de escurrimiento, que la separa de la Planicie de cordones litorales. En general presenta un relieve plano o suavemente ondulado de pendientes suaves cuya génesis se remonta al Pleistoceno, momento durante el cual se depositaron las capas de loess pampeano.





*Figura 16: Zona cubierta de cubetas de deflación en las nacientes del Arrollo Los Leones, en la Planicie Ondulada, cuenca alta del río Luján (mosaico Landsat 1986-1992).*

En la Planicie Ondulada se observan geoformas circulares, claramente delimitadas, que se interpretan como cubetas de deflación o eólicas y que son generadas por vientos fuertes (Tricart, 1973), en algunos casos estas depresiones pueden verse colmatadas por aguas meteóricas, constituyendo pequeñas lagunas estacionales (Figura 16).



*Figura 17: Mapa geomorfológico de la cuenca del río Luján.*

### 6.3 Geomorfología y Suelos

Se tendrá en consideración aquí que las unidades edáficas mantienen una relación directa con las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta que éstas últimas se ven relacionadas con el tipo de vegetación, el relieve, la roca madre y el tiempo, que a su vez son factores fundamentales que determinan el tipo de suelo. En base a esto se reconocieron las unidades edáficas propuestas en un contexto regional por Gatti (2003) en el área específica de la Cuenca del río Luján, de menor extensión, ajustándose la superficie de cada una de las unidades respecto de la nueva geomorfología propuesta en este trabajo (Figura 18).



Las unidades edáficas reconocidas son:

- 8a<sub>1</sub>: Argiudol Típico, fino, inclinado.
- 8c: Natracuol Típico, fino (50%) con Natracualf Típico, fino (30%) y Argiudol Ácuico, fino (20%).
- 10a<sub>1</sub>: Argialbol Argiácuico, limoso fino.
- 10a<sub>2</sub>: Argiudol Típico, fino.
- 10g: Complejo Indiferenciado de suelos alcalinos, salinos e hidromórficos.
- 29a: Haplacuol Hístico, limoso fino (50%) con Haplacuent Aérico, limoso fino (30%) y Hapludol Ácuico, limoso fino (20%).

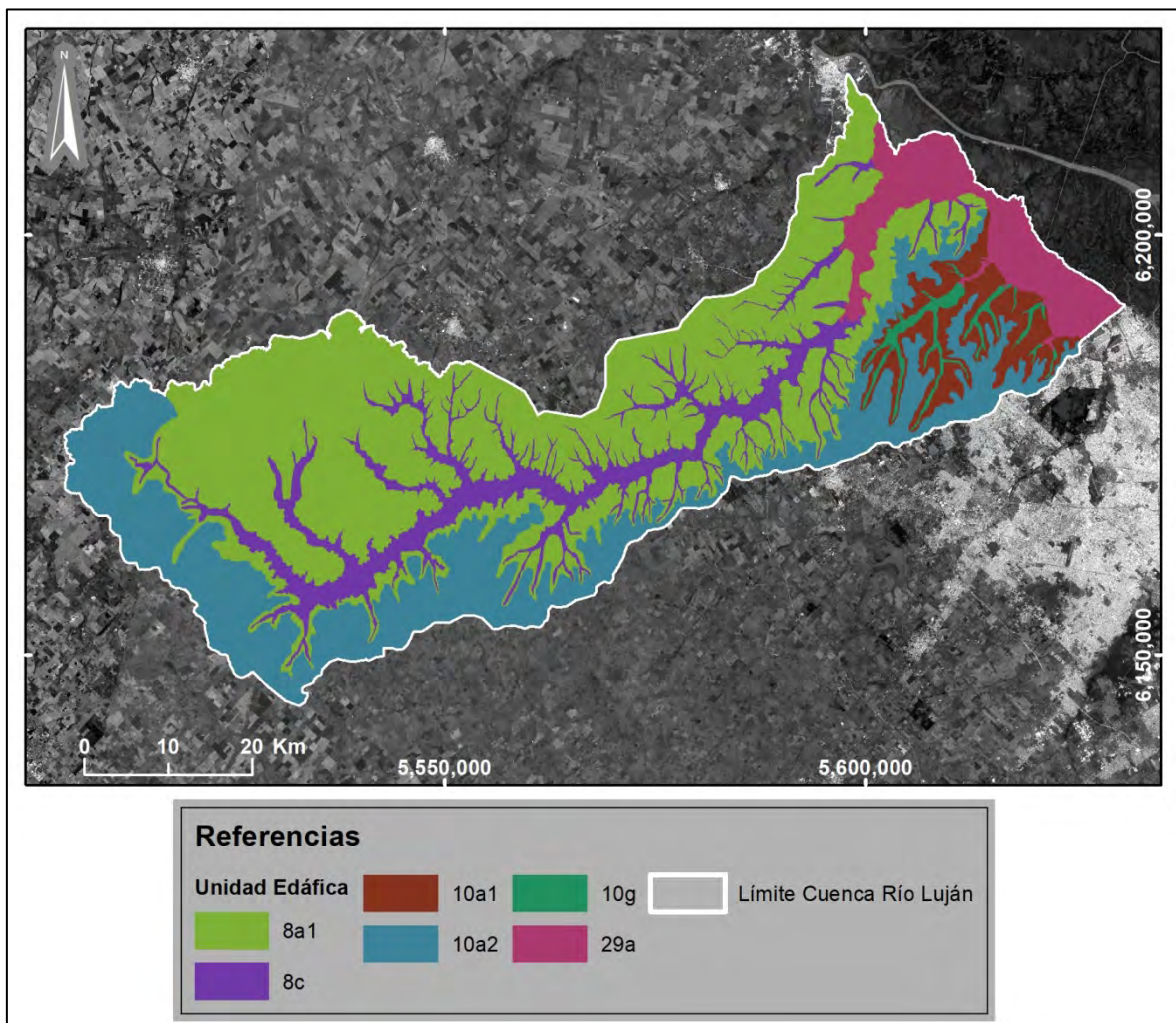


Figura 18: Mapa de unidades edáficas.

## Capítulo 7 – Geología del área de estudio

### 7.1 Generalidades

En general toda la región se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios. De acuerdo a la información obtenida, los antecedentes consultados y el relevamiento de campo llevado a cabo, se confeccionó un mapa geológico de la cuenca que puede verse en la Figura 30.

Afortunadamente, y gracias a la explotación del agua subterránea como recurso de necesidad primaria, se puede acceder a una importante fuente de información geológica constituida por las obras civiles como lo son los pozos de explotación o monitoreo de acuíferos.

De este modo se han analizado 11 muestras tomadas de 5 pozos diferentes (Tabla 2 y Tabla 3). Se intentó que los pozos estuvieran en distintas zonas de la cuenca del río Luján, teniendo en cuenta las posibilidades y acceso a la información (Figura 19).

Localidad	pozo	cota	profundidad
Barrio Santa Bárbara, Partido de Tigre	Sb-4pz	1.28	54.00
Barrio Santa Bárbara, Partido de Tigre	SB3-p	4.75	78.00
El Cazal, Partido de Escobar	CZ-1C	6.75	48.00
Barrio Mirario, Partido de Escobar	M-Pz-2	2.60	43.00
Torres, Partido de Luján	LJ-2	40.00	71.00

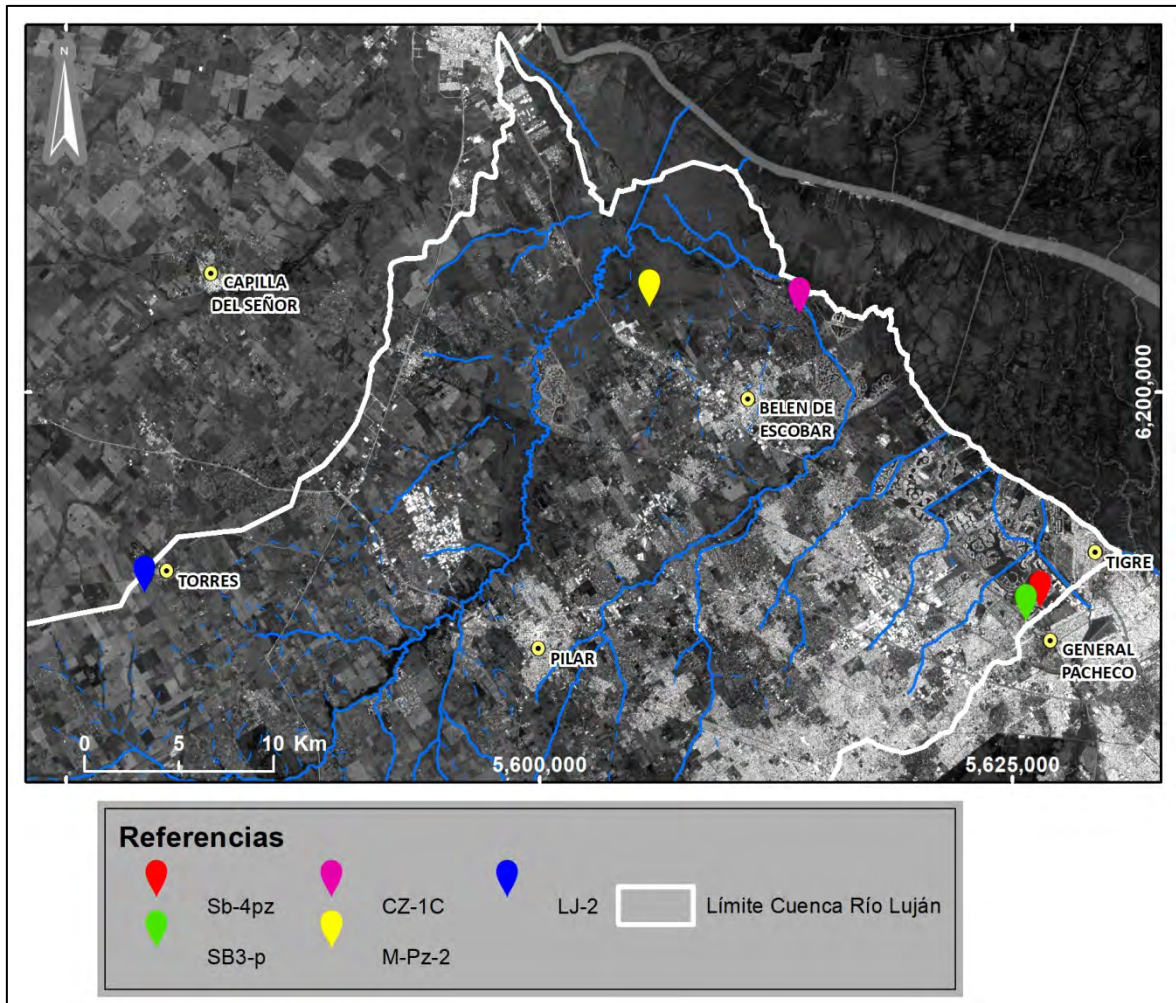
*Tabla 2: Pozos muestreados (cota en msnm y profundidad en mbbp).*

De cada uno de los pozos elegidos, se seleccionaron tramos específicos para la toma de las muestras. El criterio de selección respondió a intentar obtener los tramos menos contaminados. Por consiguiente se prefirieron aquellas secciones con menor proporción de material fino y menor contaminación con materiales de otros niveles, lo cual es común durante la ejecución de las perforaciones.



Todas las muestras corresponden a sedimento suelto y se les realizó el siguiente procedimiento estándar antes de enviarlas al taller para que se confeccionaran los cortes delgados:

- Las muestras fueron primero tamizadas para eliminar la fracción arcilla con tamiz de 0.004mm (según escala granulométrica de Uden-Wentworth).
- Luego, para la eliminación de materia orgánica, se colocaron en vasos de precipitados y se les agregó agua destilada y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) 30% 100 volúmenes.
- Agitando suavemente con una varilla se vio una reacción efervescente en las muestras Sb-4pz-15, SB3-p-10.5, SB3-p-75.5 y M-Pz-2-39. A estas muestras se les repitió el procedimiento, pero no volvieron a reaccionar.
- Se dejó decantar el sedimento de cada muestra durante 24 hs. Pasado este tiempo se retiró el líquido. Se procedió al lavado de las muestras agregando agua destilada a cada una. Volvió a dejarse decantar el sedimento para luego eliminar el líquido. Este proceso de lavado se reiteró para eliminar el peróxido de hidrógeno que pudiera quedar en la muestra.
- Se dejaron secar las muestras para luego ser llevadas al taller, donde fueron generados los cortes delgados de grano suelto, luego de ser impregnada cada muestra con resina epoxi para poder amalgamarlas.



*Figura 19: Ubicación de los pozos utilizados para los cortes petrográficos.*

Para el análisis de los cortes delgados se utilizó un microscopio petrográfico. En el caso de las muestras cuyos componentes principales eran arenas se realizaron conteos de granos en cada una para la determinación del contenido relativo de cada componente. Este es el caso de las muestras correspondientes a la Formaciones Paraná y Puelches. Por otro lado, las otras muestras, de las Formaciones Pampeano y Postpampeano, al predominar el contenido de limos, sólo se describieron sin hacer conteo mineralógico.

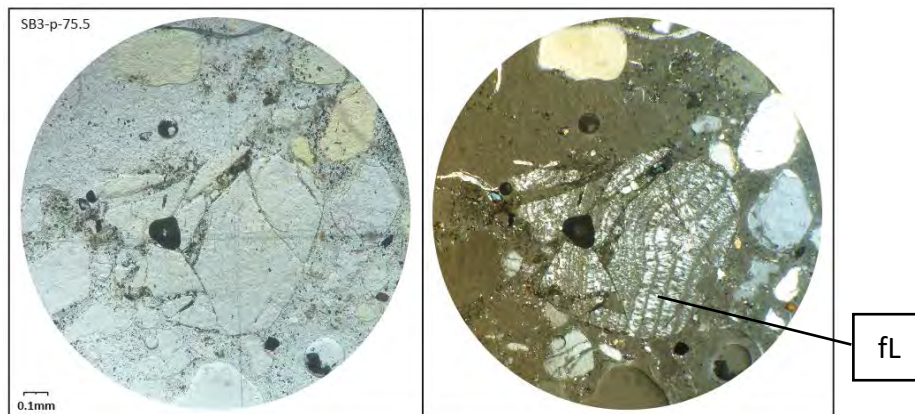
muestras	mbbp	Sedimentos
Sb-4pz-15	15	Pampeano
Sb-4pz-51	51	Puelches
SB3-p-10.5	10.5	Pampeano
SB3-p-48.5	48.5	Puelches
SB3-p-75.5	75.5	Paraná
CZ-1C-24	24	Pampeano
CZ-1C-48	48	Puelches
M-Pz-2-4	4	Postpampeano
M-Pz-2-39	39	Puelches
LJ-2-28	28	Pampeano
LJ-2-70	70	Puelches

*Tabla 3:* Muestras extraídas para la confección de cortes delgados de grano suelto.

## 7.2 Resultados de análisis y descripciones de los cortes delgados

Se presenta aquí un resumen de los análisis en microscopio petrográfico, conteos y recálculos al 100% de cada componente de los cortes delgados de grano suelto (Tabla 4 y Tabla 5). Para información más detallada de estos estudios puede consultarse el Anexo I de este trabajo.

La muestra correspondiente a la Formación Paraná (SB3-p-75.5) presenta granos de arena fina, redondeados a subredondeados. El cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (62%), encontrándose en mayor proporción que en las arenas de la Formación Puelches, mientras que el policristalino es escaso (4%). Los feldespatos potásicos se presentan en mucha menor proporción (25.5%) que en las arenas puelches, aunque también se distinguen algunos microclinos y granos con macla de Carlsbad, también se distinguen escasas plagioclasas (1%). Los líticos suelen ser de mayor tamaño y se componen por fragmentos metamórficos y sedimentarios (2.5%) (Figura 20). Se encuentran también fragmentos de carbonatos (3.5%). Y como minerales accesorios algunos opacos (1.5%).



*Figura 20: Fragmento lítico (fL), correspondiente a un cemento silíceo, Formación Paraná.*

Las muestras de la Formación Puelches presentan tamaños de arena mediana a gruesa, a excepción de la M-Pz-2-39, de arena muy fina. Sus granos suelen ser redondeados a subredondeados. El componente principal suele ser el cuarzo monocrystalino, que presenta extinción ondulosa a normal, variando entre el 42% y el 50%, en general todas tienen menos del 50%, salvo la M-Pz-2-39. Le sigue el contenido de feldespato potásico, entre 32% hasta 43%. Estos feldespatos suelen estar alterados a arcillas o rodeados por ellas y en algunas ocasiones se encuentran ejemplares con macla de Carlsbad. Suele encontrarse granos de microclino, con su macla en arpillera característica en la mayoría de las muestras. La presencia de cuarzo policristalino es variable, M-Pz-2-39 presenta sólo el 1%, mientras que en otras muestras es más considerable, como la Sb-4pz-51 (10%) y la CZ-1C-48 (16%). La plagioclasa no alcanza el 2%, se las distingue por la macla polisintética y en general se encuentran alteradas. Los fragmentos líticos ascienden al 7% sólo en la CZ-1C-48, pero en las demás apenas llega al 2%, suelen estar representados por líticos de origen metamórfico y volcánico, a veces cubiertos por óxidos. Los minerales accesorios fluctúan entre 0.5% y 1.5%, suelen encontrarse granos pequeños y redondeados de minerales opacos, aunque en algunos cortes se distinguen también cloritas como alteración. Por otra parte, dos muestras presentan fragmentos de carbonatos que se presumen serían fragmentos de bioclastos, la M-Pz-2-39 (3%) y la LJ-2-70 (1%).



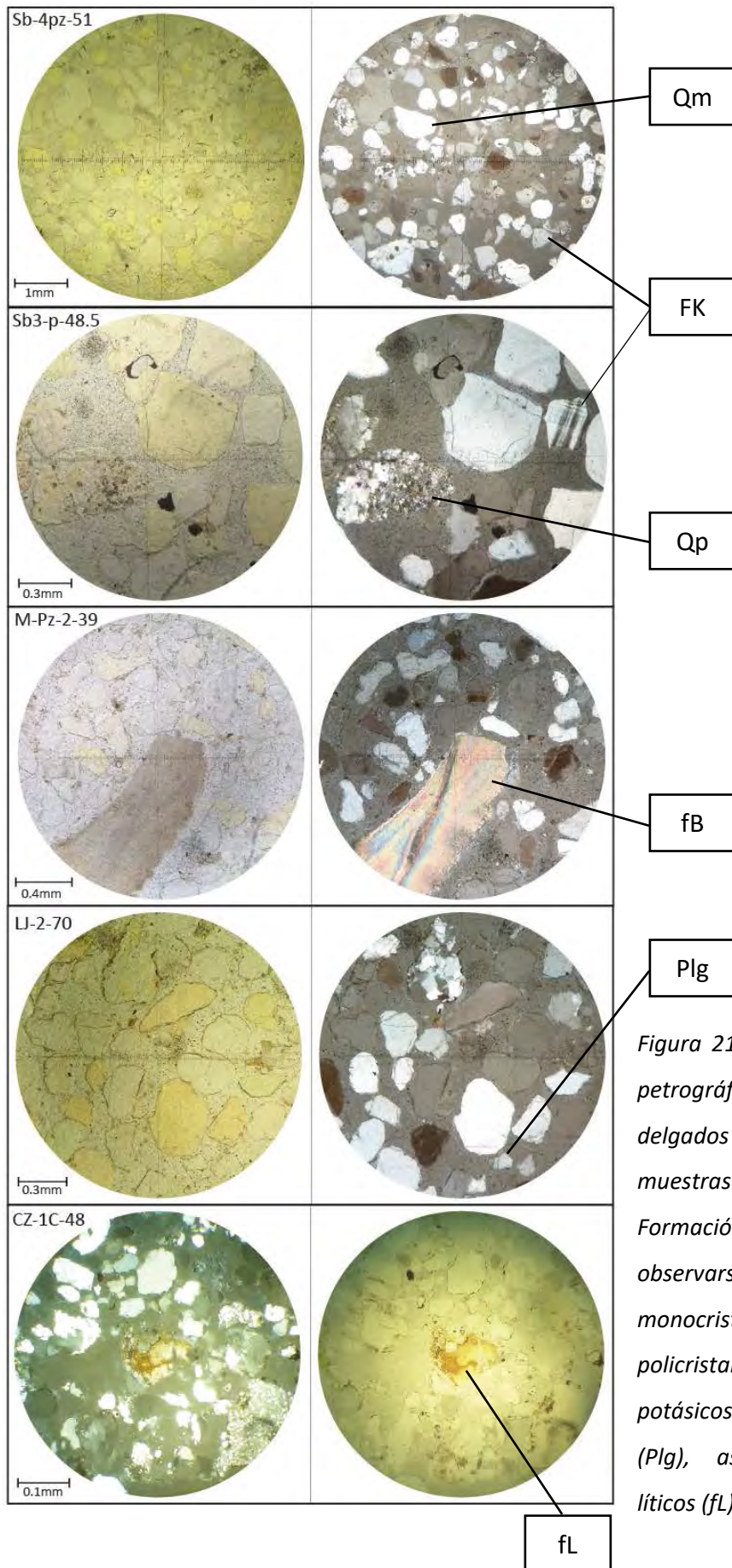
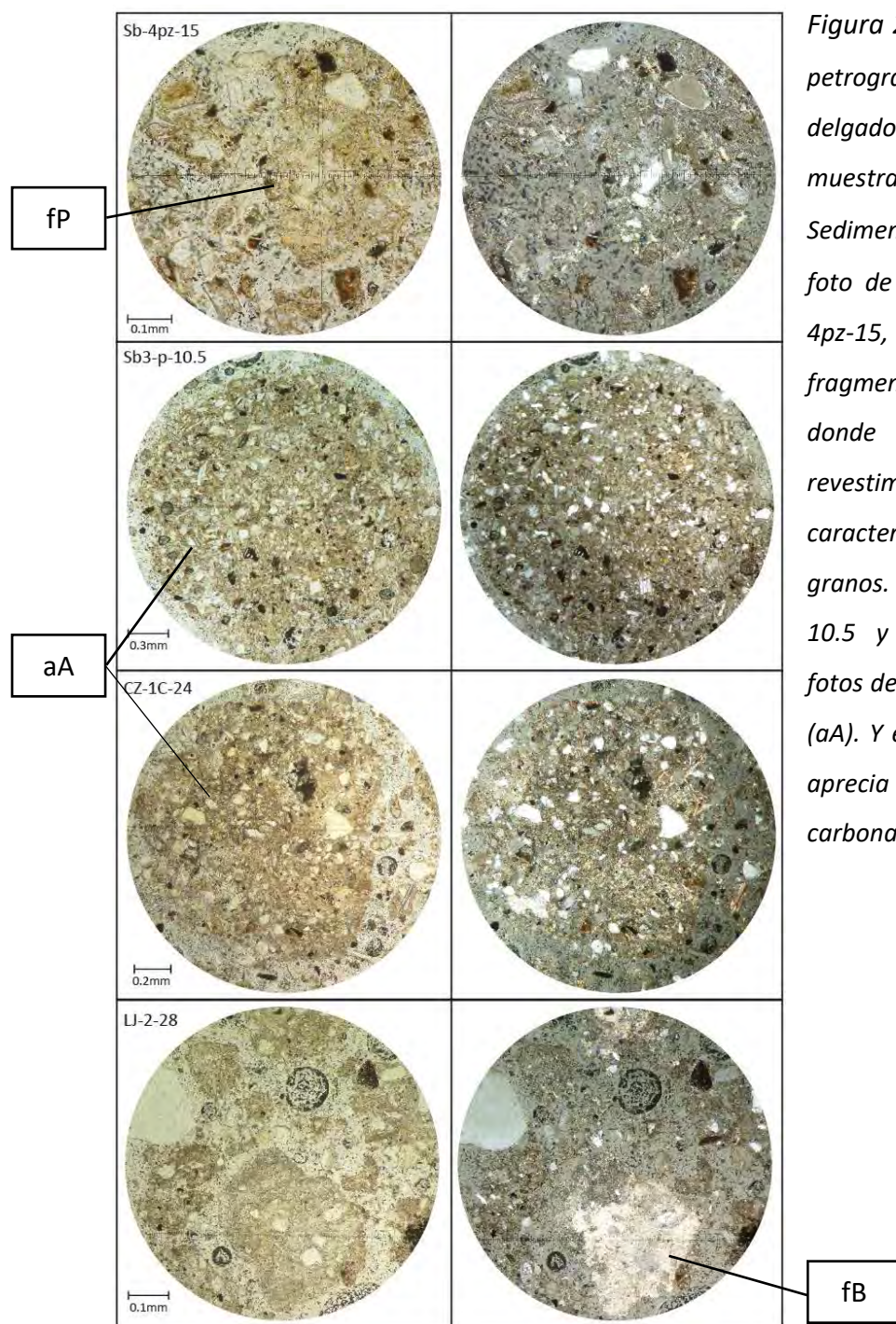


Figura 21: Vista en microscopio petrográfico de los cortes delgados de grano suelto de las muestras correspondientes a la Formación Puelches. Pueden observarse granos de cuarzo monocristalino (Qm), policristalino (Qp), feldespatos potásicos (FK), plagioclasas (Plg), así como fragmentos líticos (fL) y de bioclastos (fB).



