



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICO-QUÍMICAS  
Y NAURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

*Tesis de Licenciatura*



*Variaciones Espaciales Y Factores de Control Sobre la Dinámica e Hidroquímica del Acuífero Libre Asociado al Abanico Aluvial del Río Seco. Depto. de Río Cuarto. Córdoba.*

*Luciana M. Poveda*

*Directora: Mónica T. Blarasin  
Codirectora: Susana B. Degiovanni.*

*-2014-*

La Satisfacción no viene de los  
logros, sino con el esfuerzo...  
(Mahatma Gandhi)

# ÍNDICE

## Capítulo 1: Introducción, Objetivos, Materiales y Métodos

1.1. Introducción .....	2
1.2. Hipótesis de Trabajo.....	3
1.3. Objetivo General .....	4
1.4. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Ubicación del Área de estudio .....	4
1.6. Materiales y Métodos.....	5
1.6.1. Etapa de Gabinete Inicial .....	5
1.6.2. Etapa de Campo.....	6
1.6.3. Etapa de Laboratorio .....	7
1.6.4. Etapa de Gabinete Final.....	7

## Capítulo 2: Geología y Geomorfología Regional

2.1 Introducción .....	10
2.2. Geología Regional .....	11
2.2.1. Sierras Pampeanas.....	11
2.2.2. Sierras Pampeanas de Córdoba .....	12
2.2.3. Sierras de Comechingones .....	12
2.2.4. Llanura Chacopampeana .....	14
2.2.5. Planicie Pampeana.....	14
2.3. Estratigrafía Aflorante.....	14
2.4. Estratigrafía de Subsuelo.....	17
2.5. Historia Geológica .....	20
2.6. Estructuras de la Región.....	24
2.7. Geomorfología Regional.....	27

## Capítulo 3: Geología y Geomorfología Local

3.1. Geología.....	33
3.1.1. Estratigrafía .....	33
3.1.1.1. Unidades Aflorantes .....	33

3.1.1.2. Geología de Subsuelo .....	53
3.1.1.2.1. Perfiles de Perforaciones .....	53
3.1.1.2.2. Perfiles Esquemáticos de Subsuelo.....	55
3.1.2. Estructuras Locales.....	59
3.2. Geomorfología .....	60
3.2.1. Descripción de Unidades Geomorfológicas .....	62
3.3. Evolución Geológica de la Zona de Estudio, Abanico del Río seco en el marco Regional .....	81
<b>Capítulo 4: Uso Actual del Territorio</b>	
4.1. Introducción .....	86
4.2. Uso del Territorio en la Zona de Estudio .....	87
<b>Capítulo 5: Hidrometeorología Regional y Local</b>	
5.1. Hidrometeorología Regional .....	94
5.1.1. Introducción.....	94
5.1.2. Temperatura.....	94
5.1.3. Vientos.....	95
5.1.4. Precipitaciones.....	95
5.1.5. Evapotranspiración Potencial .....	96
5.1.6. Clasificación Climática .....	97
5.2. Hidrometeorología Local .....	98
5.2.1. Datos Hidrometeorológicos.....	98
5.2.2. Análisis de Precipitaciones.....	99
<b>Capítulo 6: Hidrología Superficial y Subterránea</b>	
6.1. Hidrología Regional .....	105
6.1.1. Hidrología Superficial .....	105
6.1.2. Hidrología Subterránea.....	107
6.1.2.1. Caracterización del Acuífero Libre .....	108
6.2. Hidrología Local .....	111
6.2.1. Hidrografía e Hidrodinámica Superficial .....	111
6.2.2. Hidrología e Hidrodinámica Subterránea .....	123