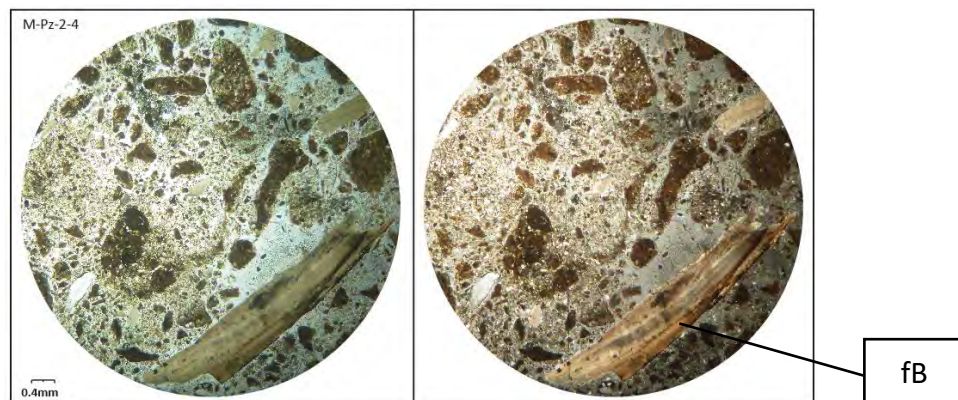
*Figura 22: Vista en microscopio petrográfico de los cortes delgados de grano suelto de las muestras correspondientes a los Sedimentos Pampeanos. En la foto de la primer muestra, Sb-4pz-15, puede verse un fragmento de paleosuelo (fP), donde se observan los revestimientos de arcillas característicos alrededor de los granos. En las muestras Sb3-p-10.5 y CZ-1C-24 se tomaron fotos de los agregados de arcilla (aA). Y en la muestra LJ-2-28 se aprecia un fragmento de carbonato (fB).*

En los cortes delgados de las muestras de los Sedimentos Pampeanos se ven agregados arcillosos que contienen pequeños granos de cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas, opacos, piroxenos y anfíboles, en general muy alterados. Se observan



además fragmentos de sílice amorfa que podrían ser trizas vítreas biaxiales y triaxiales. Otro mineral característico de estas muestras en la oxihornblenda u hornblenda volcánica, que es común a todos los cortes. Entre estos agregados de arcillas se distinguen algunos como fragmentos de paleosuelos, donde las arcillas iluviadas se han redepositado como pátinas alrededor de los granos, mientras que otros agregados podrían corresponder a fragmentos de loess, donde los granos y arcillas se disponen de forma caótica.

Por último, la muestra de los Sedimentos Postpampeanos resulta muy difícil de interpretar debido a su alto contenido de arcillas. Algunas partículas parecen ser de cuarzo, feldespatos, plagioclasas, piroxenos y anfíboles, todos muy alterados. Algunos granos de feldespatos se destacan por tener tamaños mayores, de hasta 0.5 mm. Además destacan fragmentos de conchillas de hasta 5 mm, en algunos de los cuales se observan las marcas de crecimiento.



*Figura 23: Vista en microscopio petrográfico del corte delgado de grano suelto de la muestra correspondiente a los Sedimentos Postpampeanos. Puede observarse un fragmento de bioclasto (fB).*

muestra	Qm	Qp	Plg	FK	Lit	Cc	Acc	Total granos
Sb-4pz-51	143	30	3	118	4	0	2	300
SB3-p-48.5	146	21	5	121	6	0	1	300
CZ-1C-48	125	49	4	97	21	0	4	300
M-Pz-2-39	151	2	1	130	5	9	2	300
LJ-2-70	149	8	1	129	6	4	3	300
SB3-p-75.5	186	11	3	77	7	11	5	300

Tabla 4: Conteo de granos realizado en los cortes delgados de arenas.

muestra	Qm	Qp	Plg	FK	Lit	Cc	Acc	Total
Sb-4pz-51	48.00%	10.00%	1.00%	39.00%	1.00%	0.00%	1.00%	100%
SB3-p-48.5	49.00%	7.00%	1.50%	40.00%	2.00%	0.00%	0.50%	100%
CZ-1C-48	42.00%	16.00%	1.50%	32.00%	7.00%	0.00%	1.50%	100%
M-Pz-2-39	50.00%	1.00%	0.50%	43.00%	1.50%	3.00%	1.00%	100%
LJ-2-70	49.50%	3.00%	0.50%	43.00%	2.00%	1.00%	1.00%	100%
SB3-p-75.5	62.00%	4.00%	1.00%	25.50%	2.50%	3.50%	1.50%	100%

Tabla 5: Composición mineralógica de las muestras analizadas.

### 7.3 Análisis y clasificación de las muestras de arenas

Para el análisis composicional de los sedimentos se utilizó la clasificación propuesta por Folk *et al.* (1970), que tiene en cuenta los porcentajes de cuarzo monocrystalino (Q), feldespatos totales (F) y fragmentos líticos, incluyendo el cuarzo policristalino (L).

Según esta clasificación las muestras resultan principalmente ser Feldsarenitas, incluso la muestra de la Formación Paraná, que entra dentro de este campo a pesar de tener una mayor proporción de cuarzo monocrystalino. Otro es el caso de la muestra CZ-1C-48 (Fm. Puelches), que correspondería a una Feldsarenita Lítica (Tabla 6 y Figura 24).



muestra	Q	F	L	Total
Sb-4pz-51	48.00%	40.50%	11.50%	100%
SB3-p-48.5	49.00%	42.00%	9.00%	100%
CZ-1C-48	42.00%	34.00%	24.00%	100%
M-Pz-2-39	52.00%	45.00%	3.00%	100%
LJ-2-70	51.00%	44.00%	5.00%	100%
SB3-p-75.5	65.50%	28.00%	6.50%	100%

Tabla 6: Recálculos para la clasificación según Folk et al. (1970).

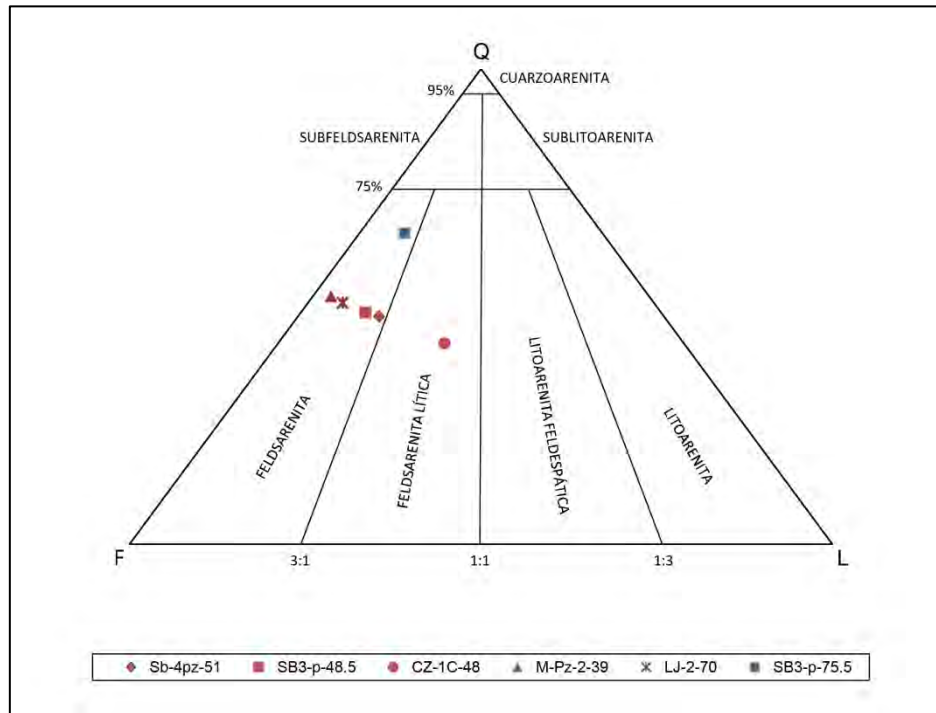


Figura 24: Clasificación según Folk et al. (1970).

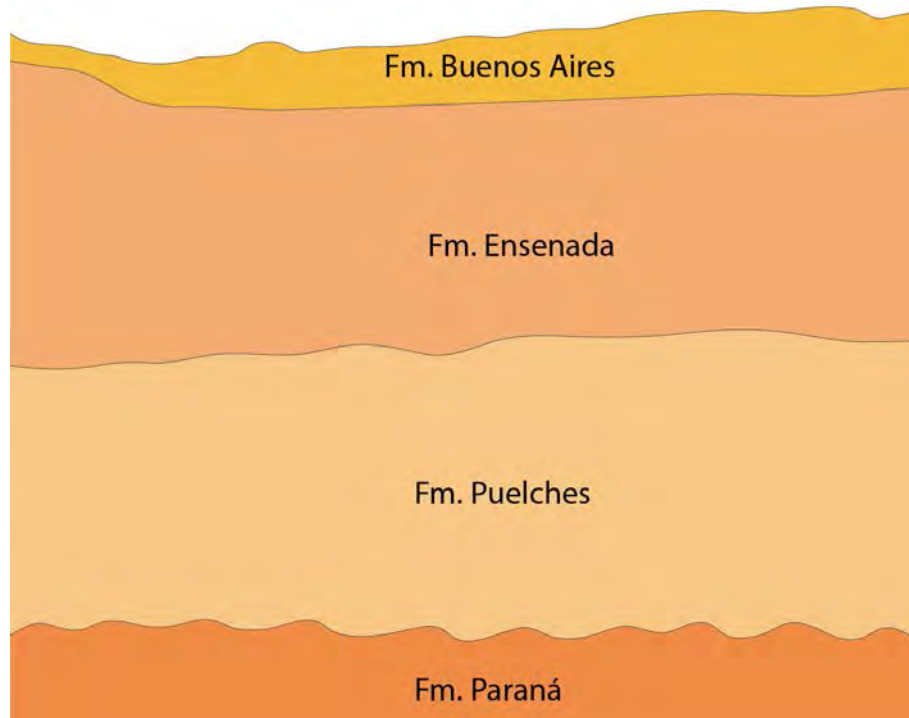
Del análisis composicional de las arenas de las Formaciones Puelches y Paraná se pone de manifiesto la mayor abundancia del cuarzo monocristalino sobre otros componentes, el predominio del feldespato potásico sobre los calcosódicos y de los feldespatos totales sobre los fragmentos líticos.

Esto es determinante para decir que se está frente a un panorama muy diferente del propuesto por Santa Cruz (1972), quien describiera las arenas de la Formación Puelches con una composición de alrededor del 90% de cuarzo del total de los minerales presentes. Como se mencionara, en las muestras estudiadas, provenientes de esta formación, el porcentaje de cuarzo monocristalino apenas supera el 50% del total de granos.

#### 7.4 Perfiles litoestratigráficos característicos

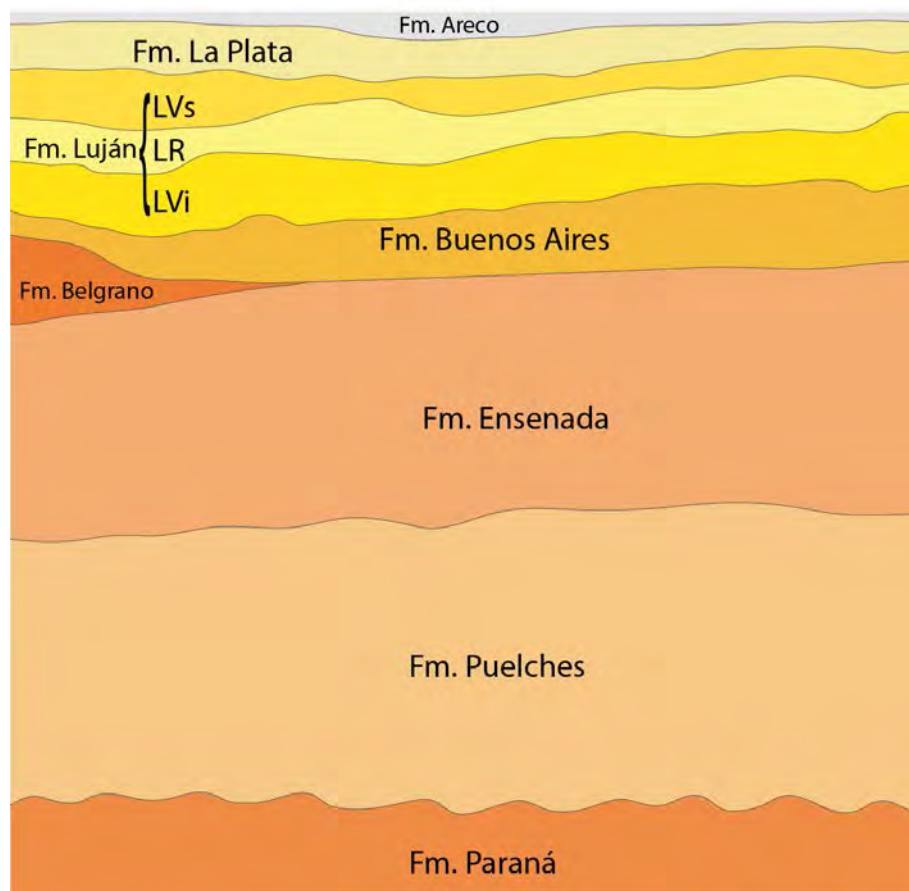
En base a los análisis expuestos anteriormente y teniendo en cuenta la geología general de la cuenca se presentan tres situaciones posibles en cuanto a la estratigrafía de la zona:

- a) Cuenca alta: sobre la Formación Puelches se presentan los Sedimentos Pampeanos en contacto transicional, el perfil termina con la Formación Buenos Aires que se encuentra aflorando (Figura 25).



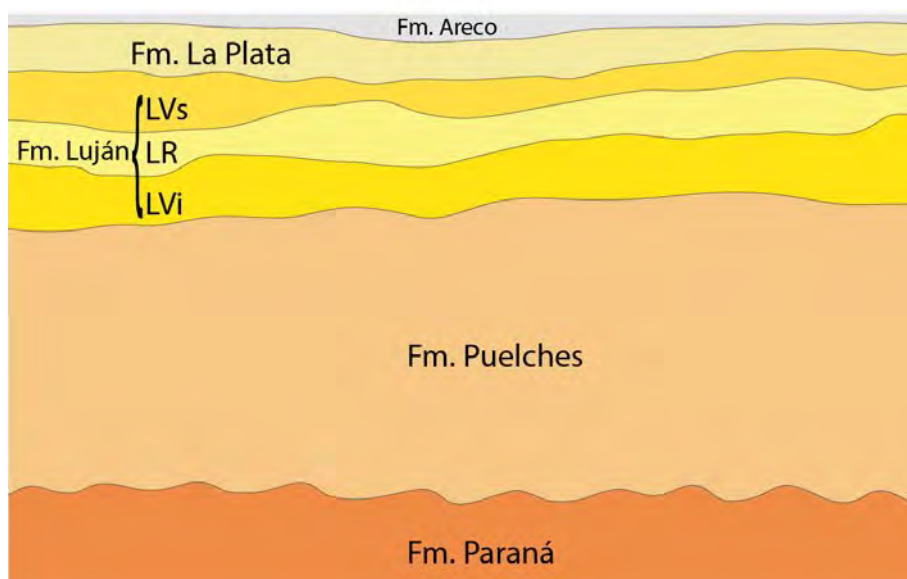
*Figura 25: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca alta.*

- b) Cuenca media y baja: en las zonas bajas donde se encuentra el relleno de los valles se encuentra un perfil representativo “completo”, ya que sobre la secuencia anterior se hallan los Sedimentos Postpampeanos (Figura 26).



*Figura 26: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca media.*

- c) Cuenca baja: sobre las arenas puelches se ha depositado directamente el postpampeano, el pampeano está ausente por erosión o no depositación (Figura 27).



*Figura 27: Esquema representando un corte transversal en la zona de la cuenca baja.*

Cada una de estas configuraciones está representada en los perfiles confeccionados a partir de datos de pozos en cada uno de los sectores mencionados.

Los pozos seleccionados para realizar las interpretaciones de estos perfiles detallados son:

- CK-2: ubicado en Carlos Keen a una cota de 38 msnm (perfil de cuenca alta).
- Sb4-pz: ubicado en el barrio Santa Bárbara, a 1.28 msnm (perfil de cuenca media).
- SL/P-1E: ubicado en San Luis, a 1.5 msnm (perfil de cuenca baja).

Los tres perfiles pueden consultarse en el Anexo II.

### 7.5 Mapa geológico

En función del reconocimiento de unidades realizado en campo, la información expuesta en este capítulo, y de la bibliografía consultada, se confeccionó un mapa geológico para la cuenca del río Luján (Figura 30).



*Figura 28: Formación Luján verde superior, barranca en Escobar.*

Como se mencionara no hay afloramientos en la zona de estudio, esto sumado a la presencia de vegetación hace difícil el reconocimiento geológico. Sin embargo pudieron observarse algunos perfiles parciales en zonas de la cuenca baja como Escobar y Los Cardales. Se reconocieron algunos afloramientos pampeanos, y postpampeanos.



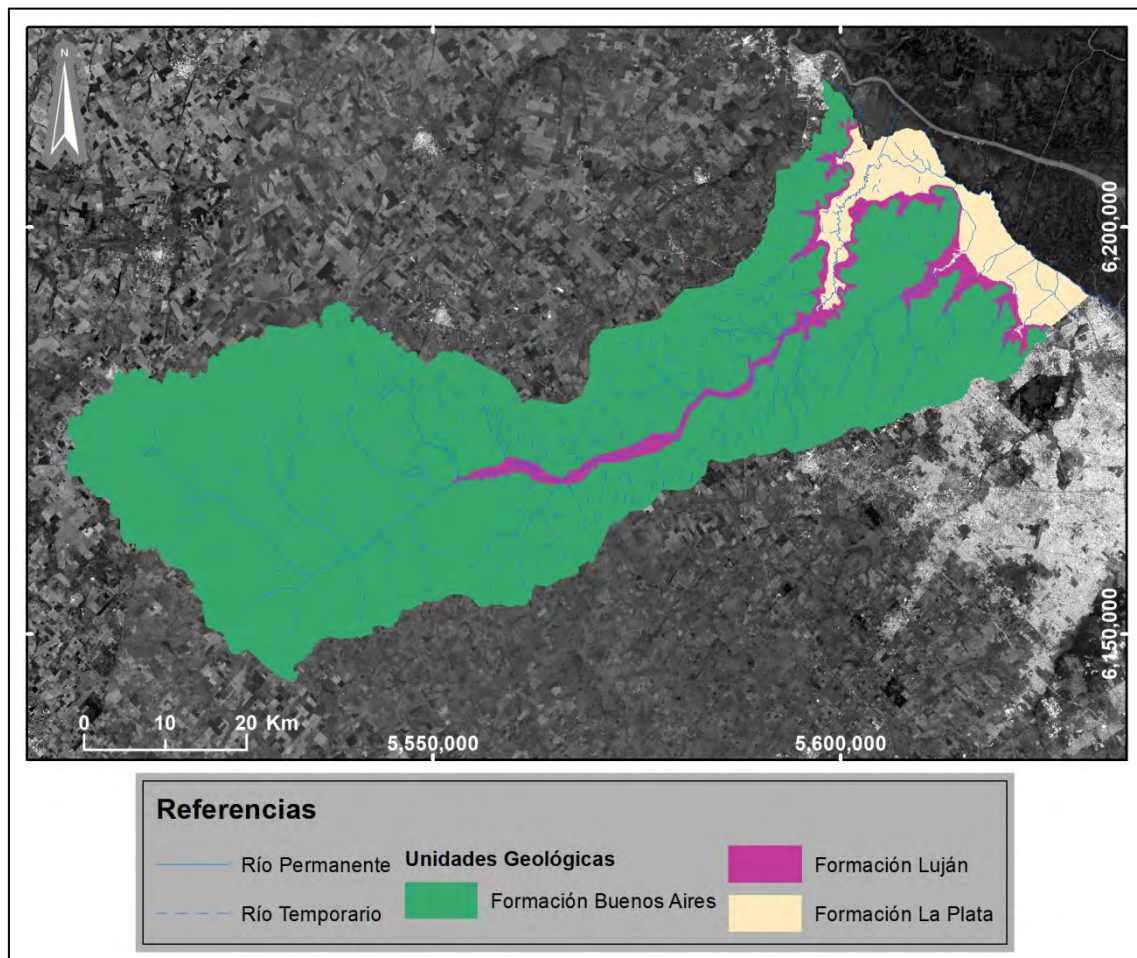
*Figura 29: Depósitos fluviales de la Formación Platense en Los Cardales (izq). Y depósitos de cordones litorales, fase regresiva de la Formación La Plata, en Escobar (der).*

Se tuvo en cuenta el mapa geológico de la provincia de Buenos Aires realizado por Rimoldi *et al.* (1999) en escala 1:1.000.000, donde los sedimentos mapeados en los interfluvios son considerados parte de la Formación Buenos Aires. Mientras que la Formación Luján se extiende por el valle del río homónimo hasta la localidad de Mercedes.



Por otro lado, se tuvieron en cuenta los datos de aquellos pozos que contaran con información litológica, ajustándose en base a esto los límites formacionales en superficie.

Para la determinación de la extensión de la Formación La Plata (en el sentido de Toledo, 2011), se tuvo en cuenta la topografía, siguiendo la cota de 5 msnm y de allí hacia las zonas más bajas de la cuenca hasta su desembocadura.



*Figura 30: Mapa geológico de la Cuenca del río Luján.*

## Capítulo 8 – Hidrogeología del área de estudio

### 8.1 Generalidades

Considerando que los acuíferos son la principal fuente de agua potable para la mayor parte de la zona del Conurbano Bonaerense, sería correcto pensar que la cantidad de información a la que se podría acceder a partir de los informes realizados como fin último y accesorio de la confección de cada pozo de explotación del recurso debería ser inagotable. Sin embargo, a lo largo de la exhaustiva búsqueda de información realizada específicamente para este trabajo, ha sido muy difícil encontrar informes o al menos datos dispersos relacionados a los cientos de pozos que se encuentran en la cuenca del río Luján.

Como resultado de la búsqueda y recolección de datos se obtuvo un total de 74 informes de pozos. De los cuales, 28 pozos atraviesan el acuífero Pampeano, 39 el Puelches, 6 el Postpampeano y uno llegó a la Formación Paraná. A pesar de que en forma independiente, para cada acuífero, la distribución de los datos resulta heterogénea y no llegan a cubrir toda la cuenca por separado, en conjunto puede hallarse una distribución relativamente homogénea. Por lo tanto, y dadas las características de los acuíferos que son objeto de estudio, se tomarán los datos en conjunto y se estudiará la Sección Epiparaneana como Acuífero Multiunitario.

El problema, dada la disparidad de fechas de los informes hallados, hizo necesario determinar un método de normalización para luego realizar un procesamiento y poder entonces crear una piezometría consistente para toda la cuenca. En este estudio, por normalización se entiende el método mediante el cual los valores de niveles estáticos obtenidos en diversos años pueden ser procesados bajo un mismo criterio, ajustándolos en base a la media aritmética para toda la serie temporal de las precipitaciones acumuladas.

Para ello se buscaron datos de series temporales de piezometría y precipitación. Ya que esta última es la única fuente de alimentación de los acuíferos en estas zonas de llanura, por lo que se decidió intentar correlacionar series temporales existentes. De este modo se intentó replicar el método utilizado por Santa Cruz *et al.* (2004) para los estudios realizados en el marco de la confección de la Hoja Hidrogeológica Nº 14 río Quequén.

Se consiguieron datos de piezometría de un pozo de observación en Ezeiza de los períodos 1957 a 1960 y 1963 a 1965. Por otro lado se obtuvieron del SMN datos de precipitaciones acumuladas de la estación meteorológica de la misma localidad, que comenzó sus registros en 1956. La elección de la estación meteorológica en Ezeiza, a pesar de encontrarse fuera de la cuenca, se debió a que fue la única localidad de la cual se encontró una serie temporal de datos de piezometría.

## 8.2 Caracterización del régimen de precipitaciones de la cuenca

En función de realizar una caracterización de las precipitaciones de la zona se utilizaron los datos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Ezeiza (SMN), que como se mencionara anteriormente, fue elegida por haberse hallado información de varios años consecutivos de niveles piezométricos para esa localidad. Por otro lado, para realizar una comparación se utilizaron datos de la estación INTA-Delta, ubicada en el Delta del río Paraná.

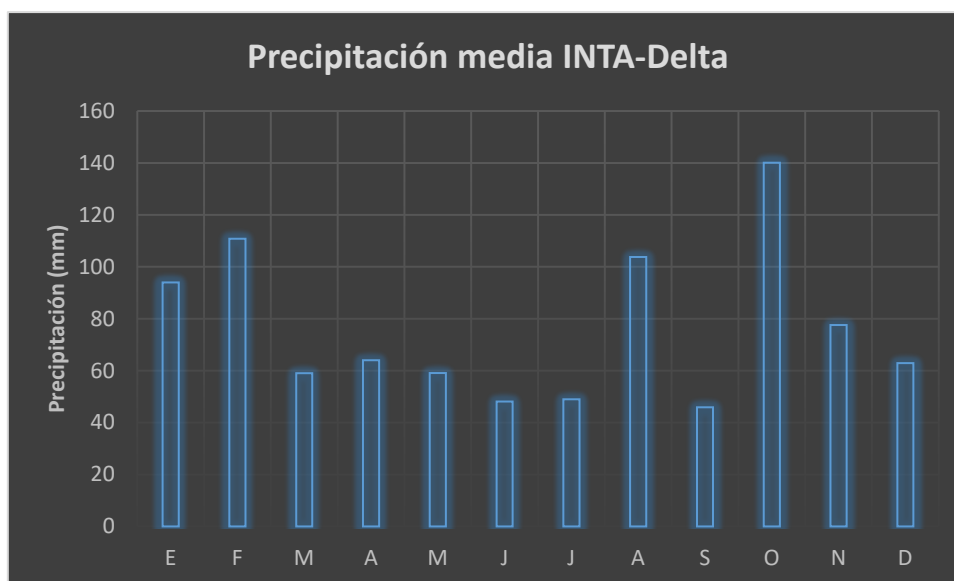
Se contó con una serie temporal de 5 años, de 2011 a 2015 provistos por el INTA para su estación del delta y por otro lado con los datos provistos por el SMN para su estación de Ezeiza, que conforma un rango de registro que va desde 1956 a la actualidad. Con esos datos se calcularon las precipitaciones medias mensuales que pueden observarse en la Tabla 7.



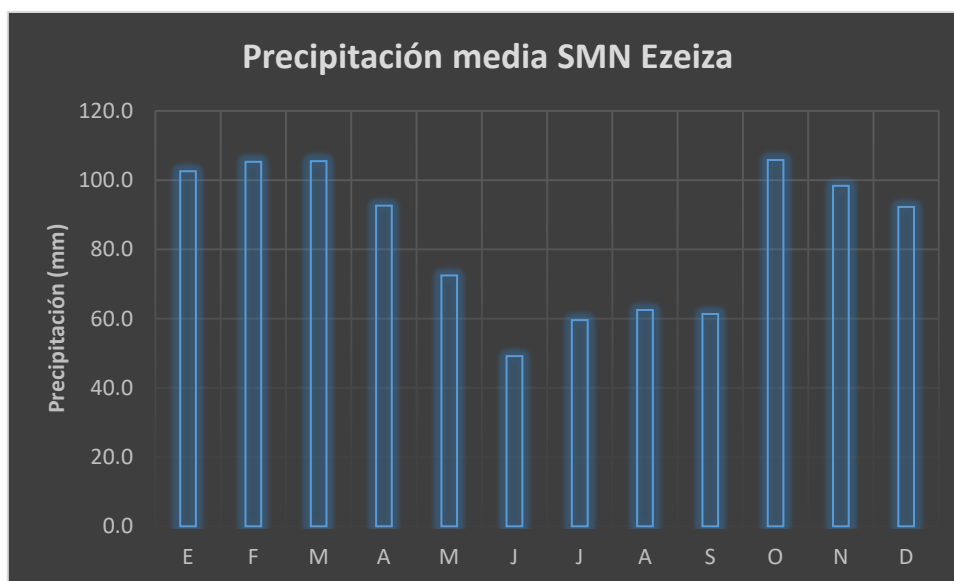
Mes	Pp media INTA-Delta (mm)	Pp media SMN Ezeiza (mm)
Enero	94	102.6
Febrero	110.8	105.3
Marzo	59	105.5
Abril	64	92.6
Mayo	59.1	72.5
Junio	48.1	49.2
Julio	49	59.6
Agosto	103.8	62.5
Septiembre	45.9	61.3
Octubre	140.1	105.8
Noviembre	77.6	98.4
Diciembre	62.9	92.3

*Tabla 7: Precipitaciones medias mensuales, estación meteorológica INTA-Delta (años 2011 a 2015) y estación SMN Ezeiza (1956 a 2017).*

Estas mismas medias calculadas pueden observarse en los gráficos que se presentan a continuación (Figura 31 y Figura 32).



*Figura 31: Precipitaciones medias mensuales en mm, estación INTA-Delta (años 2011 a 2015).*



*Figura 32: Precipitaciones medias mensuales en mm, estación SMN Ezeiza (años 1956 a 2017).*

De acuerdo a estos datos de precipitaciones medias se observa un pico máximo en octubre de 140 mm y mínimos de 45 y 48 mm en Septiembre y Junio para la estación INTA-Delta. Mientras que para la estación Ezeiza se presentan máximos de 105 mm en Febrero, Marzo y Octubre y mínimos de 49 y 59 mm en Junio y Julio.

Finalmente, según datos del INTA y el Servicio Meteorológico Nacional, utilizando las series temporales mencionadas, se calculan precipitaciones medias anuales que oscilan entre 900 y 1020mm por año. Para los cálculos de los parámetros hidrogeológicos se utilizó la media anual de la estación Ezeiza, de 1020 mm.

### 8.3 Calculo de variables hidrogeológicas

Para el análisis de los datos en conjunto se intentaron correlacionar ambas series temporales, tanto con los valores diarios como con las medias mensuales. No habiéndose logrado una correlación satisfactoria se procedió a implementar un segundo método, el cálculo del porcentaje de infiltración teniendo en cuenta los valores de las medias mensuales utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Inf = \frac{\Delta Pz \cdot S_p}{Pp_{acum}} \cdot 100$$

Donde:

$\%Inf$ : porcentaje de infiltración

$\Delta Pz$ : variación de los valores medios mensuales de piezometría

$S_p$ : índice de almacenamiento

$Pp_{acum}$ : precipitación acumulada media mensual

Según esta ecuación se obtiene que el 3.05% del agua de lluvia pasa como recarga al acuífero.

En base al índice de infiltración obtenido se puede calcular un nivel estático normalizado para cada pozo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$NE_n = \frac{(Pp_a - \overline{Pp}) \cdot (\%Inf \cdot 100)}{S_p} + NE_a$$

Donde:

$NE_n$ : nivel estático normalizado

$Pp_a$ : precipitación promedio del año en que se tomó el dato

$Pp$ : promedio histórico de precipitaciones

$\%Inf$ : porcentaje de infiltración

$S_p$ : índice de almacenamiento

$NE_a$ : nivel estático dato

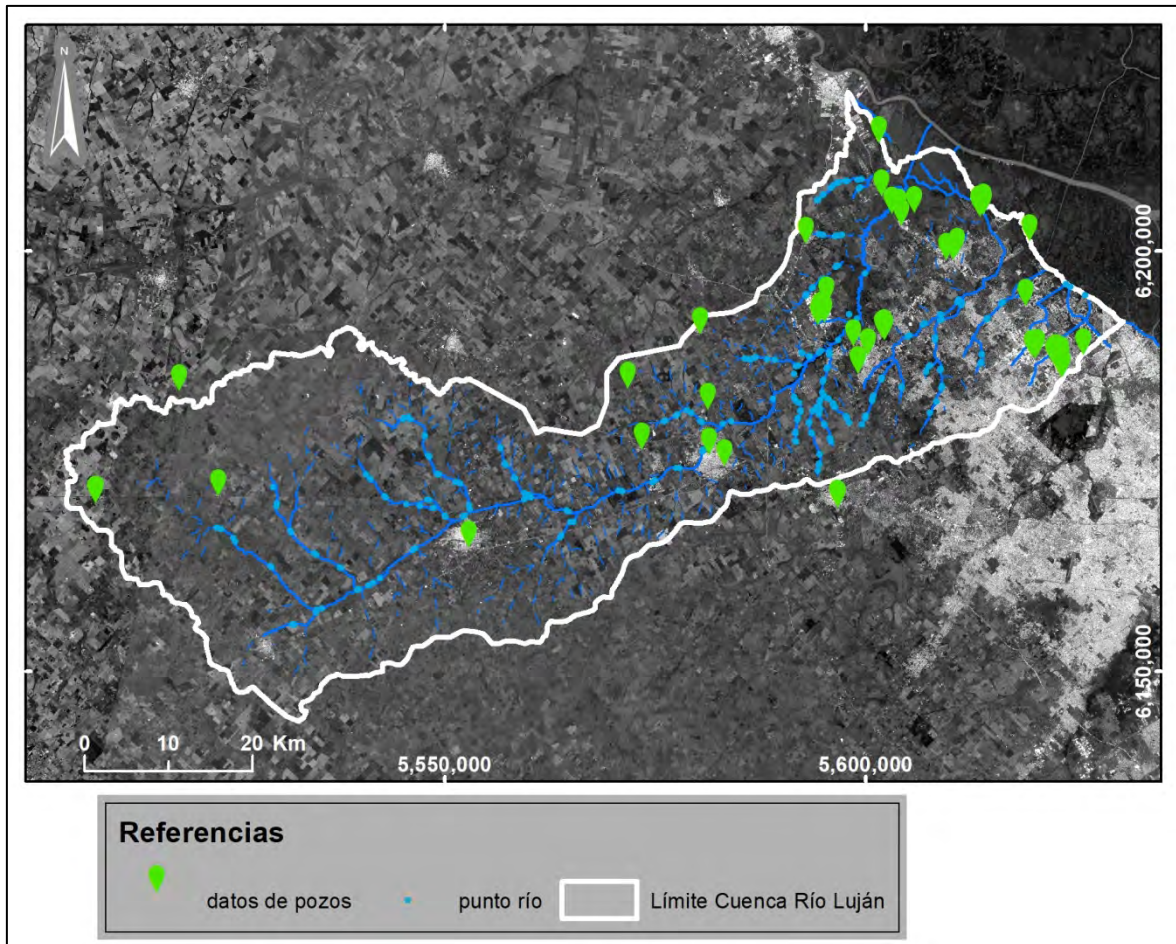
Como en los informes hallados se detallaba en cada caso a qué acuífero correspondían los datos, se utilizó la misma fórmula para todos los casos pero teniendo en cuenta los índices de almacenamiento de cada acuífero en particular. Siendo:

- Almacenamiento Pampeano: 0.021
- Almacenamiento Puelche: 0.0019
- Almacenamiento Post Pampeano: 0.0106

(Silva Busso *et al.*, 2003).

Además para el Puelche se aplicó otro factor de recarga, ya que este acuífero recibe la recarga en forma indirecta por ser semiconfinado, lo cual significa que el agua que infiltra atraviesa primero los acuíferos suprayacentes. Según Valdés *et al.* (2018) la recarga neta para el Acuífero Puelches es de 1.08% de las precipitaciones.

Por otro lado y como apoyo a los datos obtenidos de piezometría normalizada se identificaron los puntos donde la red fluvial intersecta con las curvas de nivel, que se interpretan como sitios donde la freática se encuentra aflorante, y por lo tanto adopta el valor de la cota.

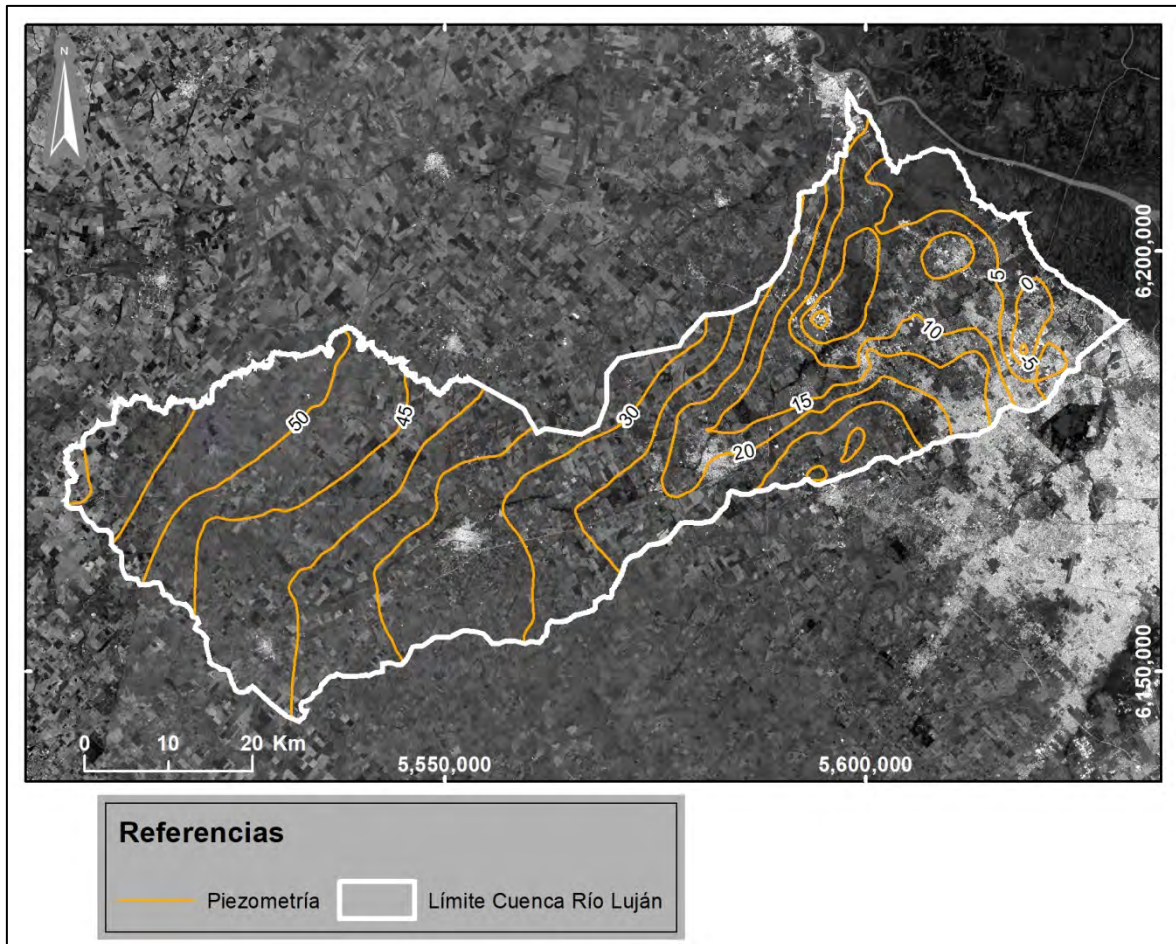


*Figura 33: Ubicación de los datos de pozo hallados y puntos de intersección de los cursos de agua con las curvas de nivel (punto río).*

Como puede verse en la Figura 33, algunas zonas, sobre todo en la cuenca alta, no llegaban a ser cubiertas por los datos obtenidos de los informes de pozos. Al sumar los puntos de intersección del río y arroyos se logra una mayor cobertura de la cuenca.

También se seleccionaron los puntos de intersección entre los cursos de agua y las curvas de nivel. Se descartaron aquellos correspondientes a arroyos rectificadas o inmersos en las zonas más urbanizadas, sobre todo en el este de la cuenca baja. Así se evitaban datos falaces, que reflejaran la manipulación antrópica.

Se generó entonces una capa de puntos georreferenciados constituida por los datos de los pozos hallados y los puntos de intersección de los cursos fluviales con la topografía. En base a esta capa se realizó una interpolación utilizando el método kriging para generar la superficie piezométrica normalizada.



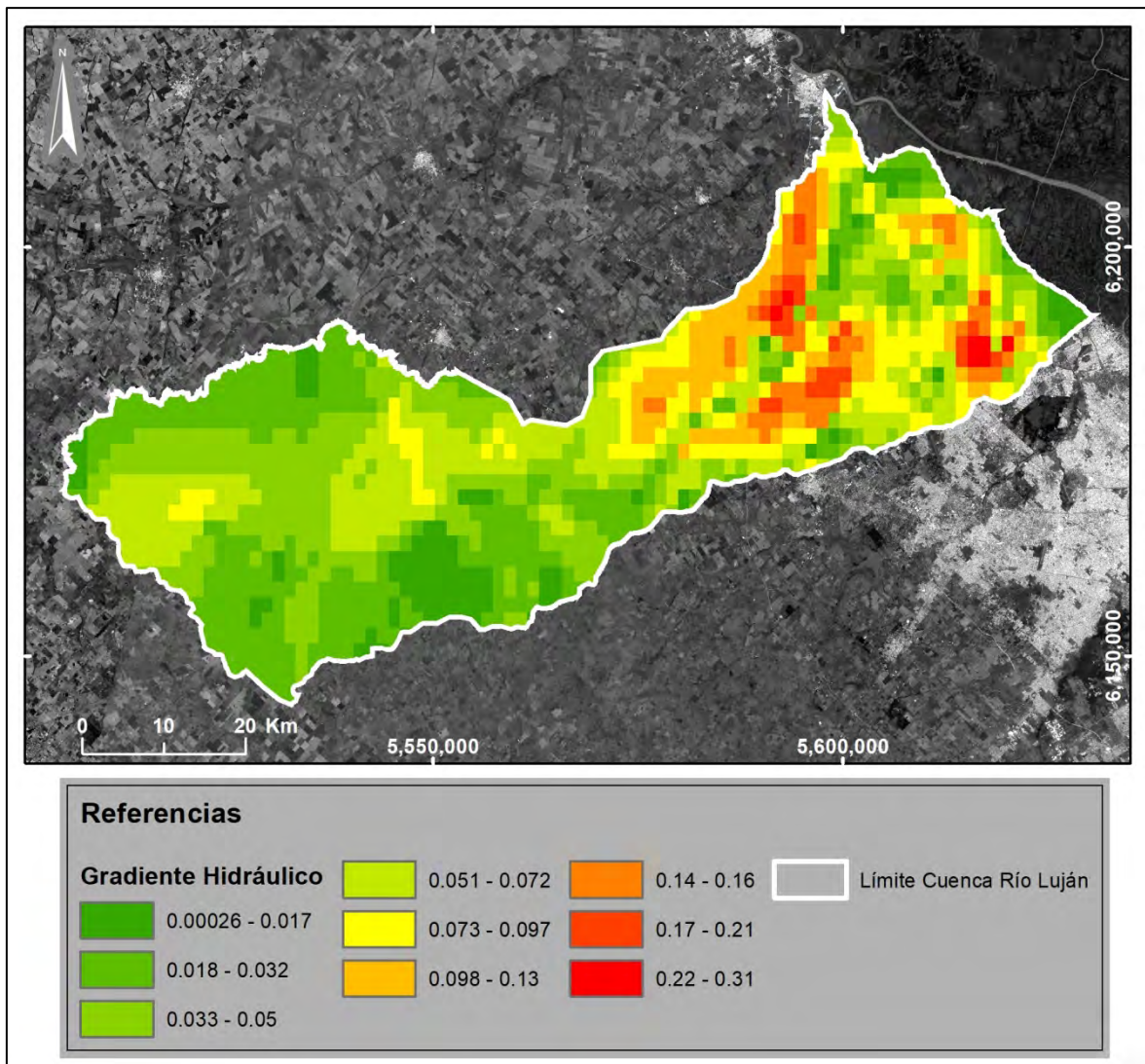
*Figura 34: Mapa Piezométrico de la Cuenca del río Luján para la Sección Epiparaneana.*

Al observar la piezometría (Figura 34) se evidencia un descenso del nivel hacia la cuenca baja. Desde el oeste los valores comienzan a descender hacia el este y luego tuercen al noreste hacia la desembocadura. Es notorio, sin embargo, el cono de depresión con centro en el Parque Industrial de Pilar. Esta depresión de la piezometría ya había sido monitoreada por Molina (2010) en su análisis del impacto sobre las aguas subterráneas ejercido por las extracciones realizadas por las industrias allí instaladas. Por otro lado, también es notorio el cono producido en el sector noreste, en la zona de General Pacheco y Tigre, la más urbanizada de toda la cuenca.