6.2.2.1. Acuífero Libre Zona Río Seco.....	123
6.2.2.1.1. Hidrolitología e Hidroestratigrafía Local.....	123
6.2.2.1.2. Hidrodinámica .....	127
6.2.2.2. Acuífero confinado .....	135
<b>Capítulo 7: Hidroquímica Regional y Local</b>	
7.1. Introducción .....	138
7.2. Hidroquímica Regional .....	140
7.3. Hidroquímica Local.....	141
7.3.1. Hidroquímica Superficial .....	141
7.3.2. Hidroquímica Subterránea.....	142
7.3.2.1. Acuífero Libre .....	142
7.3.2.1.1. Introducción.....	142
7.3.2.1.2. Conductividad Eléctrica.....	144
7.3.2.1.3. Clasificación Geoquímica.....	146
7.3.2.1.4. Análisis de la Relación Iónica Na <sup>+</sup> /Ca <sup>++</sup> .....	148
7.3.2.1.5. Elementos Minoritarios y Trazas (As, F y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )...	150
7.3.2.1.6. Análisis Bivariado de Caracteres hidroquímicos Asociados a la Geología-Geomorfología de la Zona .....	160
7.3.2.2. Acuífero Confinado .....	163
<b>Capítulo 8: Aptitudes de Uso</b>	
8.1. Introducción .....	165
8.2. Aspectos Toxicológicos (As, F y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	165
8.3. Aptitudes de Uso del Recurso Hídrico Subterráneo.....	171
<b>Capítulo 9: Conclusiones y Recomendaciones</b>	
9.1. Conclusiones .....	142
9.2. Recomendaciones.....	142
<b>Anexos .....</b>	<b>188</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>196</b>



## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por la hermosa vida que me regalo, por darme todo lo que tengo y por ser mi fuerza interior...*

*A la Universidad Nacional de Río Cuarto, por darme la oportunidad de crecer como persona y formarme, a través de su educación pública y gratuita.*

*A mi hermosa familia, que me hace inmensamente feliz. A mis papás Leti y Victor por el esfuerzo que hicieron para darnos la oportunidad de estudiar, por el apoyo incondicional, la perseverancia para salir adelante y por traer a Mateo a este mundo, la mayor alegría de la casa. A mis hermanas Ro y Cami por bancarme siempre, por ser compañeras y compinches y a Mateo que me alegra todos los días y me permite crecer junto con él, los amo familia, somos un gran equipo!!*

*A Joe, gracias por compartir conmigo este camino, gracias por cuidarme, por estar siempre ahí a mi lado, por alentarme... te amo.*

*A mis amigas del alma y de la vida, que me bancaron y apoyaron aún a la distancia y siempre confiaron en mí. Las quiero Ro, Payi, Neri, Maru, Leti, Yani, Vicky, Romi y Ale.*

*A mis amigos que siempre saben como levantarte el ánimo y están presentes ante cualquier cosa, Facu, Abel, Luciano y Andrés.*

*A esos compañeros amigos que me llevo de esta etapa, con los que compartí esta maravillosa vida de Universitaria y que son los responsables de mis mejores recuerdos en la Uni: Pablo, Joe, Bruno, Euge, Jesi, Mayco, Facu, Ale, Lulo, Pichi y Maríní.*

*A Mónica y Susana por acompañarme durante la realización de mi trabajo final, por su buena onda y predisposición, y sobre todo gracias por sus enseñanzas, dedicación y responsabilidad.*

*A las chicas de Hidro Jesi, Adriana, Edel, Magu, Mariana, Fatima, Laura y Luci, por su entera predisposición para ayudarme en las tareas de campo y laboratorio.*

*A Carlos Eric y Juan Felizzia por su colaboración en la realización de este trabajo.*

*A todos los docentes del Departamento de Geología, quienes desde los primeros años nos apoyan y nos guían, haciendo que nuestro paso por la Universidad sea ameno, lleno de charlas y anécdotas.*

# *CAPÍTULO 1*

*Introducción, Objetivos, Materiales y  
Métodos*

---



## **1.1- Introducción**

### **Presentación del Problema y Antecedentes**

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) y el World Water Assessment (WWAP) han reconocido el rol fundamental del agua subterránea en los estudios integrados de los recursos hídricos mundiales, destacando dos aspectos claves: (1) la necesidad de incluir su estudio en el contexto amplio del ciclo hidrológico, contemplando a los acuíferos como componentes vitales de una cuenca y (2) la necesidad de que el agua subterránea se integre con las dimensiones económicas, sociales y ecológicas, particularmente aquellas relacionadas a su uso y consecuencias (Vrba y Lipponen, 2007). El uso del agua de origen subterráneo en diversas actividades ha incrementado notoriamente en las últimas décadas debido, en general, a su buena calidad, alta fiabilidad durante las sequías y bajos costos de explotación.