En base a esta superficie piezométrica, y utilizando herramientas de análisis espacial, se generó una capa de gradiente hidráulico (Figura 35), que representa el grado de variación en la piezometría. Esto da cuenta de una importante propiedad del flujo dentro del acuífero, su velocidad. A mayor gradiente hidráulico, mayor será la



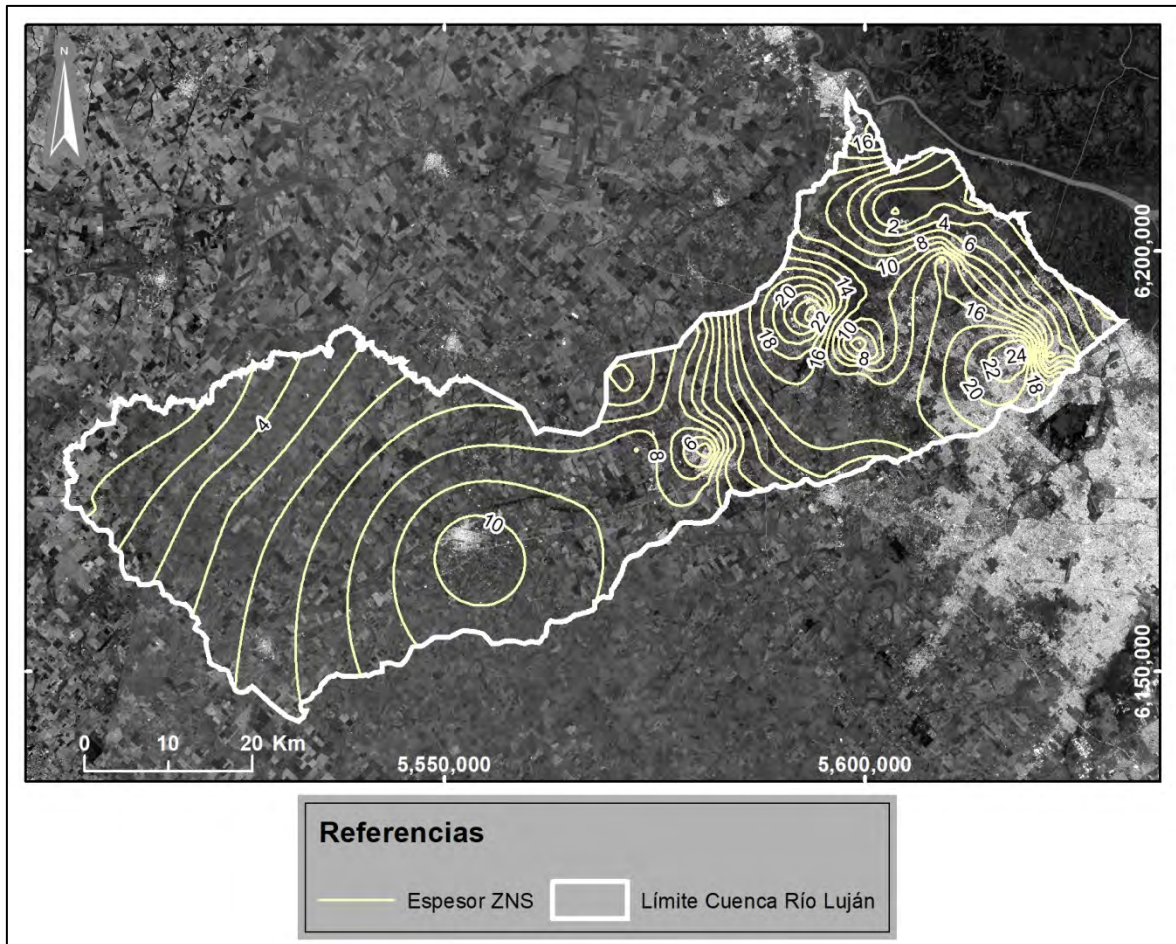
velocidad del flujo. Se observa la coincidencia de las zonas de mayor gradiente hidráulico con los sectores donde se hallan las depresiones en la piezometría.



*Figura 35: Mapa de Gradiente Hidráulico.*

Por otro lado, con los datos de los niveles estáticos normalizados y las cotas en cada pozo se generó a través de interpolación con método kriging, la superficie correspondiente a la profundidad de la freática, lo que es equivalente al espesor de la zona no saturada (*espZNS*), considerando que:

$$espZNS = cota - NE_n$$



*Figura 36: Mapa de espesor de la Zona no Saturada (ZNS).*

En el mapa de espesor de la Zona no Saturada (Figura 36) se reiteran las anomalías antedichas. En general, todos los parámetros aquí calculados y representados en los mapas, muestran cierto comportamiento regional que fluctúa en forma gradual desde el oeste hacia el este, casi atravesando el eje de la cuenca, y en todos los casos ese comportamiento se ve disturbado llegando a la zona de la cuenca baja, la de mayor impacto antrópico.

#### 8.4 Hidroestratigrafía e hidroquímica

Mediante el análisis realizado se verificó la hidroestratigrafía propuesta por Santa Cruz y Silva Busso (1999). En total se contó con 50 pozos dispersos en toda el área de estudio que contaran con datos de litología. En base a ellos se pudo ajustar



también la geología como se explicara en el capítulo anterior. Además algunos de esos pozos contaban con información de hidroquímica.

Los datos de hidroquímica hallados se utilizaron para hacer una breve caracterización de cada acuífero, aunque en algunos casos sólo se cuenta con uno o muy pocos datos. Por ejemplo en el Acuífero Postpampeano los datos de química de aguas reflejan lo siguiente: temperatura promedio de 15.89 °C, con mínima de 12 °C y máxima de 22 °C; pH promedio de 8, con mínimo de 7.1 y máximo de 8.62; la conductividad media es de 2752.25 µS/cm, con mínima de 90 µS/cm y máxima de 6920 µS/cm. Para el Acuífero Pampeano se cuenta con datos que reflejan también la hidroquímica. La temperatura promedio es de 18.63 °C, con mínima de 16.5 °C y máxima de 21.8 °C. El pH medio es de 7.56, con mínimo de 7.05 y máximo de 8.3. La conductividad media es de 1940.47 µS/cm, con mínima de 790 µS/cm y máxima de 7430 µS/cm. El TDS promedio es de 1266.17 mg/l, con mínimo de 443 mg/l y máximo de 4750 mg/l. El Acuífero Puelches cuenta con los siguientes parámetros: temperatura media de 18.82 °C, con mínima de 18.4 °C y máxima de 20.1 °C; pH promedio de 7.82, mínimo de 7.2 y máximo de 8.39; conductividad media de 3114.5 µS/cm, con mínima de 604 µS/cm y máxima de 15150 µS/cm y TDS promedio de 1731.61 mg/l, con mínimo de 386.5 mg/l y máximo de 8000 mg/l. Además para este acuífero se hallaron dos datos de almacenamiento, de 0.0019 y 0.0032. También se obtuvieron datos de transmisividad, dando en promedio 242.85 m<sup>2</sup>/d, con mínima de 66.89 m<sup>2</sup>/d y máxima de 435 m<sup>2</sup>/d. Por último, del Acuífero Paraná se cuenta con datos de química sólo de un pozo, según el cual la temperatura de sus aguas es de 14.3 °C, su pH es 8.54, conductividad de 4990 µS/cm y TDS 2600 mg/l.

La base de datos geológica e hidrogeológica que se confeccionó, conformó el punto de partida para los procesamientos posteriores. En este caso se utilizó también para confeccionar un diseño 3D utilizando un software de modelamiento implícito, del cual se obtuvieron además cortes transversales 2D. Puede observarse en el Anexo III la estratigrafía del área.

### 8.5 Mapa hidrogeológico

Sobre la base del mapeo geológico (capítulo 7) y los datos expuestos en el presente capítulo se realizó un mapa hidrogeológico que puede observarse en el Anexo IV.

Los límites de las unidades geológicas aflorantes se utilizaron para marcar las unidades acuíferas que albergan. La Formación Buenos Aires se corresponde entonces con el Acuífero Pampeano (celeste oscuro). Por otro lado la Formación Luján se comporta como acuícludo (castaño oscuro). Otro es el caso del área mapeada como Formación la Plata, ya que al usarse la propuesta de Toledo (2011) quedan allí reunidos depósitos dispares en cuanto a su granulometría y a su comportamiento hidrogeológico, por un lado los depósitos de grano más fino, arcillosos y limosos se comportarían como acuícludos, mientras que los correspondientes a los paleocordones litorales se comportan como acuíferos de buena calidad con permeabilidades moderadas a altas. Como criterio de ha decidido tomar a la unidad como acuífera (celeste claro) para el contexto en el que se representa a toda la cuenca.

Se utilizó además la piezometría calculada en el apartado anterior, a la que se le superpusieron las líneas de flujo indicando el sentido del flujo del agua dentro del acuífero.

## Capítulo 9 – Vulnerabilidad

### 9.1 Conceptos y antecedentes

El término vulnerabilidad en relación a la contaminación de aguas subterráneas fue introducido por Margat (1968). Pero no fue sino hasta 1988 que recibió una definición específica de la mano de Foster e Hirata, según los cuales la vulnerabilidad en este contexto es la probabilidad de que el agua subterránea sea contaminada por actividades humanas. Otros autores que caracterizaron la vulnerabilidad del agua subterránea fueron Haertle (1983), Aller *et al.* (1987), Vrba y Zaporozec (1994), Foster y Skinner (1995), Custodio (1995), entre otros.

La vulnerabilidad entonces depende de las propiedades características del medio, como el tipo de acuífero y su cobertura, la permeabilidad, la litología, tipo de suelo, profundidad del nivel del agua subterránea, el tipo de recarga, la topografía, entre otros factores.

La vulnerabilidad puede ser intrínseca o específica. La intrínseca depende de las propiedades características del medio, de los factores anteriormente mencionados y es una propiedad de cada acuífero. Mientras que la específica implica además el tipo de contaminante en particular.

Existen diversos métodos para evaluar la vulnerabilidad en acuíferos, entre ellos podemos mencionar GOD (Foster, 1987), DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), HCS (Vrba y Zaporozec, 1994), SINTACS (Civita *et al.*, 1990) y EPIK (Doerfliger y Zwahlen, 1998).

El método GOD (por sus siglas en inglés) es uno de los más utilizados para definir valores de vulnerabilidad, fue desarrollado por Foster (1987) y ampliado y redefinido por Foster *et al.* (2002), y consiste en asignar índices entre 0 y 1 a tres variables (Figura 37):

- Tipo de acuífero (Ground water occurrence)
- Litología del sustrato suprayacente (Overall aquifer class)
- Profundidad del nivel del agua subterránea (Depth)

Los valores dados para cada índice se multiplican entre sí, dando un valor entre 0 y 1, mínimo y máximo de vulnerabilidad respectivamente (Foster *et al.*, 2002).

En general el método GOD es de sencilla aplicación, ya que no requiere de muchos parámetros, aunque no tiene en cuenta, como sí lo hacen otros métodos, el tipo de suelo como factor de importancia.

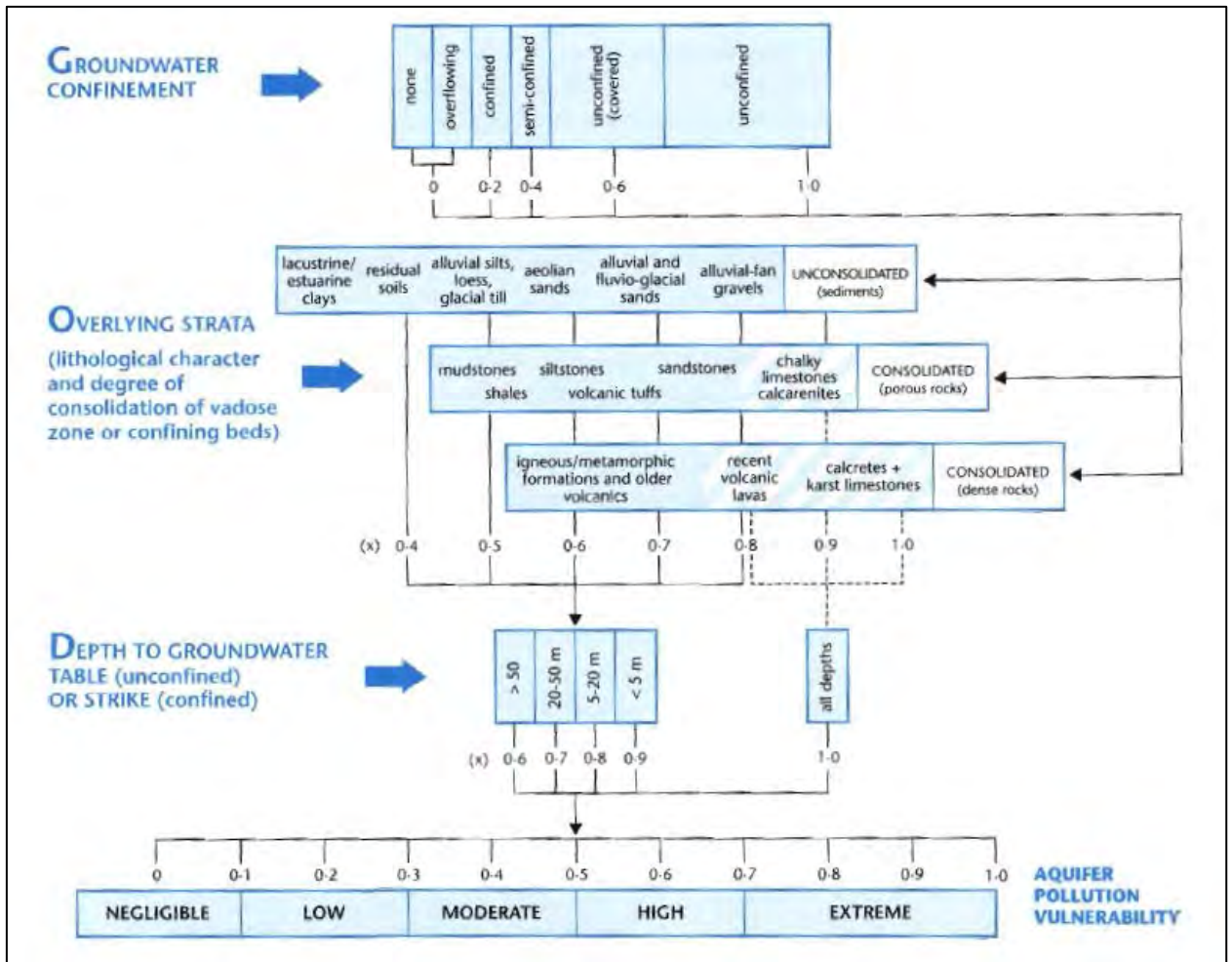


Figura 37: Sistema GOD para la evaluación de la vulnerabilidad de un acuífero (Foster *et al.*, 2002).

Otro método es el DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). Sus siglas en inglés determinan los principales factores que son considerados para realizar el cálculo de la vulnerabilidad:

- Profundidad de la superficie freática (Depth to groundwater)
- Recarga natural (natural Recharge)
- Características del acuífero (Aquifer media)
- Características del suelo (Soil media)
- Topografía (Topography)
- Impacto de la zona no saturada (Impact of vadose zone)
- Conductividad hidráulica (hydraulic Conductivity)

A estos factores principales se les aplica un índice de 1 a 10 para definir el grado de vulnerabilidad, aparte de ser ponderados respecto de su influencia en la vulnerabilidad. Por último los valores del índice de vulnerabilidad quedan fluctuando entre 23 y 230, mínima y máxima respectivamente (Aller *et al.*, 1987). A pesar de parecer un método más consistente que GOD al considerar mayor cantidad de variables, es más difícil de aplicar debido a la disponibilidad de los datos.

Los métodos HCS, siglas de Hidrogeological Complex Setting, de Vrba y Zaporozec (1994), tienen en cuenta los parámetros a elegir para el cálculo de la vulnerabilidad en función de criterios hidrogeológicos que se consideren representativos del área de estudio. Estos métodos son más complejos debido a que para su aplicación es necesario mayor conocimiento de los ambientes hidrogeológicos que se estudian.

Vrba y Zaporozec (1994) destacan como factores de importancia primaria: geomorfología-suelo, espesor de zona no saturada y freaticimetría-gradiente, y como factor de importancia secundaria: recarga-infiltración.

Los otros métodos mencionados, son el SINTACS (Civita *et al.*, 1990), que deriva directamente del DRASTIC. Y el método EPIK (Doerfliger y Zwahlen, 1998), que se desarrolló específicamente para acuífero kársticos.

Es importante aclarar que la vulnerabilidad de un acuífero depende en mayor o menor medida de las variables dinámicas de los sistemas acuíferos, por lo que las evaluaciones son validadas en el momento del estudio y bajo las condiciones hidrogeológicas propuestas para cada caso particular.

## 9.2 Metodología empleada

El objetivo principal de este apartado es llegar a vislumbrar un panorama regional, a nivel de la cuenca del río Luján, de los niveles de vulnerabilidad de la Sección Epiparaneana como Acuífero Multiunitario.

Se considera necesario en este trabajo utilizar un método que se adapte a esta región de llanura, teniendo en cuenta cuáles son los factores naturales que intervienen en la protección del acuífero. Además de utilizar una metodología basada en datos accesibles.

Para el análisis de la vulnerabilidad en este trabajo se aplicará entonces el método SIG-INA, metodología propuesta por Gatti *et al.* (2005), en la cual se tienen en cuenta como factores principales:

- El gradiente hidráulico
- Los tipos de suelos
- El espesor de la zona no saturada

El primer factor, el gradiente hidráulico, es importante para caracterizar la zona saturada, siendo un parámetro que refleja la dinámica del acuífero. Determina el comportamiento del flujo del sistema y da pauta de su velocidad, y por lo tanto del desplazamiento de los posibles contaminantes dentro del acuífero. Gatti *et al.* (2005) consideran más importante y característico este parámetro que el tipo de acuífero, como sugiere el método GOD. A menor gradiente hidráulico, menor es la velocidad de circulación del agua en el acuífero, mayor el tiempo de permanencia del agua en el sustrato y por lo tanto aumentan las posibilidades de atenuación.

El segundo factor según el método GOD es la litología del sustrato suprayacente al acuífero, sin embargo en el área que aquí se estudia el suelo cumple una función más importante y debe ser incluido en el análisis (Vrba y Zaporozec, 1994; Silva Busso *et al.*, 1999; Gatti, 2003). Es por ello que el tipo de suelo es considerado aquí como principal en la evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea, ya que cumple una función fundamental en la atenuación de difusión de contaminantes, retardando su flujo y degradándolos. Algunas características importantes de los suelos son su textura, estructura, espesor y contenido de materia orgánica y minerales de arcilla. Sin embargo, la función del suelo como filtro natural, es frágil. Debe tenerse presente, por lo tanto, si los suelos son naturales o si han sido modificados por alguna actividad antrópica que resulte en su degradación y por lo tanto en la pérdida de control de la calidad del agua subterránea (Gatti *et al.*, 2005).

Por último, el espesor de la zona no saturada es la distancia que separa la superficie topográfica y la superficie freática. Este parámetro depende en gran medida de la capa freática, que suele ser fluctuante, por lo cual es necesario un estudio que considere el menor espesor de la zona no saturada, correspondiente a los valores más altos de la superficie freática en períodos extraordinarios (Gatti, 2003). A mayores espesores de la zona no saturada el agua que se infiltra debe recorrer mayor distancia para alcanzar el acuífero. Por lo tanto a mayor distancia, más tiempo demorará el agua en llegar al acuífero y mayor será la atenuación.

Otro factor de importancia menor, pero que es preciso mencionar, es la infiltración. Se trata de la cantidad de agua que pasa a través de la zona no saturada y llega al acuífero. Las aguas meteóricas que logran infiltrarse, alimentan al acuífero. En el caso de este estudio, tratándose el Luján de un río autóctono de llanura, se entiende que la única fuente de alimentación de los acuíferos en la cuenca es la infiltración de aguas provenientes de precipitaciones directas, como se viera en el capítulo anterior.

Se proseguirá entonces al análisis de cada uno de los factores principales que se tienen en cuenta para el cálculo de la vulnerabilidad.



### El método Natural Breaks (Jenks)

Éste método es el utilizado para realizar las reclasificaciones de las capas raster generadas en todo el proceso de análisis que se expone en este trabajo. Por ese motivo veremos aquí una pequeña reseña del mismo.

Según De Smith *et al.* (2018) las clases de cortes naturales o Natural Breaks (Jenks) se basan en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos. Los cortes naturales son clasificaciones específicas de los datos y no sirven para comparar varios mapas creados a partir de información subyacente distinta.

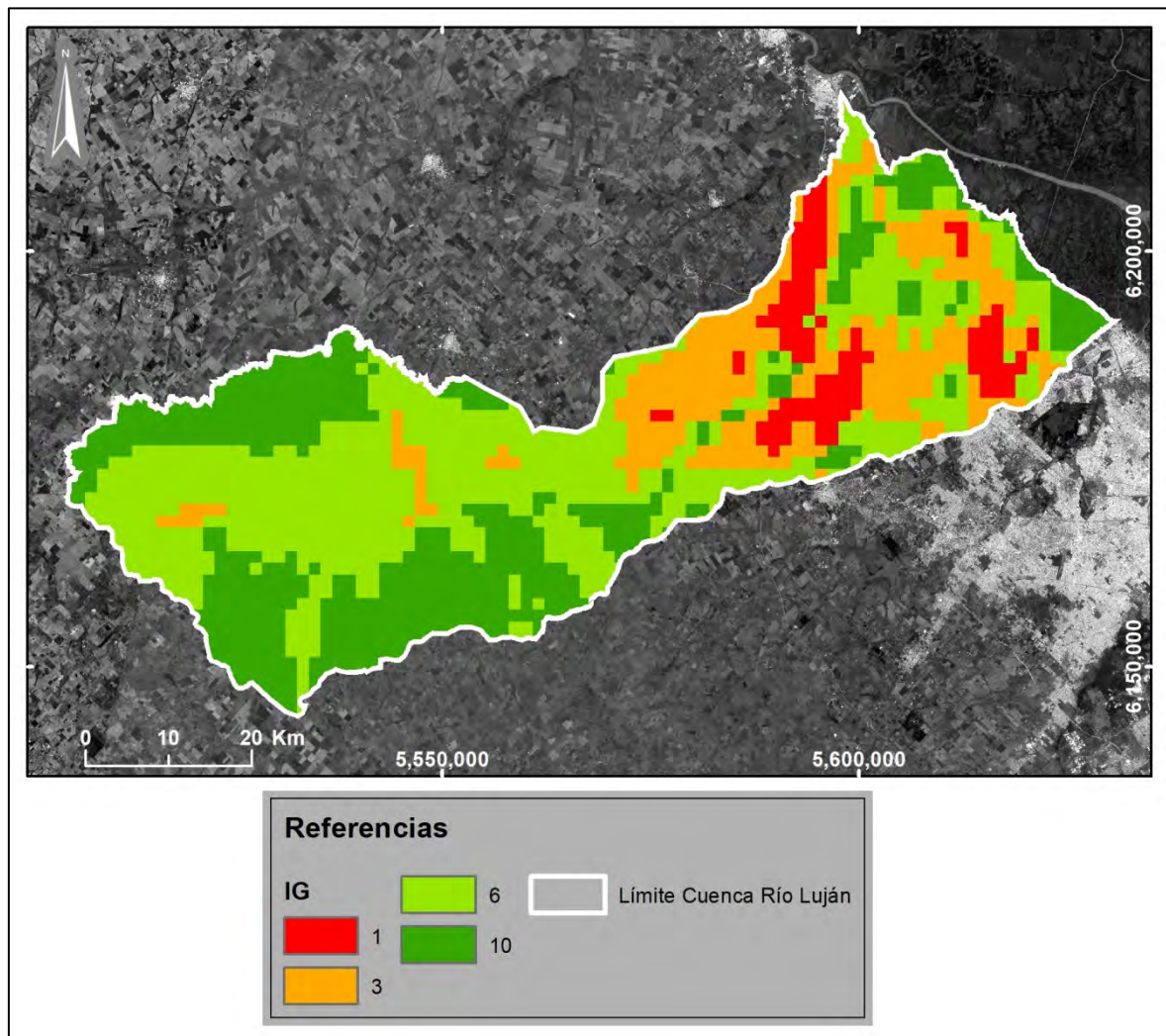
A continuación, se proporciona una breve descripción de cómo es el procesamiento realizado por el algoritmo usado en este método:

- Paso 1: se selecciona el atributo (x) para clasificar y se especifica el número de clases requeridas (k).
- Paso 2: Se genera un conjunto de k-1 valores (aleatorios o uniformes) en el rango  $[\min \{x\}, \max \{x\}]$ . Estos se utilizan inicialmente como límites de las clases.
- Paso 3: Se computa la media para cada clase y se calcula la suma de las desviaciones cuadradas de la media de la muestra. Finalizado esto queda registrada la suma total de desviaciones cuadradas (TSSD).
- Paso 4: Los valores individuales en cada clase se reasignan sistemáticamente a las clases adyacentes ajustando los límites de cada clase para ver si se puede reducir el TSSD. Este es un proceso iterativo que finaliza cuando la mejora en TSSD cae por debajo de un nivel de umbral, es decir, cuando la variación dentro de la clase es lo más pequeña posible y la variación entre clases es lo más grande posible. El método no puede asegurar una máxima optimización.

## Cálculo de índices y subíndices para determinar la vulnerabilidad

### ***El Índice de Gradiente (IG)***

En el capítulo anterior se vieron y desarrollaron los cálculos mediante los cuales se llegó a determinar el mapa de gradiente hidráulico para la Cuenca del río Luján.



*Figura 38: Mapa de Índice de Gradiente.*

Lo que se hizo en este caso, como base para realizar luego el cálculo de Índice de Vulnerabilidad, fue realizar una reclasificación de la capa raster generada para este fin. Los valores arrojados para el gradiente hidráulico dentro de la cuenca van desde  $2.5 \times 10^{-4}$  a  $3.1 \times 10^{-1}$ . Se acomodaron los datos en 4 intervalos mediante el método de clasificación Natural Breaks (Jenks) y a cada uno se le asignó un valor de Índice de

Gradiente (IG), de 1 a 10 de acuerdo a la propuesta de Gatti (2003) (Figura 38). Considerando que a menor gradiente hidráulico, mayor es el tiempo que el agua permanece en el sustrato, aumentando las posibilidades de atenuación, el IG resulta inverso a los valores de gradiente hidráulico, y por lo tanto los intervalos quedan conformados del siguiente modo:

IG = 1: valores de gradiente entre  $1.3 \times 10^{-1}$  y  $3.1 \times 10^{-1}$ .

IG = 3: valores de gradiente entre  $6.9 \times 10^{-2}$  y  $1.3 \times 10^{-1}$ .

IG = 6: valores de gradiente entre  $3.2 \times 10^{-2}$  y  $6.9 \times 10^{-2}$ .

IG = 10: valores de gradiente entre  $2.5 \times 10^{-4}$  y  $3.2 \times 10^{-2}$ .

### ***El Índice de Suelo (IS)***

El Índice de Suelo (IS) se basó en el estudio de Gatti (2003). Según este autor existen 3 características principales que tienen los suelos para la protección del agua subterránea y que son considerados para determinar este índice.

El primer factor es la permeabilidad de los suelos, esto se manifiesta en las propiedades físicas y mecánicas de los horizontes de cada suelo. Depende del espesor de cada horizonte, su relación de arcillas y de la relación de Na de intercambio.

En segundo lugar la capacidad de intercambio catiónico generado por el material arcilloso, que influye en la retención de contaminantes por los suelos. Se calcula teniendo en cuenta el espesor de cada horizonte.

Y tercer y último factor, la cantidad de materia orgánica, que determina la capacidad de los componentes bióticos de cada suelo de degradar contaminantes, vinculado con el espesor del horizonte rico en materia orgánica y su contenido en cada suelo.

De este modo, Gatti (2003) calcula el IS adicionando estos tres factores, dando mayor peso al primer factor, la permeabilidad del suelo, y menos al tercero, la cantidad de materia orgánica. Tiene en cuenta como unidades cartográficas a las que se desprenden del análisis geomorfológico, considerando que contienen distintas asociaciones, consociaciones y complejos edafológicos mencionados anteriormente en el apartado de geomorfología y suelos, por lo que calcula este índice para cada una de ellas y los suelos allí presentes.

El IS se calcula en base a la siguiente ecuación:

- Subíndice de permeabilidad de suelos ( $lk_s$ ):

$$lk_s = E_i \cdot Ar (1 + rNa)$$

Donde:

$lk_s$ : subíndice de permeabilidad en suelos

$E_i$ : espesor del horizonte en cm

$Ar$ : relación de arcilla del horizonte

$rNa$ : relación de sodio de intercambio en el horizonte

- Subíndice de capacidad de intercambio catiónico ( $Icic_s$ ):

$$Icic_s = E_i \cdot CIC$$

Donde:

$Icic_s$ : subíndice de capacidad de intercambio catiónico en suelos

$E_i$ : espesor del horizonte en cm

$CIC$ : capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)

- Subíndice de materia orgánica ( $Imo_s$ ):

$$Imo_s = E_i \cdot MO$$

Donde:

$Imo_s$ : subíndice de materia orgánica en suelos

$E_i$ : espesor del horizonte en cm

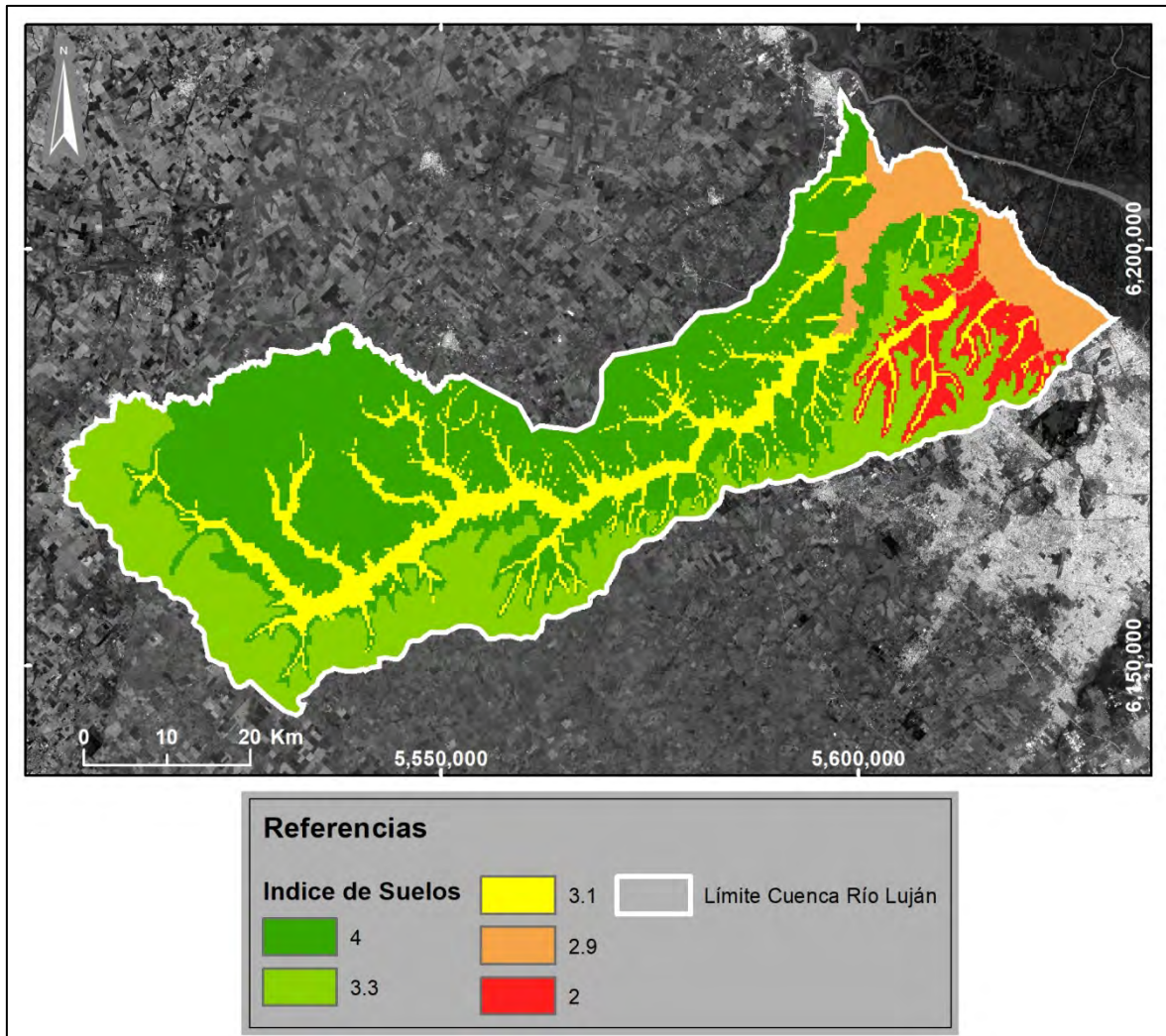
MO: porcentaje de materia orgánica

En general, para cada subíndice, se suman los valores de cada horizonte para cada suelo. Se asigna valor 1 al suelo que tenga mayor subíndice y a partir de ese los demás suelos toman valores proporcionales (Gatti, 2003).

Finalmente, para la obtención del IS se combinan los tres subíndices de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IS = 6lk_s + 3lcic_s + Imo_s$$

Por lo cual los valores según unidad geomorfológica y tipo de suelo quedan como puede verse en el mapa de la Figura 39.



*Figura 39: Mapa de Índice de Suelo.*

Para poder utilizar esta información como índice para el cálculo de la vulnerabilidad se rasterizó la capa vectorial generada a partir del análisis de suelos, dándole a cada pixel el valor de Índice de suelo calculado correspondiente.

### ***El Índice de la Zona no Saturada (IZNS)***

Otra de las propiedades que se calculó en el capítulo anterior es el espesor de la zona no saturada, en función de la superficie freática calculada y la superficie topográfica.

En la Figura 40 puede verse la capa final de IZNS confeccionada en base a la capa de espesor de la zona no saturada, reclasificada mediante el método Natural Breaks (Jenks). Los valores calculados en base a la reclasificación, de acuerdo a los intervalos de 1 a 10 propuestos por Gatti (2003) son los siguientes:

IZNS = 1: valores de espesor hasta 1.96m

IZNS = 2: valores de espesor entre 1.96m y 4.03m

IZNS = 3: valores de espesor entre 4.03m y 5.88m

IZNS = 4: valores de espesor entre 5.88m y 7.41m

IZNS = 5: valores de espesor entre 7.41m y 9.04m

IZNS = 6: valores de espesor entre 9.04m y 11.11m

IZNS = 7: valores de espesor entre 11.11m y 13.51m

IZNS = 8: valores de espesor entre 13.51m y 16.12m

IZNS = 9: valores de espesor entre 16.12m y 19.72m

IZNS = 10: valores de espesor entre 19.72m y 27.12m



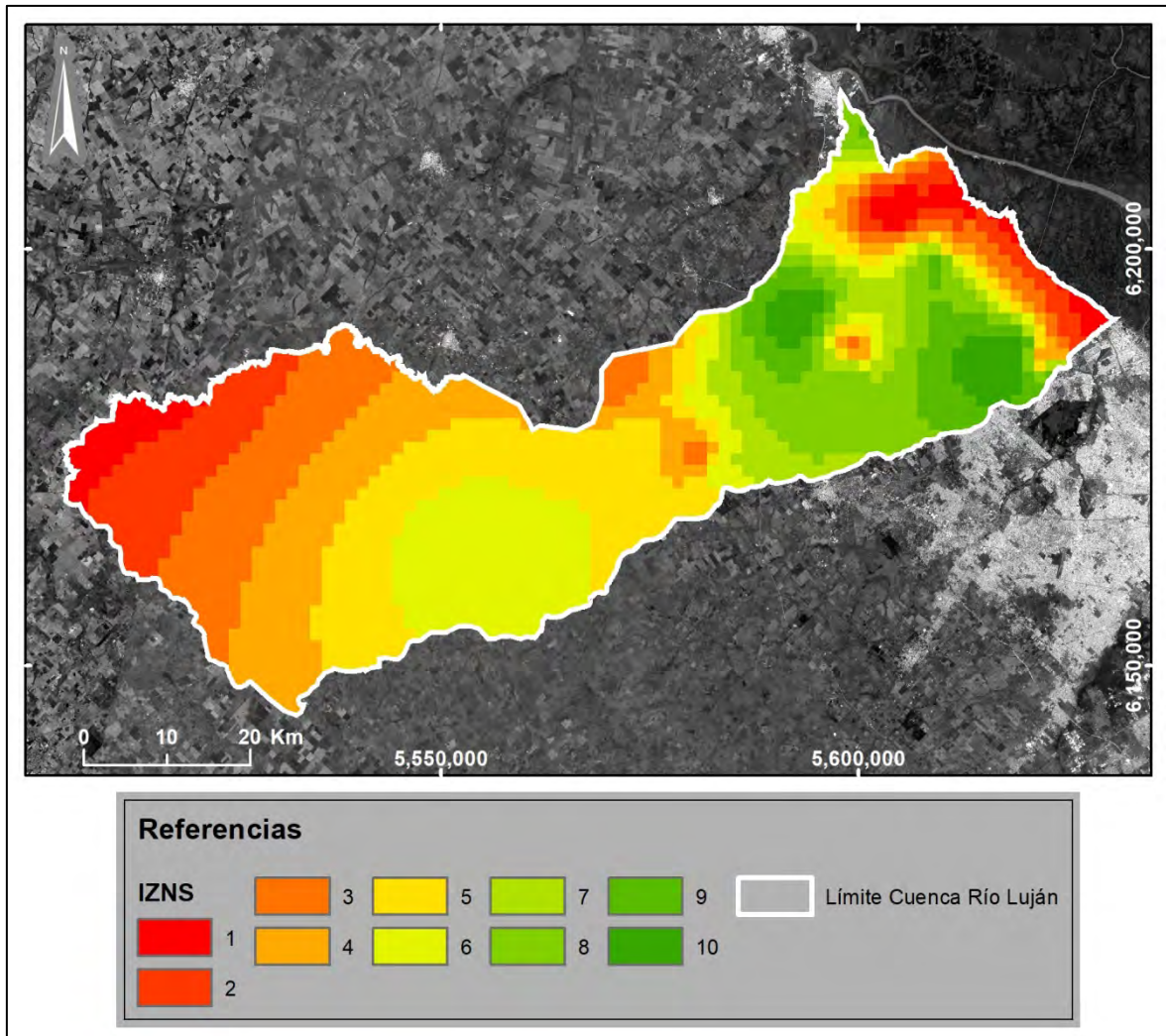


Figura 40: Mapa de Índice de Zona no Saturada (IZNS).

### El Índice de Vulnerabilidad (IV)

En base a los tres índices calculados y explicados anteriormente se calcula el Índice de Vulnerabilidad (IV) aplicando la siguiente ecuación (Gatti *et al.*, 2005):

$$IV = IG + IS + IZNS$$

Se realizó entonces esta suma con una calculadora raster, a partir de la cual se generó otra capa cuya matriz de valores queda comprendida en el intervalo 6.9 – 23, que representan el Índice de Vulnerabilidad en cada punto. Debe tenerse en cuenta

que la escala indica que a mayor valor de IV menor es el grado de vulnerabilidad, y por lo tanto, al dividir en 5 clases, la escala de valores queda del siguiente modo:

Vulnerabilidad Muy alta: IV de 6.9 a 10.31

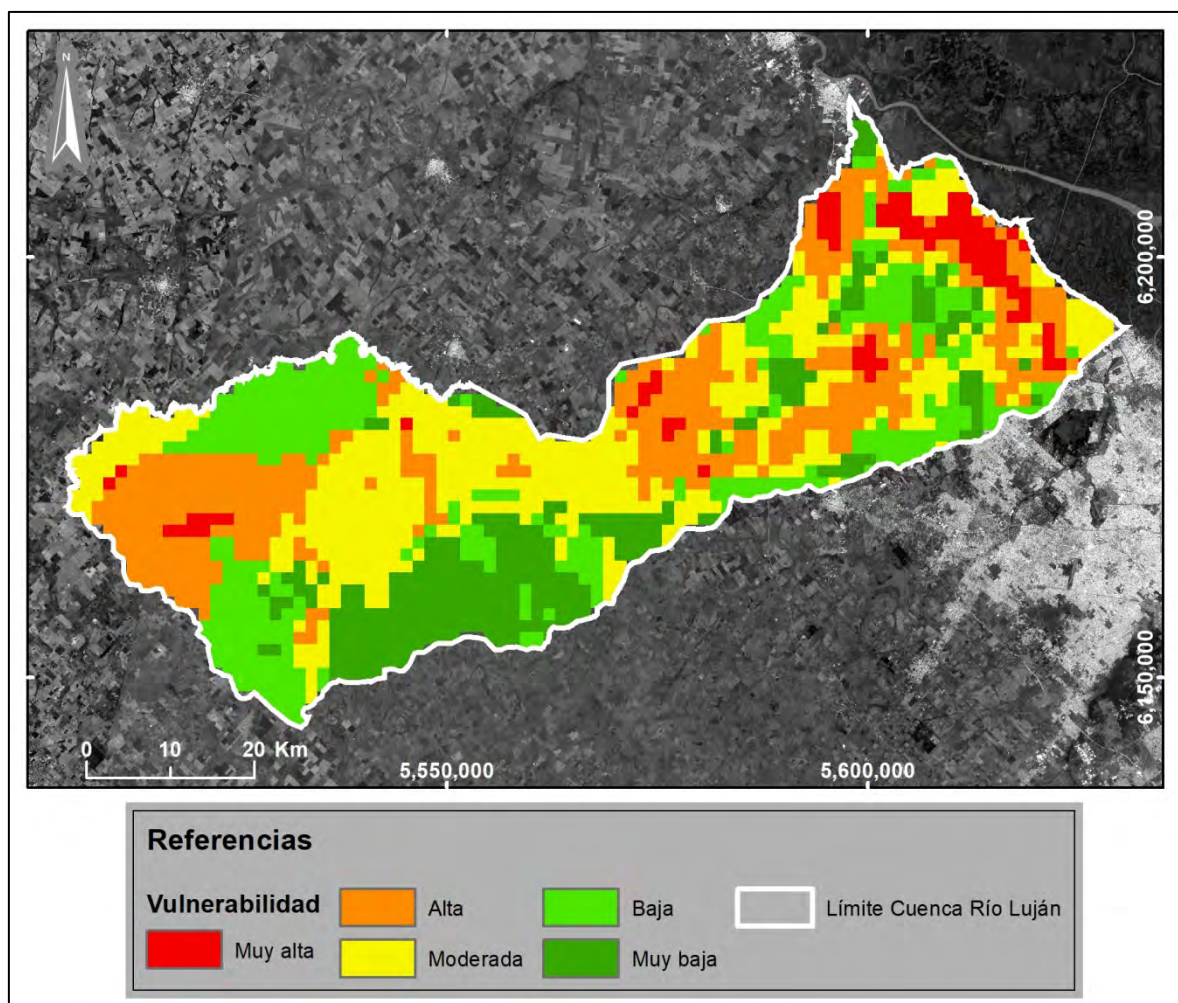
Vulnerabilidad Alta: IV de 10.31 a 13.28

Vulnerabilidad Moderada: IV de 13.28 a 15.29

Vulnerabilidad Baja: IV de 15.29 a 17.32

Vulnerabilidad Muy baja: IV de 17.32 a 23

Queda de este modo conformado el mapa que se presenta en la Figura 41.



*Figura 41: Mapa de Vulnerabilidad de la Cuenca del río Luján.*

Se procedió entonces a realizar el análisis de la cartografía obtenida.

En la zona de la cuenca baja del río Luján, casi bordeando el límite NE, se dispone como una franja de dirección NO-SE un área que presenta una vulnerabilidad muy alta. Incluye las localidades de Tigre, El Talar de Pacheco, Benavidez, Garín, El Cazador, Escobar y Belén de Escobar y extendiéndose por el margen oeste hacia Cardales. Coincide con una zona de IS bajo (2.9), IZNS bajo (3) e IG muy bajo (1). Coincide además con la zona de descarga del acuífero, donde la superficie piezométrica se encuentra muy somera, coincidiendo con la unidad geomorfológica de la Planicie de cordones litorales.

Otra área de muy alta vulnerabilidad se presenta en los alrededores de la ciudad de Pilar, allí el IS es alto, entre 3.3 y 4, el IZNS es medio a bajo, entre 3 y 6 y el IG es muy bajo (1). Coincide con el cono de depresión generado por la ciudad.

Otras zonas más pequeñas que presentan muy alta vulnerabilidad son las que se observan en el sector de la cuenca media, al SE de Carlos Keen, al NE de la localidad de Cortinez y al NO de la ciudad de Luján, coinciden con IZNS bajos, de entre 3 y 4, IS medio a altos (3.1 y 4) e IG medio alto y alto (1 y 3).

Entre las zonas de muy baja vulnerabilidad se destaca en la región de la cuenca baja, paralela a la primera zona descripta de muy alta vulnerabilidad, al SO de la misma, también conformando una franja en dirección NO-SE y extendiéndose hacia los alrededores de la segunda zona de muy alta vulnerabilidad, alrededor de la ciudad de Pilar. Se encuentran allí las localidades de Del Viso, Villa Rosa, Matheu, Zelaya y hacia el SO abarcando el parque industrial de Pilar y la localidad de Manzanares. Aquí los IZNS son muy altos, entre 8 y 10, el IS es muy variable y el IG es medio a alto (6 y 10).

En el área que incluye a la localidad de Mercedes y sus alrededores hacia el este y el suroeste hasta el borde de la cuenca, la vulnerabilidad es muy baja. Allí el IZNS es medio (entre 5 y 6), el IS es alto (4 y 3.3) y el IG también es alto (10). En general no es fácil ser conclusivo sobre esta zona, ya que no hay una adecuada densidad de datos

base en ella. Lo mismo ocurre en la zona del norte de esta área, en el borde norte de la cuenca alta.

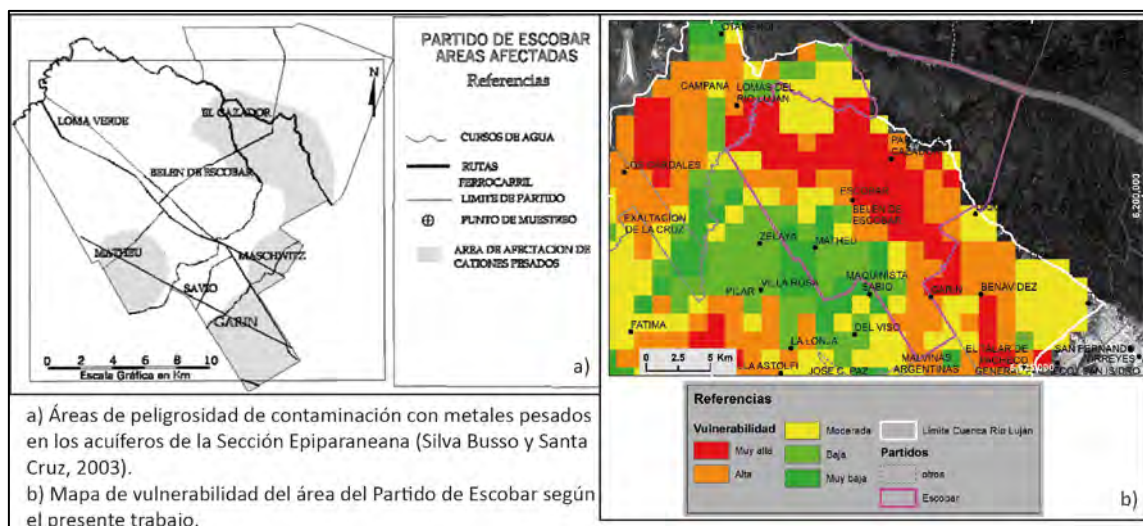
Es importante aclarar que todos los resultados aquí expuestos en relación a los índices de vulnerabilidad obtenidos, deben ser validados a través de un estudio más detallado que incluya análisis de peligrosidad y riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas.

### 9.3 Validación de un sector de la cuenca

Como se expusiera, los resultados obtenidos en materia de vulnerabilidad de los acuíferos, deben ser validados. En este último apartado se utilizará un ejemplo de análisis que puede servir para tal fin en forma preliminar.

Con motivo de realizar un estudio de diagnóstico y análisis preliminar de la vulnerabilidad en acuíferos en el partido de Escobar, Silva Busso y Santa Cruz (2003) logran cuantificar problemas de contaminación de las aguas subterráneas en sectores de gran desarrollo urbano e industrial. Detectan áreas con altos contenidos de nitratos y bacterias relacionadas con sectores urbanos sin servicios de saneamiento. Específicamente mapean zonas de peligrosidad de contaminación con metales pesados en los sectores industriales de Garín y Maschwitz, y en las zonas urbanas de Matheu y Belén de Escobar.