En la provincia de Córdoba, constituida en gran parte por la Llanura Chacopampeana, las actividades socio-económicas más importantes que se desarrollan son la agricultura y la ganadería, observándose incluso en los últimos años el avance agropecuario en los valles serranos (Blarasin et al., 2005). Para sustentar ambas actividades y para los restantes usos, los habitantes del área se abastecen casi exclusivamente del recurso hídrico subterráneo. Sin embargo, para hacer el correcto manejo del recurso dentro de un marco de sustentabilidad, es imprescindible conocer sus características dinámicas, químicas y aptitudes, de modo tal de fomentar una planificación adecuada para su uso, en especial si se tiene en cuenta que uno de los principales problemas del agua subterránea en algunos sectores rurales es el alto contenido natural de sales, As y F y la contaminación derivada de actividades agropecuarias que aporta fundamentalmente nitratos (Blarasin et al., 2005).

El agua subterránea presenta una extendida ocurrencia en todo tipo de ambientes, exhibiendo diferentes características dinámicas y químicas, las cuales adaptándose a los múltiples factores que ejercen influencia sobre los sistemas hidrológicos, determinan la calidad y aptitud de uso de dicho recurso. Se incluye en esta variabilidad de ambientes el desarrollo de acuíferos emplazados en llanuras pedemontanas, como las que bordean las serranías ubicadas al O de la provincia de Córdoba. Estos ambientes responden a la presencia de bloques de basamento cercanos a la superficie, a la construcción durante el Cenozoico de bajadas pedemontanas constituidas por granulometrías en general gruesas y la presencia discontinua de una cubierta loessoide cuaternaria (Degiovanni, 2005). Estos múltiples factores, en su conjunto, favorecen el desarrollo de acuíferos, cuyos



caracteres hidrodinámicos (recarga, circulación, gradientes hidráulicos, descarga, caudales), si bien varían con la geomorfología y la litología, en general denotan significativas ventajas de cantidad y calidad de agua.

Los ambientes periserranos en la provincia de Córdoba conforman relieves poligénicos con fuerte control estructural, vinculados principalmente a cambios climáticos durante el Cuaternario, en cuya conformación generalmente interviene más de un agente modelador. Estos relieves incluyen el desarrollo de llanuras fluviales, asociadas a ríos de importante jerarquía que nacen en las serranías y atraviesan la provincia de O-E; y extensas planicies eólicas y fluvio-eólicas.

Los abanicos aluviales constituyen grandes formas de acumulación a partir de la acción fluvial, los cuales se generan al reducirse la capacidad de transporte de los ríos luego de abandonar los sectores montañosos. Los mismos corresponden a elementos geomorfológicos dinámicos, considerados como sistemas de transferencia de materiales erosionados desde áreas más elevadas a secciones deprimidas adyacentes.

Las dimensiones de los acuíferos asociados a abanicos aluviales son muy variables, tanto en su espesor vertical como en ancho, encontrándose espesores casi nulos o discontinuos de sedimentos hasta valores que superan el centenar de metros en vertical, y que sobrepasan el orden kilométrico en el plano horizontal (Escuder, et al. 2009).

Desde el punto de vista litológico, están normalmente constituidos por una mezcla o alternancia estratificada de arenas, gravas, limos y arcillas, muy frecuentemente en forma de lentejones usualmente intercalados y por lo general con un cierto grado de estratificación subhorizontal (Escuder, et al. 2009).

La localización, geometría y sedimentología de estas geoformas son aspectos a dilucidar ya que los abanicos son ámbitos de gran interés desde el punto de vista hidrogeológico, por lo que conocer las características del agua subterránea en el sector es de primordial interés para las actividades socio-productivas de la región.

Los sistemas de aguas subterráneas ubicados en ambientes periserranos son muy estudiados en todo el mundo debido a que, por su ubicación geológica, poseen en general, a pesar de las heterogeneidades litológicas, conductividades hidráulicas elevadas, pudiendo consecuentemente extraerse importantes caudales. Además por su cercanía a las zonas principales de recarga hidrológica es común que presenten alta potencialidad en cuanto a la calidad del agua. Los ambientes en los que se desarrollan los acuíferos son de dos tipos, los hay en medio fracturado (rocas del basamento en



aflorescimientos relícticos, dada la cercanía del ambiente serrano) y dominan aquellos de los medios sedimentarios detríticos, existiendo una estrecha relación entre ambos.