*Figura 42: Comparación entre el mapa de peligrosidad de contaminación con metales pesados (Silva Busso y Santa Cruz, 2003) y el mapa de vulnerabilidad generado en este trabajo para el partido de Escobar.*

También como parte de este estudio (Silva Busso y Santa Cruz, 2003) realizaron una evaluación de la vulnerabilidad empleando el método GOD (Foster, 1987), pero obtuvieron valores muy bajos y de poca variación dentro del área, no pudiendo relacionarlos con el mapa de peligrosidad.

Con los valores de vulnerabilidad obtenidos en el presente trabajo puede hacerse una comparación con el mapa de peligrosidad propuesto por Silva Busso y Santa Cruz (2003). Se aprecia en la Figura 42 que en los sectores de Garín, Maschwitz, El Cazador y Belén de Escobar, la zona que se marca como de peligrosidad coincide con la zona de muy alta vulnerabilidad, mientras que la zona de Matheu corresponde a un área de baja a muy baja vulnerabilidad.

Considerando las características del acuífero y la presencia de las zonas urbanas y suburbanas que se asientan en superficie, cuyo único acceso al agua potable es mediante pozos de explotación de las aguas subterráneas, las zonas de peligro delimitadas en el estudio de Escobar (Silva Busso y Santa Cruz, 2003) que coinciden con las zonas de alta vulnerabilidad determinadas en el presente trabajo, representarían áreas de riesgo a la contaminación de aguas subterráneas.

De acuerdo a lo expuesto podría decirse que el método quedaría validado al menos para la zona de Escobar, teniendo en cuenta las zonas de coincidencia presentadas con el estudio de Silva Busso y Santa Cruz (2003) explicadas anteriormente.

Podría considerarse entonces, para futuras investigaciones, un estudio que replique y mejore las características del relevamiento realizado por estos autores en 2003, abarcando toda la cuenca.

## Capítulo 10 – Conclusiones y Recomendaciones

### 10.1 Conclusiones

En área de estudio los acuíferos son la principal fuente de agua potable y abastecen a la amplia zona urbana y suburbana que se asienta en la cuenca, mayormente en la zona baja. Esto lleva a la confección de pozos de explotación de las aguas subterráneas, tanto para consumo como para abastecer las múltiples actividades que se llevan a cabo dentro de la cuenca.

La geología de la zona puede ser representada en función de los tres perfiles característicos que se presentan en este trabajo. En la cuenca alta sobre la Formación Puelches se disponen los Sedimentos Pampeanos, en la cuenca media y baja en las zonas de relleno de valles, suprayacen a esta secuencia los Sedimentos Postpampeanos. En las áreas de la cuenca baja se observa que las arenas puelches quedan en contacto directo con las unidades postpampeanas, evidenciándose la ausencia de los Sedimentos Pampeanos en el registro del subsuelo.

De acuerdo con los análisis mineralógicos el porcentaje de cuarzo monocristalino de las arenas de la Formación Puelches no supera el 50%, difiriendo notoriamente de los valores propuestos por Santa Cruz (1972).

Como parte de la caracterización hidrogeológica de la cuenca se generó la piezometría epiparaneana. La superficie piezométrica evidencia un descenso del nivel hacia la cuenca baja, mostrando conos de depresión importantes en el área del Parque Industrial de Pilar y la localidad de Pilar y en las zonas del noreste, comprendiendo General Pacheco y Tigre, coincidiendo con la mayor aglomeración urbana dentro de la cuenca. El sentido del flujo se da hacia el este en la cuenca alta y luego hacia el noreste en las áreas media y baja, hacia la desembocadura. Respecto del gradiente hidráulico obtenido, se observa la correspondencia de las zonas de mayor gradiente con las zonas donde se encuentran los conos de depresión evidenciados por la piezometría. Por otro



lado el espesor de la zona no saturada también muestra un comportamiento de fluctuación gradual regional O-E y luego SO-NE, disturbado en la zona de la cuenca baja debido al mayor impacto antrópico.

Respecto del análisis de vulnerabilidad por el método SIG-INA (Gatti *et al.*, 2005), se estudian tres parámetros principales, el gradiente hidráulico, el tipo de suelo y el espesor de la zona no saturada. Como resultados se encuentran zonas de muy alta vulnerabilidad, mayormente en la cuenca baja, abarcando las zonas de Tigre, Pacheco, Benavidez, Garín, El Cazador, Escobar y Pilar, y en la cuenca media cercana a la localidad de Luján, aunque también en inmediaciones de Carlos Keen y Cortinez. Por el contrario, la principal zona de muy baja vulnerabilidad comprende las localidades de Del Viso, Villa Rosa, Matheu y Zelaya, también presenta este nivel de vulnerabilidad la zona de Manzanares y el Parque Industrial de Pilar (probablemente debido al marcado cono de depresión que allí se emplaza).

## 10.2 Recomendaciones

La búsqueda exhaustiva de información que implicó este trabajo como primer paso y como base de los análisis posteriores, se vio afectada por el pobre acceso a los datos. Considerando que dentro de la cuenca debe haber cientos de captaciones efectuadas para la obtención del recurso, resulta desconcertante la ausencia de registros o falta de interés en hacerlos públicos. De toda la base de datos confeccionada en el presente trabajo, la mitad de los datos provienen de fuentes privadas mientras que la otra mitad fueron facilitadas por organismos públicos.

Es importante marcar esta problemática en el contexto actual, de una política nacional de datos abiertos.

Se recomienda realizar un estudio detallado con el fin de validar el análisis de vulnerabilidad aquí propuesto.

Durante el tiempo destinado a la búsqueda de datos se visitó y contactó a múltiples instituciones, tanto nacionales, provinciales y hasta municipales, con poco o nulo resultado. A pesar de la existencia de organismos públicos que deberían tener información respecto de las captaciones que se llevan a cabo, pocos de ellos ofrecieron algún dato mínimo. Es de suma importancia que exista un único organismo que se ocupe de la recopilación y generación de una base de datos hidrogeológica en la provincia de Buenos Aires y, demás está decir, que esos datos sean abiertos para ser consultados.

## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer en primera instancia a la Universidad de Buenos Aires, por permitirme recibir en forma gratuita educación de calidad, gracias al esfuerzo de todos los argentinos.

A los jurados Dra. Rita Tófalo y Dr. Héctor Ostera, por invertir su tiempo en la corrección de este trabajo.

A mi director, el Dr. Adrián Silva Busso, gracias por la dedicación, confianza y paciencia.

Gracias al Instituto Nacional del Agua por permitirme acceder a sus archivos y proveerme de datos que me sirvieron para la realización de este trabajo.

A las personas que contacté y que me brindaron información, entre ellos a la Lic. Luicina Molina de la Universidad de General Sarmiento, a Marcos Cabrera de la Municipalidad de Pilar y al SPAR.

A la Dra. Rita Tófalo, quien dedicó su tiempo para despejar mis dudas respecto de las descripciones de los cortes delgados de grano suelto.

En lo personal quiero agradecer a mi familia por apoyarme y alentarme en estos años para lograr mi objetivo, en especial a mi mamá y a José, por su paciencia y cariño.

Y a mis amigos, con quienes he compartido grandes momentos y han hecho y hacen este camino más ameno.

## Bibliografía

Aceñolaza, F.G., 2007. Geología y recursos geológicos de la Mesopotamia Argentina. Serie Correlación Geológica 22: 1–160.

Aceñolaza, F.G. y Aceñolaza, G., 2000. Trazas fósiles del terciario marino de Entre Ríos (Formación Paraná, Mioceno Medio) República Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 64: 209-234. Córdoba.

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035.

Amato, S. D. y Silva Busso, A. 2006. Relaciones estratigráficas e hidroquímicas de los Acuíferos Pampeanos y Puelches en el noreste de la provincia de Buenos Aires. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 8 (1): 9-26.

Amato, S. y Silva Busso, A., 2009. Estratigrafía cuaternaria del subsuelo de la cuenca inferior del río Paraná. Revista de la Asociación Geológica Argentina 64: 594-602.

Ameghino, F. 1880. La Antigüedad del Hombre en el Plata. Tomo primero. G. Masson y Igon Ed. Paris-Buenos Aires, 646 p., Paris.

Ameghino, F. 1881. La Antigüedad del Hombre en el Plata, Tomo segundo. G. Masson y Igon Ed. Paris-Buenos Aires, 640 p., Paris

Ameghino, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Actas VI, Córdoba.

Ameghino, F., 1909. Le Diprothomo Platensis. Anales Museo Nacional de Buenos Aires, tomo XIX (Serie III, Tomo XII), 107-209.

Auge, M. P. 1986 Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River basin. Groundwater. Vol. 25, Nº 5: 636-642. Dublin, Ohio.

Auge, M.P. y Hernández, M., 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semi confinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de las llanuras dilatadas Hidrogeología de las Grandes Llanuras, Actas del Coloquio de Olavarría. II 1019:1042, UNESCO-CANAPHI, Buenos Aires.

AySA, Agua y Saneamientos Argentinos Sociedad Anónima, 2010. Estudio socioeconómico y ambiental en la Cuenca Luján Reconquista y área complementaria. Caracterización de Parques industriales y áreas industriales sobre las cuencas Luján y Reconquista. Volumen V. Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo.

Blasi, A., Prieto, A. R., Fucks, F. y Figini, A. 2009. Análisis de las nomenclaturas y de los esquemas estratigráficos del Pleistoceno tardío-Holoceno en la cuenca del río Lujan, Buenos Aires, Argentina. Ameghiniana 46 (2):373-390.

Cappannini, D.A. Y Mauriño, V.R., 1966. Suelos de la zona litoral estuárica, comprendida entre Buenos Aires al norte y La Plata al sur (provincia de Buenos Aires). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2da colección Suelos. Buenos Aires.

Cavallotto, J.L., 2002. Evolución Holocena de la Llanura costera del margen sur del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires 57:376-388.

Cavallotto, J.L., 2008. Geología y geomorfología de los ambientes costeros y marinos. En Boltovskoy, D. (ed.), Atlas de Sensibilidad Ambiental del Mar y la costa Patagónica (<http://atlas.ambiente.gov.ar/index.htm>). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, PNUD, Servicio de Hidrografía Naval, Fundación Funprecit.

Cavallotto, J.L. y Violante, R.A., 2005. Geología y Geomorfología del Río de la Plata. En de Barrio, R., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (eds.), Geología y

recursos minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino: 237-253, La Plata.

Cione, A.L. y Tonni, E.P. 2005. Bioestratigrafía basada en mamíferos del Cenozoico superior de la provincia de Buenos Aires, Argentina. En Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballe, M.F. y Llambias, E. (eds.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. 16o Congreso Geológica Argentino, Relatorio 11: 183-200, La Plata.

Civita, M., Chiappone, A., Falco, M., Jarre, P., 1990. Preparazione della carta di vulnerabilità per la rilocalizzazione di un impianto pozzi dell' Aquedotto di Torino. Proc. 1º Conv. Naz. Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi. Vol 2: 461-462. Marano sul Pamaro.

Custodio, E., 1995. Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución. II Seminario Hispano-Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica Nº 11:99-122. San Miguel de Tucumán.

Dalla Salda, L., 1999. Basamento Granítico-Metamórfico de Tandilia y Martín García. Cratón del Río de la Plata, SEGEMAR, Geología Argentina, Anales 29 (4):97-100, Buenos Aires, Argentina.

Daus, F.A., 1946. Morfología general de las llanuras argentinas. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. G.A.E.A., Geografía de la República Argentina, Tomo III, 115-118. Buenos Aires.

De Smith M., Goodchild M., Longley P., 2018. Geospatial Analysis: A comprehensive guide to principles techniques and software tools. Univariate classification schemes. 6th edition.

Dillon, A.Q., y Rabassa J. 1985. Miembro La Chumbiada, Formación Lujan. 1o Jornadas Geológicas Bonaerenses, Resúmenes: 27, Tandil.

Doerfliger, N. y Zwahlen, F., 1998. Practical guide to groundwater vulnerability mapping in karstic regions. Berne, Switzerland: A Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape Publication.

Doering, A. 1882. Geología. Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor general de la expedición al río Negro (Patagonia) realizada en los meses de Abril, Mayo y Junio de 1879, bajo las órdenes del general Julio A. Roca Imprenta de Ostwald y Martínez (1881-1982), Entrega 3 (Geología): 295-530, (con 16 láminas), Buenos Aires.

Doering, A., 1907. La formation pampéene de Córdoba. Lehmann-Nitsche, Nouvelles recherches, etc., Rev. Museo La Plata, XIV.

EASNE., 1972. Estudio de Aguas Subterráneas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. Provincia de Buenos Aires.

Fidalgo, A.J., De Francesco, F.O. y Colado, U.R., 1973. Geología superficial de las Hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio, provincia de Buenos Aires. V Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27-39.

Fidalgo, F., De Francesco, F.O., Pascual, R., 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geológico de la provincia de Buenos Aires, 103-138. Bahía Blanca.

Fidalgo, F., Riggi J.C., Gentile, R., Correa, H. y Porro, N. 1991. Los “sedimentos postpampeanos” continentales en el ámbito sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina 46(3-4): 239-256.

Folk, R.L., Peter. B.A. y Lewis, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 13: 937-978.



Foster, S. S. D., (1987). "Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy". Proceeding of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, The Netherlands.

Foster, S.S.D. e Hirata, R., 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Perú.

Foster, S.S.D. y Skinner, A.C., 1995. Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. International Association of Hydrological Sciences 225: 471-482.

Foster S., Hirata R., Gomes D., D'elía M., París M., (2002). "Groundwater Quality Protection a guide for water utilities, principal authorities, and environment agencies." WHO-PAHO-CEPIS&UNESCO-ROSLAC-PHI and GW.MATE The World Bank, Washington D.C.

Frenguelli, J., 1920. Excursión en los alrededores de Esperanza, provincia de Santa Fe. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 24: 257-292, Córdoba.

Frenguelli, J., 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, Serie II, 33. La Plata.

Frenguelli, J., 1957. Neozoico. En Geografía de la República Argentina, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA) 2 (tercera parte), 218 p., Buenos Aires.

Fucks, E. 2005. Estratigrafía y geomorfología en el ámbito del curso inferior del Río Lujan, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 857 (inédito), 239 p., La Plata.

Fucks, E., y De Francesco, F., 2003. Ingresiones marinas al norte de la ciudad de Buenos Aires, su ordenamiento estratigráfico. 2° Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 101-110, Tucumán.

Fucks, E. y Deschamps, C.M. 2008. Depósitos continentales cuaternarios en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63: 326-343.

Gatti, D., 2003. Elementos Hidroestratigráficos para la Protección de Acuíferos en el área del conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires. Trabajo final de Beca. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina (Inédito).

Gatti, D., Silva Busso, A. y Seoane, N., 2005. Vulnerabilidad del Acuífero Pampeano en el Área del Conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires, XXº Congreso Nacional del Agua 2005, Mendoza, Argentina, Libro Resúmenes pag: 30 y completo en CD.

González Bonorino, F., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Asociación Geológica Argentina, Rev. Tomo 20 (1): 67-148. Buenos Aires.

Groeber, P., 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería Nº 848, Buenos Aires.

Groeber, P., 1961. Contribución al conocimiento geológico del Delta del río Paraná y alrededores. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Anales, 2: 9-54.

Haertle, A., 1983. Method of working and employment of EDP during the preparation of groundwater vulnerability maps. International Association of Hydrological Sciences 142:1073-1085.

Hernández, M.A., 1975. Efectos de la sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores, República Argentina. Actas II Congr. Iberoam. De Geol. Econ. T. I, págs. 435- 456. Buenos Aires.

Herrera, C., 1993. Evolución Holocena en Sectores de la Costa Bonaerense del Estuario del Río de la Plata. Tesis de Licenciatura Dpto. de Geología FCEyN, Universidad Buenos Aires.

INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Instituto Geográfico Nacional (IGN) e INDEC, datos de superficie.

Marcomini, S.C. y López, R.A., 2011. La problemática ambiental del estuario del Río de la Plata y delta del Paraná, en López, R.A. y Marcomini, S.C. (comp). Problemática de los ambientes costeros, sur de Brasil, Uruguay y Argentina. Buenos Aires, Editorial Croquis, pág: 129 - 143.

Marengo, H. 2015. Neogene Micropaleontology and Stratigraphy of Argentina: The Chaco-Paranense Basin and the Península de Valdés. Springer Briefs in Earth System Sciences, 218 p.

Margat, J., 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution. Bases de la cartographie. BRGM N° 68. SLG 198 HYD. Orléans.

Molina, L., 2010. Explotación del recurso hídrico subterráneo por actividades industriales. Caso de estudio: Parque Industrial Pilar. Tesis de licenciatura en Ecología Urbana. Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento.

Nicollini, H; O'Connor, T; Suriano, J; Koukharsky, M; Gómez Peral, M; Bertini, L; Corradi, L; Cohen, I; Baleani, O; Abril, E., 1985. Geoquímica del Arsénico y otros Oligoelementos en Aguas Subterráneas de la Llanura sudoriental de la provincia de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea 71, Córdoba, Argentina.

Parker, G., 1990. Estratigrafía del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina 45 (3-4): 193-204.

Pereyra, F.X., 2004. Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59 (3): 394-410.

Prieto, A.R., Blasi, A.M., De Francesco, C. y Fernández, C. 2004. Environmental history since 11,000 C14 yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Lujan River. *Quaternary Research* 62: 146-161.

Riggi, J.C., Fidalgo, F., Martínez, O. y Porro, N. 1986. Geología de los “Sedimentos Pampeanos” en el partido de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44: 316-333.

Rimoldi, H.V., Suriano, J.M., Cobos, J.C., Repol, D., Milanese, J.B., . . . Donnari, E., 1999. Mapa Geológico y minero de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos.

Rossello, E.A., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H. 2011. La Fosa de Quilmes: prolongación austral de la cuenca Santa Lucia (Uruguay) en la Provincia de Buenos Aires (Argentina). 18º Congreso Geológico Argentino, Actas: 1044-1045, Neuquén.

Rossello, E.A., Veroslavsky, G, de Santa Ana, H., Rodríguez, P. 2017. Depocentros meso-cenozoicos y rasgos tectónicos del basamento cristalino del Río de la Plata (Argentina y Uruguay). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74 (3): 283-294.

Russo, A., Ferello R. Y Chebli G., 1979. Llanura Chacopampeana. 2do Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Volumen I: 139-184. Córdoba.

Sala, J.M., 1969. El agua subterránea en el nordeste de la provincia de Buenos Aires. Reunión sobre la Geología del Agua Subterránea de la provincia de Buenos Aires. Relatorio Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata, 25-49.

Sala, J.M., 1972. Contribución al estudio geohidrológico del NE de la provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. Serie Técnica Nº 24, Tomo I y II: 73-123. Buenos Aires.

Sala, J.M., 1975. Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geológico de la provincia de Buenos Aires. Bahía Blanca. 169-193.

Sala, J.M. y Auge, M., 1970, Algunas Características Geohidrológicas del Noreste de la Prov. de Bs. As. Actas IV Jorn. Geol. Arg. 321-336. Buenos Aires.

Santa Cruz, J. N., 1972. Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Tomo: XXVII, N°1, Pág. 1-62, Argentina.

Santa Cruz, J. N., 1993. Aspectos hidrogeológicos e interpretación de una nueva característica formacional de subyacencia del Acuífero Puelches. Prov. de Bs. As., Argentina. Temas Actuales de la Hidrología Subt. Univ. Nac. De Mar del Plata. C.F.I.

Santa Cruz, J.N. y Silva Busso, A., 1996. Disponibilidad del Agua Subterránea para Riego Complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe. PROSAP, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Argentina.

Santa Cruz, J.N. y Silva Busso, A., 1999. Escenario Hidrogeológico de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotámica Meridional Argentina. Serie de Correlación Geológica N° 13: 461-471.

Santa Cruz, J. N., Silva Busso, A. y Suero E., 2004. Contribución a la Hoja Hidrogeológica N°14 Río Quequén, Sustentabilidad del riego suplementario en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Proyecto BID 1201 OC/AR PICT 08-4675, Informe Final, SECyT, INTA.

Santa Cruz, J. N., Silva Busso, A., Amato, S., Guarino, M., Villegas, D. y Cernads, M. 1996. Explotación y Deterioro del Acuífero Puelches en la región metropolitana de la República Argentina. Agua em revista, CPRM, Brasil, Año 2, 1: 48-57.

Silva Busso, A., 2010. Geología, hidrología e hidrogeología en la cuenca del río Luján, en Carballo, C. (Ed.). Información Ambiental de la cuenca del río Luján. Aportes para la gestión integral del agua. Buenos Aires, Ediciones Prometeo, pág: 97-122.

Silva Busso, A. y Fresina, M., 2005. Riesgo potencial del Sistema Acuífero Epiparaneano a Causa de los Basurales no Controlados en el Partido de Escobar, Buenos Aires. IV Congreso Hidrogeológico, Río Cuarto 25 -28 de Octubre del 2005, Córdoba, Argentina. En Actas Tomo I pag: 57- 67.

Silva Busso, A. y Santa Cruz, J.N., 2003. Hidroquímica, Contaminación y Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas en el Partido de Escobar, Buenos Aires , Argentina. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario, Santa Fe, Argentina Actas Tomo 2 pág: 353-362

Silva Busso, A., Olivares, O., Fresina M., 1999. Afectación del acuífero freático por uso del suelo en un área del Conurbano Bonaerense, Prov. Buenos Aires, Argentina. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México. Vol: 3 Nº 1, pag 32-45

Silva Busso, A., Carol, E., Seoane, N. y Gatti, D., 2003. Informe hidrogeológico del estudio para el diagnóstico del ascenso de las napas subterráneas en el Conurbano Bonaerense y Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Convenio INA-ETOSS (Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios).

Soibelzon, E., Tonni, E.P. y Bidegain, J.C. 2008. Cronología, magnetoestratigrafía y caracterización bioestratigráfica del Ensenadense (Pleistoceno Inferior-Medio) en la ciudad de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63(3): 421-429, Buenos Aires.

Teruggi, M.E., Etchichury, M.C., Remiro, J.R., 1957. Estudio sedimentológico de los terrenos de las barrancas de la zona Mar del Plata-Miramar. Rev. Museo Argentino de Ciencias Naturales, IV: 2.

Tófaló, O.R. y Castro, L., 2017. El Grupo Litoral en la perforación San Isidro 1: litología y evidencias paleoclimáticas. 20 Congreso Geológico Argentino. XX Congreso Geológico Argentino Actas

Toledo, M.J. 2005. Secuencias Pleistocenas “lujanenses” en su sección tipo: Primeras dataciones C14 e implicancias estratigráficas, arqueológicas e históricas, Lujan-Jáuregui, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(2): 417-424.

Toledo, M.J. 2008. La crisis climática de 13.000 AP: “Mantos Negros”, extinciones de megafauna y cambios poblacionales. 17o Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 733-734, Jujuy.

Toledo, M.J. 2011. El legado lujanense de Ameghino: revisión estratigráfica de los depósitos pleistocenos-holocenos del valle del río Luján en su sección tipo. Registro paleoclimático en la pampa de los estadios OIS 4 al OIS 1. Revista de la Asociación Geológica Argentina 68 (1): 121 – 167.

Tricart, J., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Colección Científica del INTA 12. 202 p. Buenos Aires.

Urien, C.M. y Zambrano, J.J., 1996. Estructura del margen continental. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de exploración de Hidrocarburos. Bs. As. Geología y recursos naturales de la Plataforma Continental Argentina. Ramos V. & Turic M.A. (Eds). Relatorio, 3: 29 -65.

Valdés, S., Humei, A., Silva Busso, A., 2018. Análisis del comportamiento piezométrico de la sección Epiparaneana y Paraneana, Buenos Aires, Argentina. XIV Congreso latinoamericano de hidrogeología, X Congreso argentino de hidrogeología y VIII Seminario hispano-latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea, Salta, Argentina (in review).