El agua subterránea del ambiente pedemontano de la Sierras de Comechingones presenta en numerosos sectores problemas de calidad natural (altos tenores de As y F) y otros derivados de las actividades humanas, tanto rurales como urbanas, reconocidos y estudiados en las dos últimas décadas (Blarasin et al. 2005, Giuliano Albo 2013, Avalis 2006, entre otros). Sin embargo, el agua subterránea es utilizada para todo tipo de emprendimientos.

Un claro ejemplo de acuífero sedimentario desarrollado sobre un abanico aluvial en ambiente pedemontano es el emplazado sobre el abanico aluvial del río Seco en la planicie periserrana oriental de las Sierras de Comechingones, el cual será objeto de análisis en este trabajo.

El río Seco pertenece a un curso típicamente efímero cuyo cauce se encuentra seco durante la mayor parte del año, aportando con su infiltración al sistema subterráneo. Corresponde al tramo extraserrano del río Alpa Corral-Las Barrancas con nacientes en las Sas. de Comechingones, que luego de infiltrarse en la salida serrana, adquiere dicho nombre.

Actualmente el río Seco, el cual confluye con el río Cuarto en relación ortogonal, se encuentra incidido sobre el abanico ya estable, denotando el abandono de los procesos de avulsión y derrames que dominaban su dinámica.

En este marco, el presente trabajo centrará su análisis en la dinámica y calidad del agua subterránea del acuífero libre desarrollado en la llanura pedemontana, ubicada al Sur-Este de las Sierras de Comechingones, con especial atención en el acuífero sedimentario desarrollado sobre las secuencias clásticas del abanico del río Seco. El propósito del mismo es avanzar en el conocimiento del comportamiento de los sistemas acuíferos periserranos, en relación con los aspectos geológicos-geomorfológicos que dominan en el sector, de modo tal de conocer sus características dinámicas y químicas y aptitudes de uso, de gran utilidad para fomentar una planificación adecuada para su uso y distribución.

## **1.2- Hipótesis de Trabajo**

La dinámica del agua subterránea del área seleccionada, y consecuentemente su calidad, si bien poseen influencia climática, están fundamentalmente condicionadas por factores geológicos (litológicos, estructurales, geomorfológicos).

### **1.3- Objetivo General**

Construir un modelo conceptual hidrodinámico e hidrogeoquímico del acuífero libre sedimentario pedemontano, alojado en secuencias clásticas del abanico del río Seco, estableciendo las relaciones con los aspectos geológico-geomorfológicos y sus variaciones espaciales, como base para la gestión del recurso hídrico.

### **1.4- Objetivos Específicos**

- ❖ Establecer las características geológicas-geomorfológicas del área de estudio
- ❖ Definir las principales características de uso del territorio del sector seleccionado
- ❖ Realizar la caracterización hidrogeológica del área, vinculando con el agua atmosférica y superficial
- ❖ Propender a la difusión de los resultados obtenidos en distintos ámbitos de la sociedad para favorecer mecanismos de respuesta socio-institucionales más adecuados para el uso y manejo de los recursos hídricos.

### **1.5- Ubicación del Área de Estudio**

La zona de estudio se ubica en la provincia de Córdoba en el departamento Río Cuarto, en el sector Sur-Oriental de las Sierras de Comechingones a menos de 20 km de la ciudad de Río Cuarto (Fig. 1.1).

Abarca un área total de 368 km<sup>2</sup>, ubicándose enteramente en zona rural, comprendiendo sólo las pequeñas comunas de Paso del Río Seco, La Invernada y Santa Rita. Se encuentra limitada al N, S y E por divisorias de aguas superficiales que la separan de la cuenca de los arroyos Tegua, La Colacha y Chucul, respectivamente. Hacia el O se determinó una línea arbitraria aproximadamente coincidente con el ápice del abanico, definida por el meridiano de 64° 40' de LO. Se puede acceder a la zona desde la Ruta Provincial N° 36 por el viejo camino a Alpa Corral (11), el cual atraviesa toda el área de estudio.

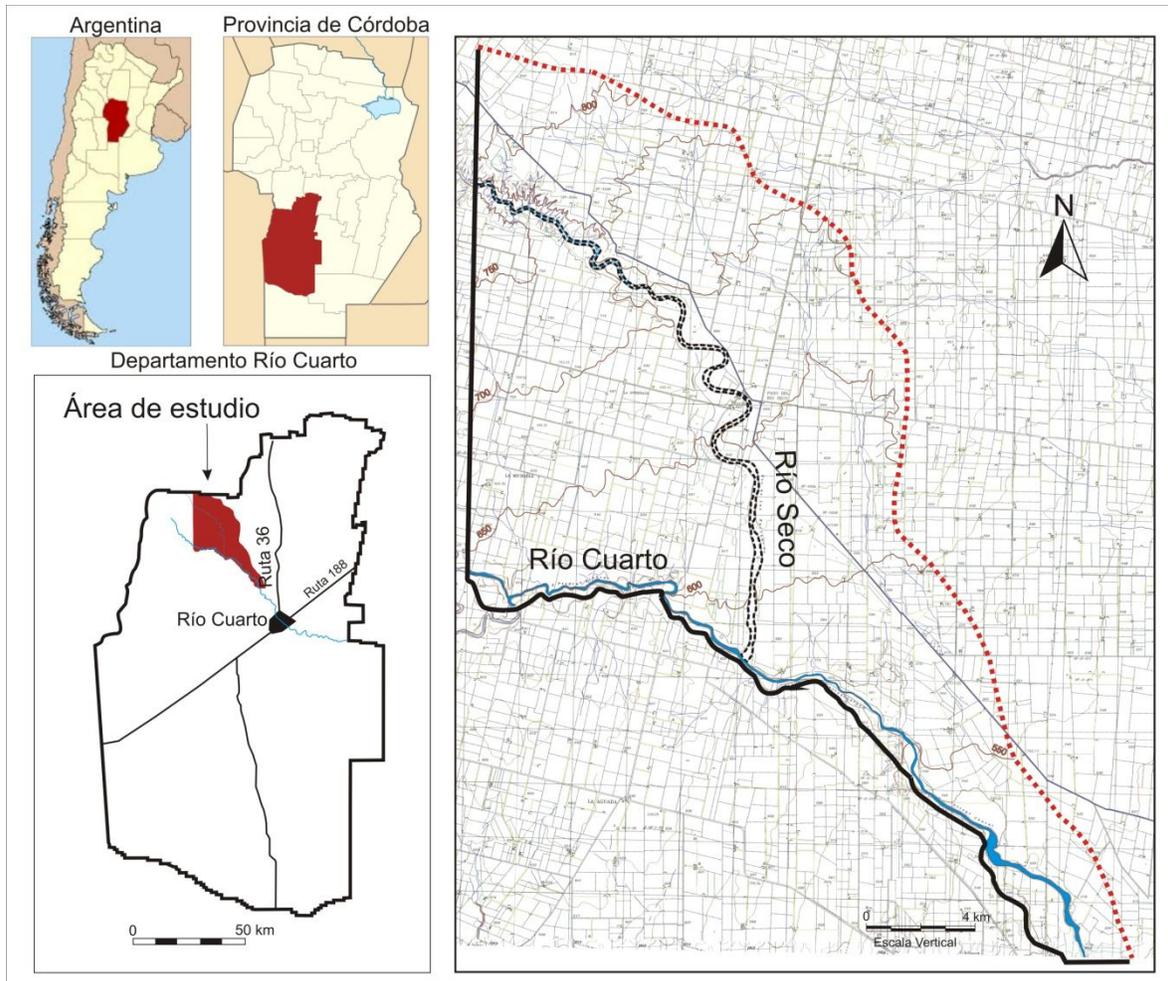


Figura 1.1: Mapa de ubicación del área de estudio.

## 1.6- Materiales y Métodos

Se han realizado distintas actividades que comprenden una etapa de gabinete inicial, salidas de campo, tareas de laboratorio y gabinete final, obteniéndose los resultados con los cuales se elaboró el presente documento. Las actividades realizadas comprenden:

### 1.6.1- Etapa de Gabinete Inicial:

-Lectura y análisis de antecedentes (bibliográficos, cartográficos, hidrometeorológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, etc.) del área de estudio y tema de investigación.