Violante, R.A., Parker, G., Cavallotto, J.R., Marcolini, S., 1992. La secuencia depositacional del Holoceno en el Río de la Plata y plataforma del noreste bonaerense. IV Reunión Argentina de Sedimentología, Actas I: 275-282. La Plata.

Vrba J. y Zaporozec, A. (1994). "Guidebook on mapping groundwater vulnerability". International Association of Hydrogeologist-International Contributions to Hydrogeology 16.

Weisser, S., 2018. The Paraná Aquifer in the border region of the departments Buenos Aires, Entre Ríos and Santa Fe (Argentina). Applied & Environmental Geoscience, Eberhard Karls Universität Tübingen & Universidad de Buenos Aires.

Wright, F.E. y Fenner, C.N., 1912. Petrographic study of the specimens of Loess, tierra cocida and scoria collected by the Hrdlicka-Willis expedition. Hrdlicka. Bur. Amer. Ethnol., Smithsonian Inst., Bull. 52.

Yrigoyen, M.R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires, 139-168. Bahía Blanca.

Yrigoyen, M.R., 1992. Geografía y geología de Buenos Aires y sus alrededores. Rev. Buenos Aires nos cuenta. Septiembre 1992, 4-18. Buenos Aires.

Yrigoyen, M.R., 1993. Morfología y Geología de la Ciudad de Buenos Aires. Actas Asoc. Geol. Apl. Ing. Vol. VII: 7-38. Buenos Aires.



## **Anexo I: Análisis de cortes delgados de grano suelto.**

Para el análisis de los cortes delgados se utilizó un microscopio petrográfico. En el caso de las muestras de las Formaciones Puelches y Paraná, se realizaron, además de las descripciones, conteos de granos, en base a los cuales se calcularon los porcentajes correspondientes a cada mineral o fragmento hallado.

Por otra parte, los cortes preparados con los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos, al presentar tamaños de grano menores a arena fina, en general limos y agregados de arcillas, fueron descriptos.

A continuación se describen los 11 cortes delgados de granos suelto generados para este trabajo:

***Muestra SB3-p-75.5 (Paraná):***

Se distingue por presentar granos de arena fina, redondeados a subredondeados. El cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (62%), mientras que el policristalino es escaso (4%). Los feldespatos potásicos se presentan en mucha menor proporción (25.5%) que en las arenas puelchenses, aunque también se distinguen algunos microclinos y granos con macla de Carlsbad, también se distinguen algunas plagioclasas (1%). Los líticos suelen ser de mayor tamaño y se componen por fragmentos volcánicos, metamórficos y sedimentarios (2.5%). Se encuentran también fragmentos de carbonatos (3.5%). Y como minerales accesorios algunos opacos (1.5%).

***Muestra Sb-4pz-51 (Puelches):***

Arena mediana, de granos redondeados a subredondeados. Está compuesta principalmente por granos de cuarzo monocristalinos (48%) con extinción ondulosa a recta y cuarzo policristalino (10%). Entre los feldespatos los más abundantes son los potásicos (39%), algunos con macla de Carlsbad y en general alterados a arcillas o rodeados por ellas, se distingue entre ellos microclino, las plagioclasas (1%) se

presentan en pocas ocasiones con macla polisintética. Presenta pocos fragmentos líticos (1%) metamórficos y volcánicos. Los minerales accesorios (1%) son opacos de tamaño más pequeño y poco abundantes.

***Muestra SB3-p-48.5 (Puelches):***

Arena mediana a gruesa de granos redondeados a subredondeados. Se compone principalmente de cuarzo, los granos monocristalinos (49%) presentan extinción ondulosa a recta, mientras que los policristalinos se encuentran en menor proporción (7%). Los feldespatos se clasifican como feldespatos potásicos (40%), algunos con macla de Carlsbad y se reconoce microclino en mayor proporción que en el corte anterior, la plagioclasa (1.5%) comúnmente con macla polisintética. Los fragmentos líticos (2%) suelen ser mayormente de origen volcánico. Entre los minerales accesorios (0.5%) se observan granos de minerales opacos.

***Muestra CZ-1C-48 (Puelches):***

En esta muestra se observa que los granos son más grandes que los observados en las otras muestras, variando entre arena mediana a muy gruesa. Los granos suelen ser subredondeados. Se compone principalmente de cuarzo monocristalino (42%) con extinción mayormente recta y en ocasiones ondulosa y de cuarzo policristalino (16%), siendo la muestra con mayor proporción. Se encuentra menor proporción de feldespatos potásicos que en otras muestras de arena (32%) en ocasiones presentan macla de Carlsbad y se encuentran escasos granos de microclino, mientras que a las plagioclasas (1.5%) se las reconoce por la macla polisintética, se observa pocos ejemplares de microclino en comparación con otros cortes. Los líticos se encuentran en mayor proporción que en otros cortes (7%) y suelen ser volcánicos, muchas veces con cubiertas de óxidos y también metamórficos, se encontraron clastos en los que

puede observarse claramente texturas coloformes típicas de rellenos. Como accesorios se hallaron algunos granos de cloritas y minerales opacos (1.5%).

***Muestra M-Pz-2-39 (Puelches):***

Arena muy fina, de granos subredondeados, con algunos clastos de gran tamaño, mayores a 2.4mm. Domina el cuarzo monocristalino en su composición (50%), mientras que el policristalino tiene la proporción más baja de todas las muestras (1%). Los feldespatos potásicos (43%) pueden presentar macla de Carlsbad, aunque son minoría, y en general se los encuentra alterados a arcillas, entre ellos se encuentran pocos granos de microclino. Se encuentran muy pocos individuos de plagioclasas, que se distinguen por la macla polisintética característica (0.5%). Los líticos son mayormente volcánicos y en menor medida metamórficos (1.5%). Se encuentran minerales opacos como accesorios (1%). Por último, los clastos mayores que se mencionaran al principio, corresponden a fragmentos de bioclastos carbonáticos (3%).

***Muestra LJ-2-70 (Puelches):***

Compuesta por granos de arena mediana a gruesa, subredondeados a angulosos. Principalmente se presentan granos de cuarzo monocristalino (49.5%), con extinción angulosa y a veces recta, mientras que el cuarzo policristalino se encuentra en menor proporción (3%). Los feldespatos son en mayor medida son potásicos (43%), algunos ejemplares con macla de Carlsbad y algunos se identificaron como microclinos, también contiene plagioclasas (0.5%) en muy baja proporción. Entre los líticos (2%) se distinguen de origen metamórfico, volcánico y sedimentario. Los fragmentos de carbonatos son escasos y pequeños (1%). Y por último los minerales accesorios (1%) son opacos y cloritas.

***Muestra Sb-4pz-15 (Pampeano):***

Limo grueso a arena muy fina, con algunos granos aislados tamaño arena gruesa. Se observan agregados de arcilla con granos de arena fina, entre los cuales puede distinguirse cristales bien tabulares de plagioclasa con macla polisintética bien definida, algunos feldespatos potásicos con macla de Carlsbad y pequeños granos de cuarzo. Además en esos agregados arcillosos se distinguen fragmentos de sílice amorfa, aciculares, a veces triaxiales, que pueden interpretarse como trizas vítreas. También dentro de estos agregados suelen encontrarse minerales opacos y granos redondeados de lo que podría ser oxihornblenda, con su color anaranjado y pleocroísmo característicos. Entre estos agregados pueden distinguirse algunos fragmentos de paleosuelos, distinguibles por los revestimientos alrededor de los granos que se producen por la recristalización de arcillas. También se distinguen fragmentos de loess, donde la distribución de granos y arcillas es caótica.

***Muestra SB3-p-10.5 (Pampeano):***

Limo grueso a arena fina, con escasos granos tamaño arena media a gruesa. Se observan en este caso también agregados arcillosos que contienen granos de minerales muy alterados, entre los que se distingue cuarzo, plagioclasas muy alteradas (tanto que a algunas es dificultoso distinguirles la macla polisintética), feldespatos potásicos muy alterados a arcillas, biotitas, carbonatos, piroxenos y anfíboles, entre los que se distinguen pequeños granos redondeados de oxihornblenda.

***Muestra CZ-1C-24 (Pampeano):***

Se observa en general partículas de tamaño limo grueso, con pocas ocurrencias de granos tamaño arena mediana. También presenta agregados de arcilla, dentro de los cuales se distinguen fragmentos de cuarzo muy fracturados, plagioclasas y feldespatos potásicos muy alterados, biotitas alteradas. Se observan en general más

fragmentos de anfíboles y piroxenos alterados, en especial los granos de oxihornblenda, que se repiten en todas las muestras pampeanas. Por otro lado se distinguen también trizas vítreas bi y triaxiales, estas últimas son más raras.

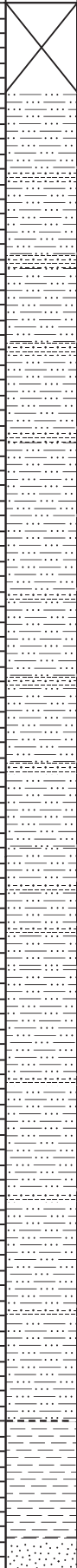
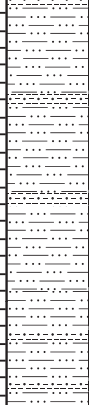
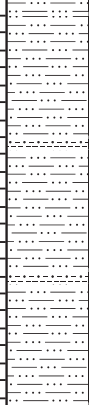


***Muestra LJ-2-28 (Pampeano):***

Se compone en general de agregados arcillosos con limos gruesos a arenas muy finas. Estos agregados a veces presentan pátinas de óxidos. Contienen fragmentos de cuarzo, feldespato potásico (entre los cuales se distinguen algunos granos de microclino) y plagioclasas muy fracturadas y alteradas. También presenta carbonatos, pocos anfíboles y piroxenos (se distinguen los granos de oxihornblenda también en esta muestra). Las trizas se presentan en menor proporción que en otras muestras.

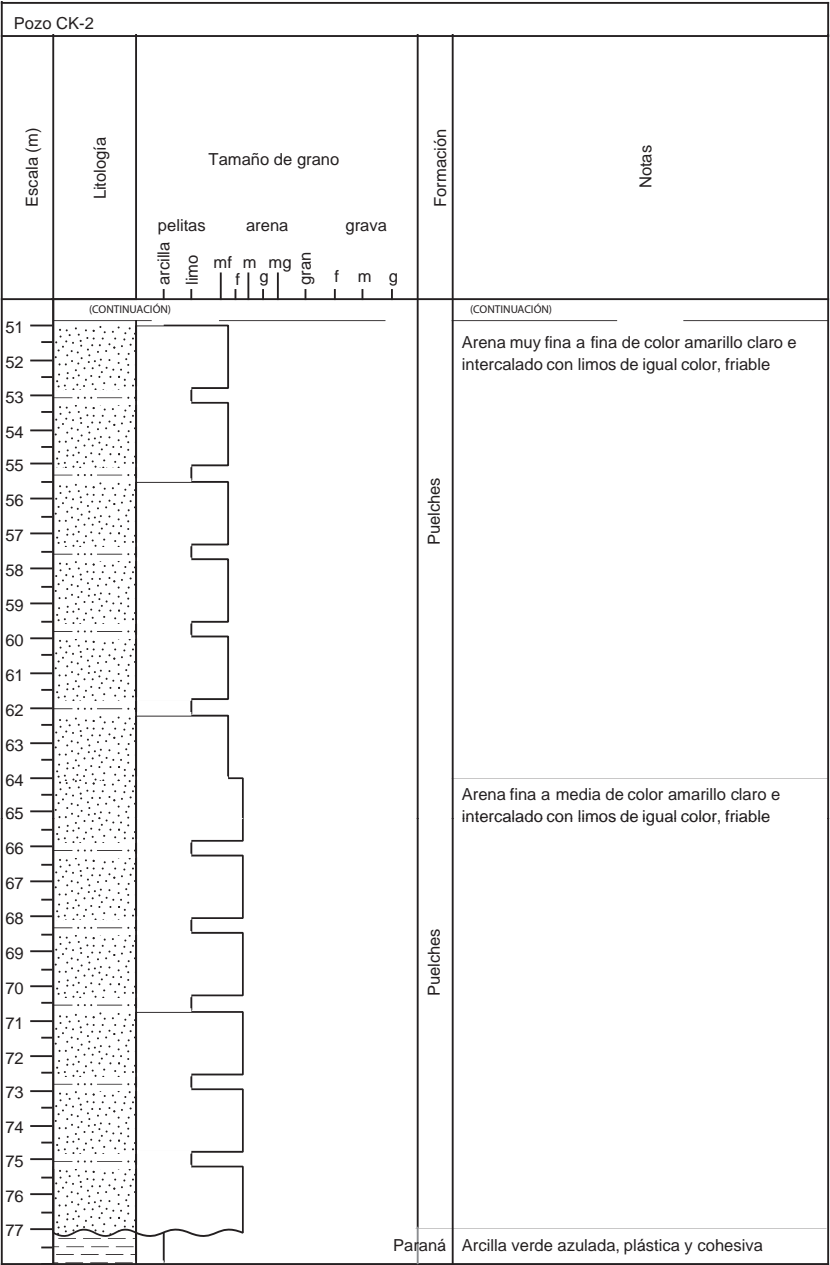
***Muestra M-Pz-2-4 (Postpampeano):***

Esta muestra particularmente, presenta más arcilla en su composición, formando agregados. Se observan partículas tamaño limo grueso a veces sueltas, pero más comúnmente dentro de estos agregados arcillosos. Aunque se vuelve muy difícil de distinguir, estas partículas parecen ser de cuarzo, feldespatos y plagioclasas, piroxenos y anfíboles, todos muy fracturados y alterados. Algunos granos de feldespatos se destacan por tener tamaños mayores, de hasta 0.5mm. Además destacan fragmentos de conchillas de hasta 5mm, algunos de los cuales se presentan estriados.









## **Anexo II: Perfiles geológicos**

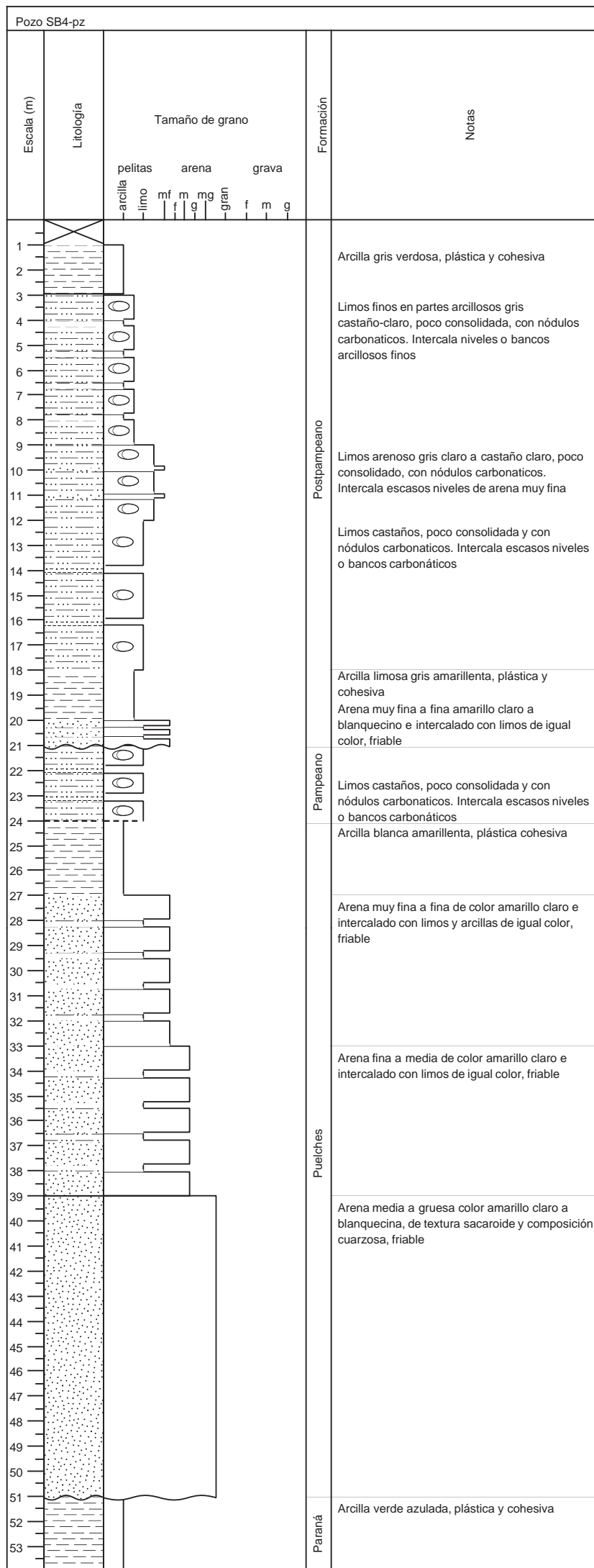
Pozo CK-2												
Escala (m)	Litología	Tamaño de grano									Formación	Notas
		pelitas			arena			grava				
		arcilla	limo	mf	m	mg	gran	f	m	g		
1											Pampeano	Limos finos en partes arcillosos de color castaño claro a oscuro, poco consolidado, moderadamente cementado con carbonatos, intercala niveles o bancos carbonáticos
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18											Pampeano	Limos gruesos de color castaño, poco consolidado, poco cementado con carbonatos, intercala escasos niveles o bancos carbonáticos
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31											Pampeano	Limos arcillosos de color castaño claro a ocre, poco consolidado y cementado con carbonatos, intercala escasos niveles o bancos carbonáticos
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44											Pampeano	Limos gruesos de color castaño claro, poco consolidado y cementado con carbonatos, intercala escasos niveles o bancos carbonáticos
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51											Puelches	Arcilla blanquecina, plástica y cohesiva













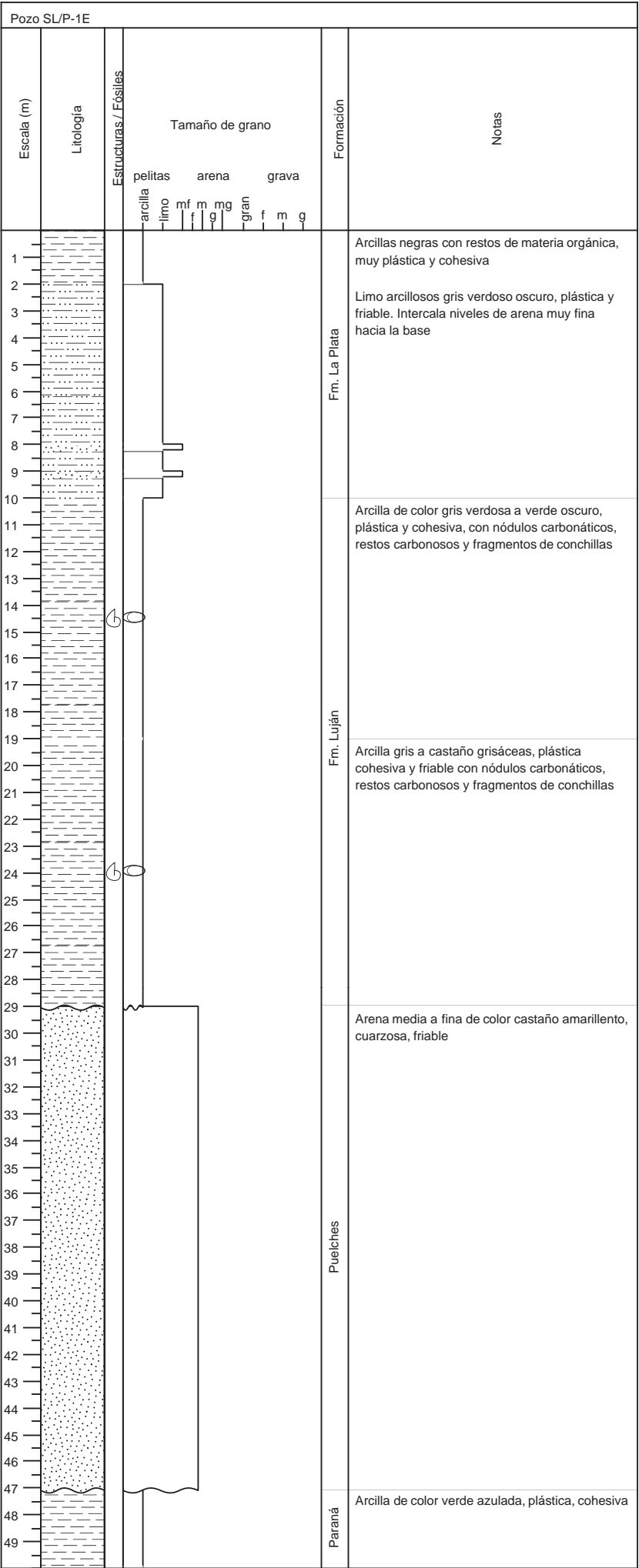
Provincia: Buenos Aires  
Sitio: Carlos Keen  
Cota: 38msnm  
X:5571784.31, Y:6183931.65  
Realizado por: Mariana A. Paparás

Litologías	Símbolos	Discordancias
		
		
		
		



Provincia: Buenos Aires  
 Sitio: Santa Bárbara  
 Cota: 1.28msnm  
 X:5626445.63, Y:6188866.33  
 Realizado por: Mariana A. Paparás

Litologías	Símbolos		Discordancias		
	Arcilla		Nódulos y concreciones		Erosiva
	Arena				Neta
	Limo				Discontinua
	Carbonatos				



Provincia: Buenos Aires

Sitio: San Luís

Cota: 1.5msnm

X:5619541.61, Y:6201474.19

Realizado por: Mariana A. Paparás

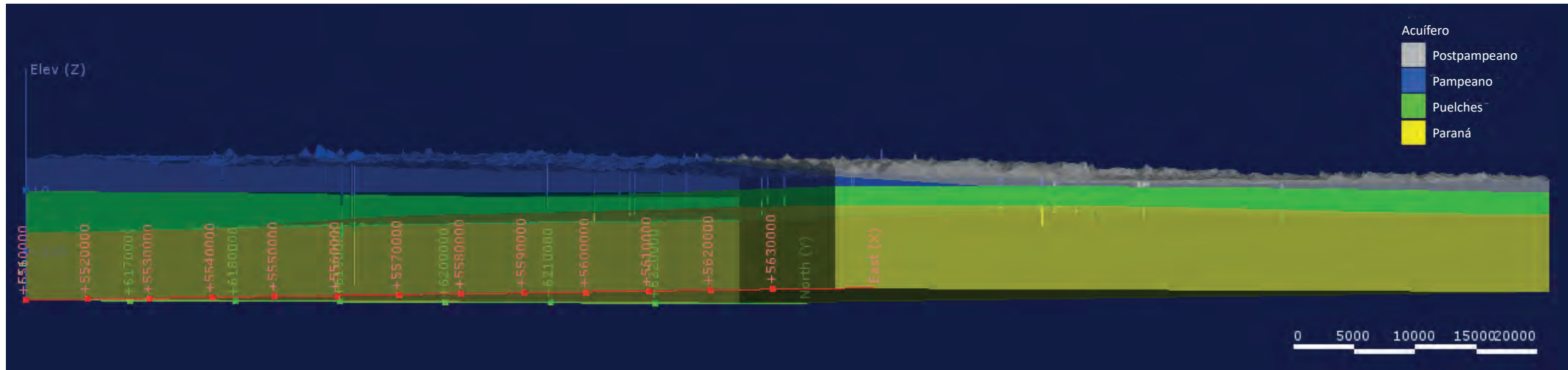
Litologías	Símbolos	Discordancias
Arcilla	Nódulos y concreciones	Erosiva
Arena	Conchillas	
Limo		

### **Anexo III: Cortes hidrogeológicos**

## Vista al NO del modelo 3D de la cuenca del Río Luján

SO

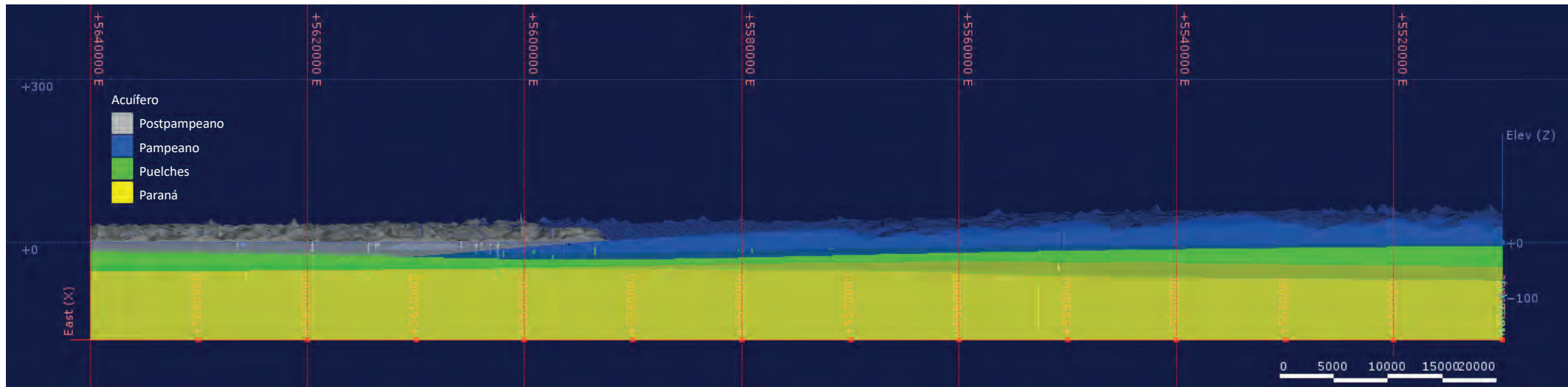
NE

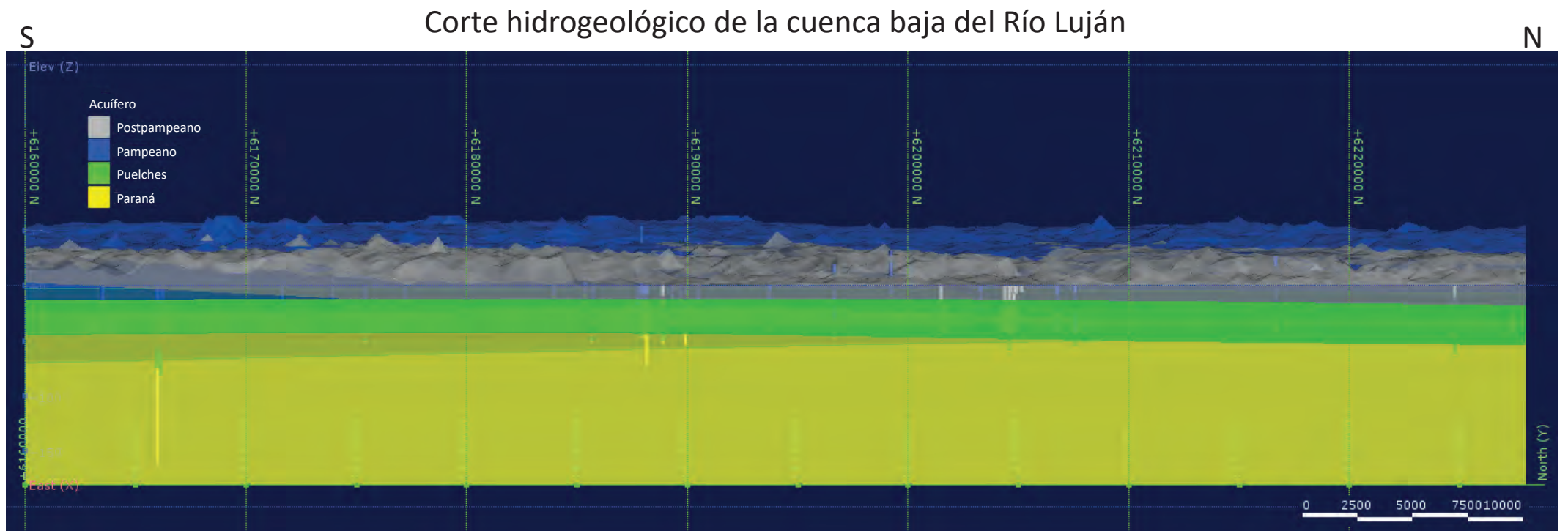
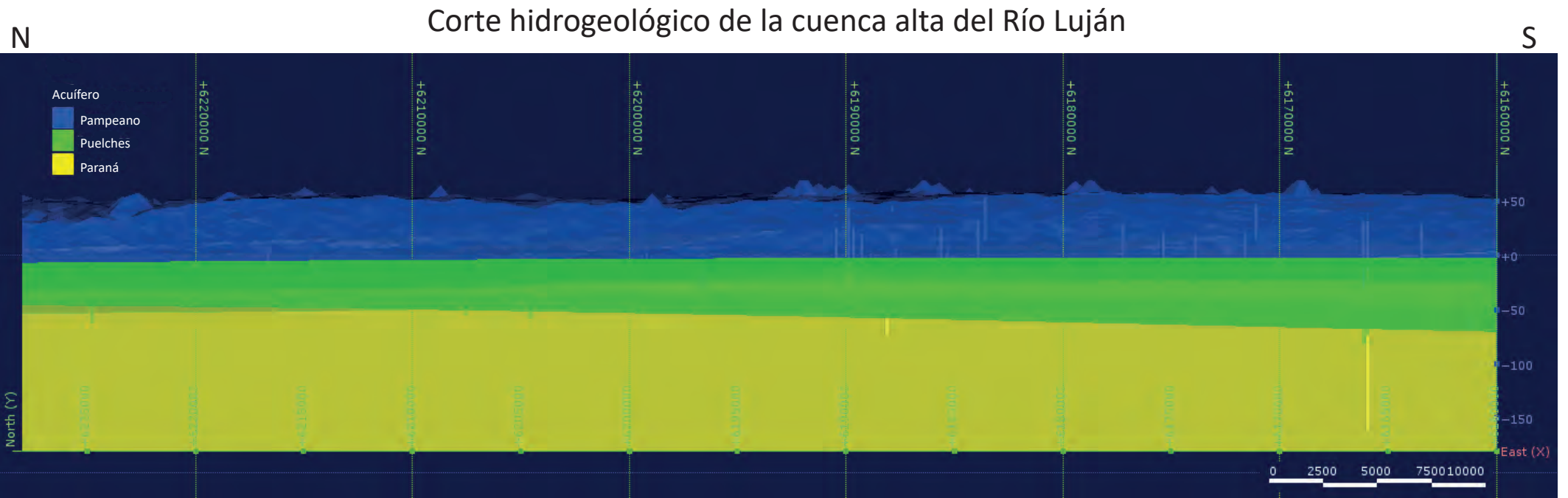


## Corte hidrogeológico de la cuenca del Río Luján

E

O





## **Anexo IV: Mapas**



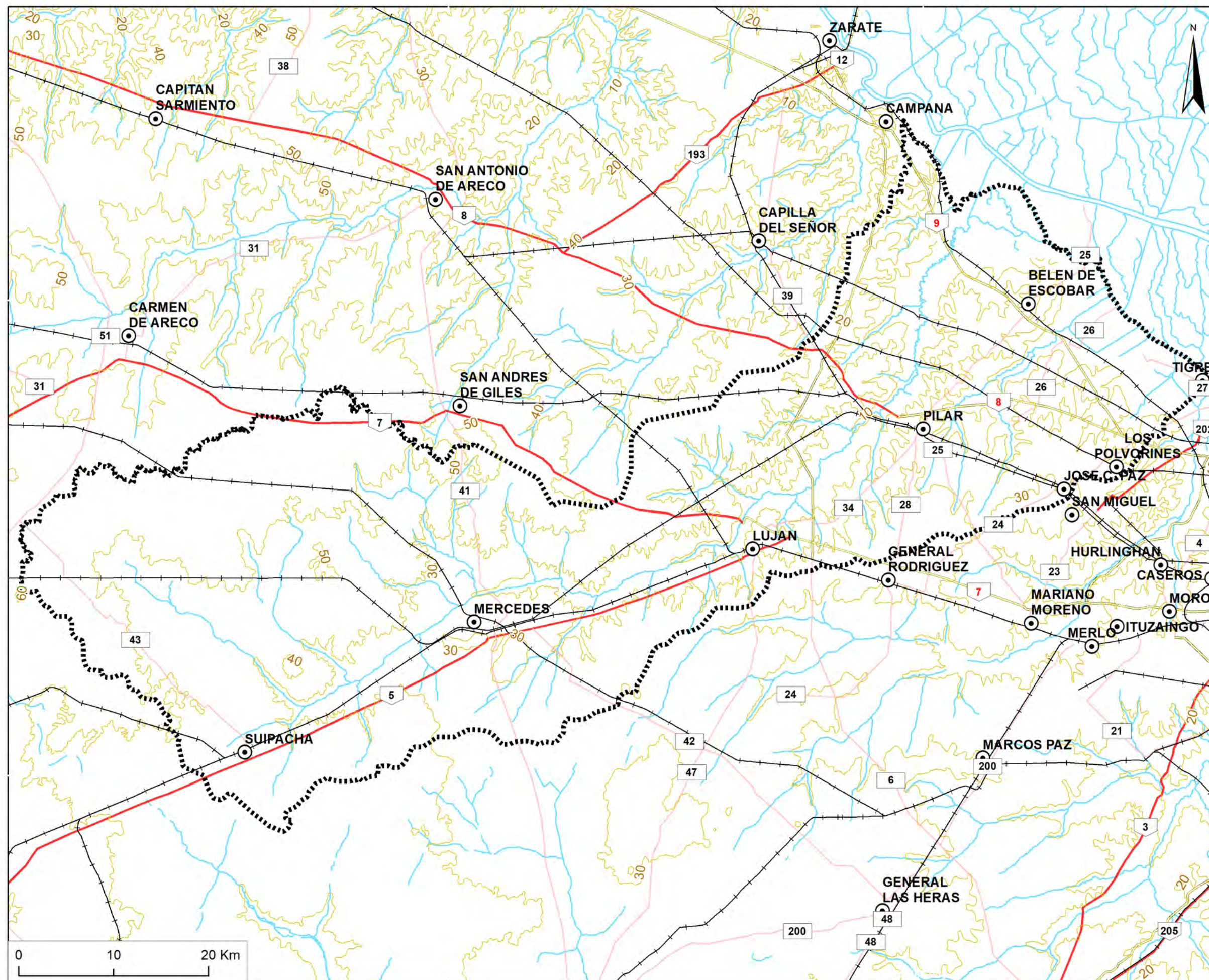
# Mapa Topográfico Cuenca Río Luján

## Referencias

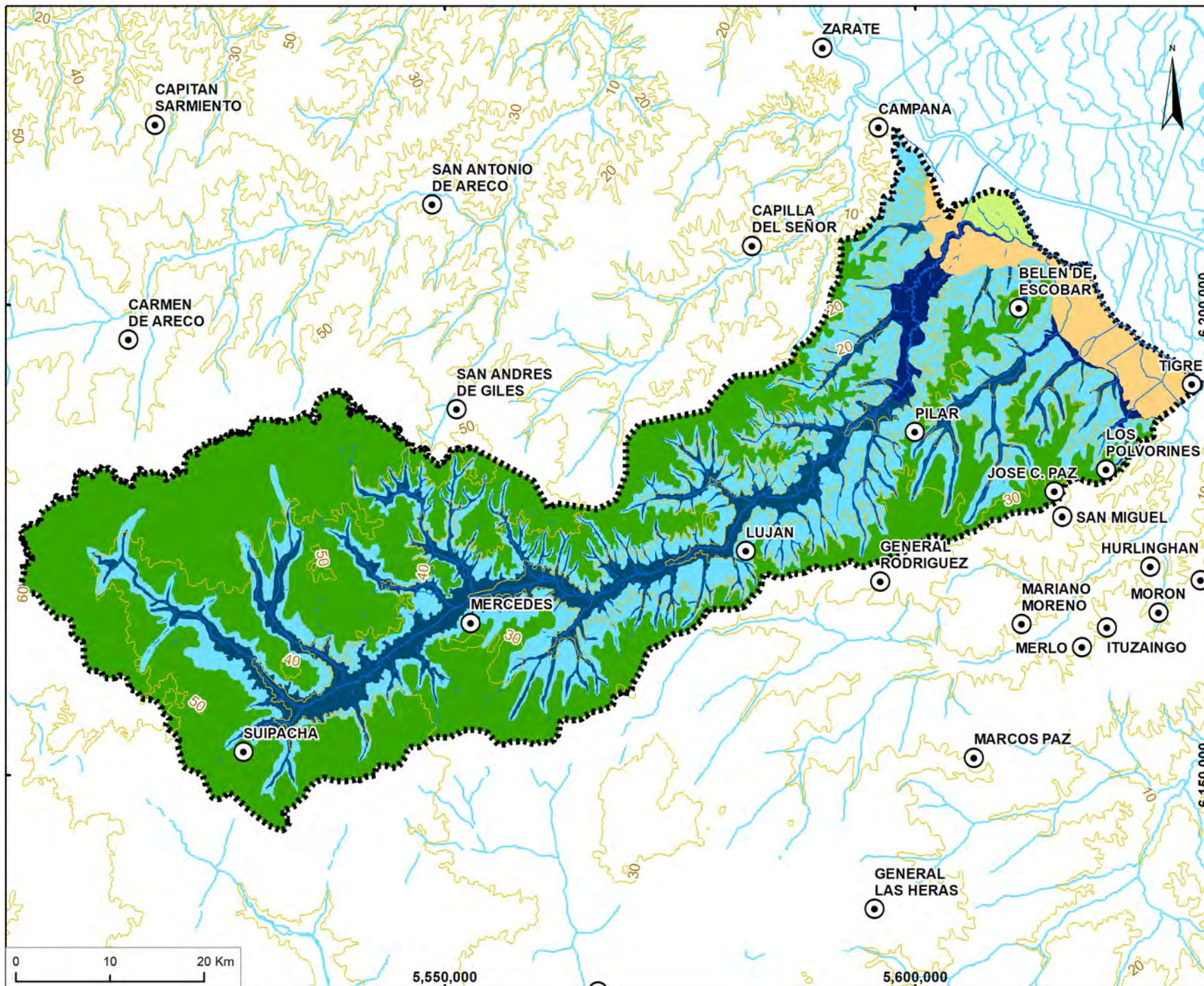
- ⊙ Cabecera de Partido
- Autopista
- Ruta Nacional
- Ruta Provincial
- Red Ferroviaria
- 011\_Curvas\_De\_Nivel
- 001\_Cursos\_De\_Agua
- Límite Cuenca Río Luján

1:400,000

Sist. Coord.: Campo Inchauspe, faja 5  
Proy.: Transversa Mercator  
Base topográfica IGN  
Autora: Mariana A. Paparás







## Geomorfología Cuenca Río Luján

### Referencias

⊙ Cabecera de Partido

— Río Permanente

- - - Río Temporario

— Curvas de Nivel

### Geomorfo\_MAP

Planicie Ondulada

Planicie de  
Escorrentamiento

Planicie de Inundación

Planicie de Inundación  
baja

Planicie de Cordones  
Litorales

Planicie deltaica

— Límite Cuenca Río Luján

1:550,000

Sist.Coord.: Campo Inchauspe, faja 5

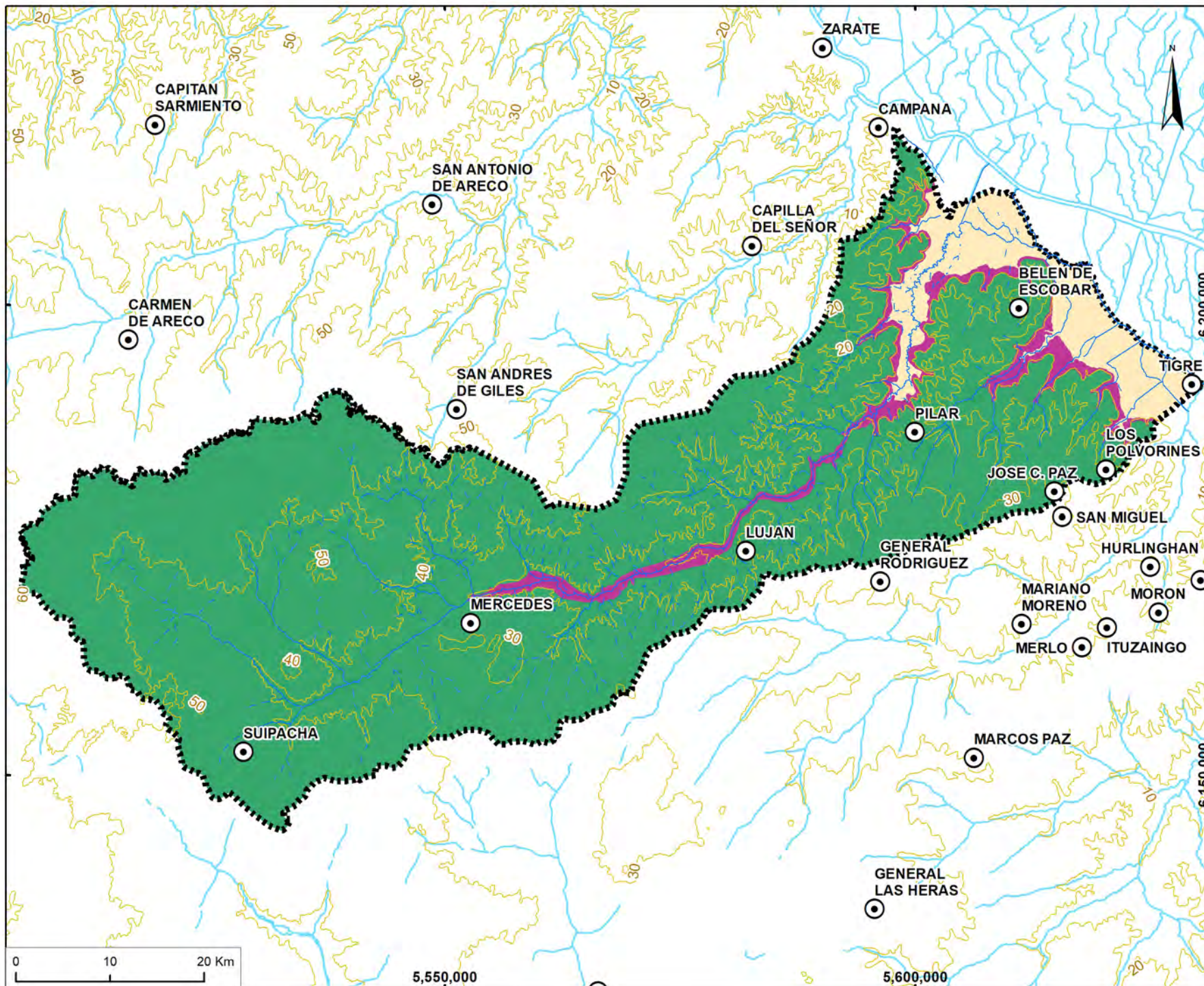
Proy.: Transversa Mercator

Base topográfica IGN

Autora: Mariana A. Paparás







## Geología Cuenca Río Luján

### Referencias

- Cabecera de Partido
- Río Permanente
- Río Temporario
- Límite Cuenca Río Luján
- Curvas de Nivel

### Geología

- Formación Buenos Aires
- Formación Luján
- Formación La Plata

1:550,000

Sist.Coord.: Campo Inchauspe, faja 5

Proy.: Transversa Mercator

Base topográfica IGN

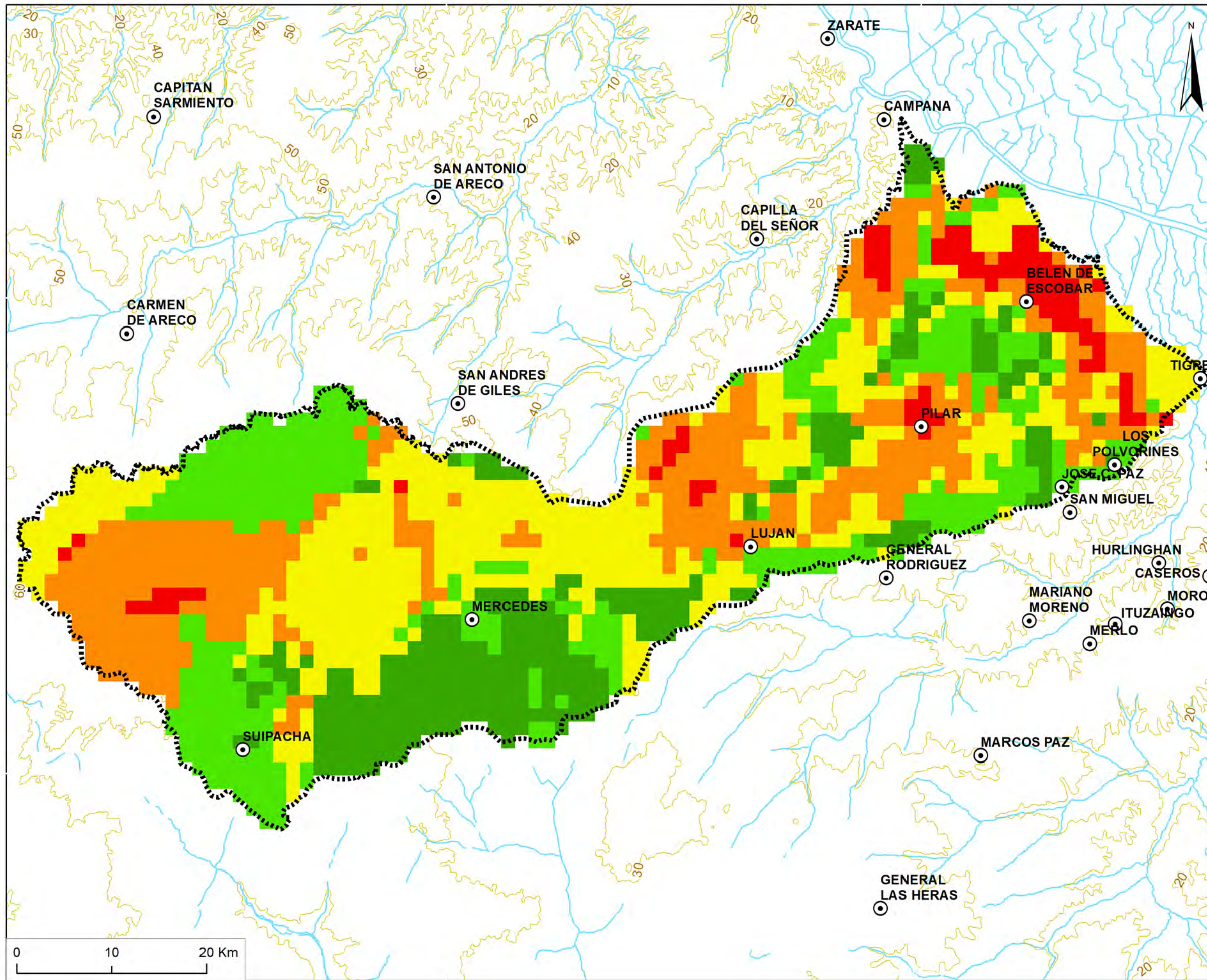
Autora: Mariana A. Paparás











## Vulnerabilidad Cuenca Río Luján

### Referencias

- ⊙ Cabecera de Partido
  - Curvas de nivel
  - Cursos de agua
- ### Vulnerabilidad
- Muy alta
  - Alta
  - Moderada
  - Baja
  - Muy baja
- Límite Cuenca Río Luján

1:400,000

Sist. Coord.: Campo Inchauspe, faja 5  
Proy.: Transversa Mercator  
Base topográfica IGN  
Autora: Mariana A. Paparás