-Elaboración de cartografía preliminar, sobre las base de cartas topográficas 1:50.000 del IGN (Inst. Geográfico Nacional), fotografías aéreas 1:60.000 (1989), fotomosaicos 1:50.000 e imágenes satelitales del programa Google Earth.



-Elaboración de Mapa Geológico-Geomorfológico: Delimitación de unidades geomorfológicas preliminares, incluyendo aspectos genéticos, morfodinámicos y evolutivos. Selección de sitios para descripción de perfiles litológico-estratigráficos.

-Elaboración de Mapa Hidrográfico: Determinación de la red de escurrimientos superficiales (permanentes, temporarios y efímeros) y divisorias de aguas.

-Definición de una red preliminar de inventario de pozos con densidad adecuada a la zona seleccionada. La base topográfica utilizada es la del IGN a escala 1:50.000 (densidad aproximada de inventario 1 pozo cada 8-10 Km<sup>2</sup>).

-Caracterización hidrometeorológica, mediante el procesamiento de datos de lluvias cercanos a la zona de estudio (ciudad de Río Cuarto) y ETP con el programa PDIMES, que permitió calcular la evapotranspiración real y los déficit y excesos hídricos.

### **1.6.2- Etapa de campo:**

En esta etapa se relevaron y actualizaron los datos elaborados en gabinete.

-Se reconocieron las diferentes unidades geomorfológicas definidas de forma preliminar, describiendo perfiles litológicos representativos de las mismas, para la elaboración de cartografía definitiva.

-Se relevaron expeditivamente datos hidrológicos superficiales y se obtuvo información meteorológica adicional disponible en establecimientos particulares.

-Se relevaron las actividades de uso de la tierra en zona rural, la presencia de prácticas de riego, uso de agroquímicos, ubicación de tambos y feed-lots, etc.

-Se realizó el inventario de pozos, en los cuales se determinaron in situ niveles estáticos y/o dinámicos del acuífero libre con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora, además de pH, temperatura, conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto (OD) utilizando termómetro, peachímetro digital de campaña y sonda multiparamétrica Hanna. En algunos sitios se registró la información disponible respecto a los materiales del subsuelo atravesados por las perforaciones censadas y el detalle del diseño de las captaciones, además de la existencia de captaciones en otros niveles acuíferos.

-Se realizó la extracción de muestras de agua superficial y subterránea para posterior análisis físico-químico según técnicas convencionales.

-Se extrajeron muestras de sedimentos de ambientes geológicos típicos para su posterior análisis granulométrico.

### **1.6.3- Etapa de Laboratorio:**

En esta etapa se llevaron a cabo los análisis físico-químicos del agua subterránea y superficial en el Laboratorio de Geoquímica y análisis granulométricos en el laboratorio de Sedimentología, en el Departamento de Geología de la UNRC.

-En primer lugar, se midieron la conductividad eléctrica y las sales disueltas totales (SDT) con conductímetro Sprite y el pH mediante electrodo Orion 9104 y potenciómetro 710 A.

-Se realizó el análisis físico-químico donde se determinaron los aniones ( $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) mayoritarios, así como elementos trazas y minoritarios, flúor (F), arsénico (As) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

-Se realizó la determinación de  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  mediante titulación. Los cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se determinaron mediante el uso de fotómetro de llama (Fotómetro Metrolab 315); los fluoruros y nitratos mediante electrodo de ión selectivo Orion,  $\text{SO}_4^-$  mediante método conductimétrico y finalmente el As mediante un test semicuantitativo colorimétrico Merck.

-Las muestras de sedimentos tomadas en campo, fueron sometidas a análisis textural (tamices ASTM, escala Udden-Wendworth), obteniéndose los histogramas de % en peso de las distintas fracciones granulométricos y las curvas de frecuencia acumulada.

### **1.6.4- Etapa de gabinete final:**

-Se elaboraron los mapas hidrográfico y geológico-geomorfológico definitivos, los cuales fueron digitalizados por medio del programa AutoCAD 14, con versión final en Corel Draw. V.12

-Se elaboró e interpretó la información hidrometeorológica y se efectuó análisis estadístico-matemático. Además se realizaron balances hídricos edáficos modulares y seriados (Pdimes, Ravelo, 1990).

-Se evaluaron y cartografiaron las actividades de uso del territorio, para relacionar con las fuentes contaminantes y cambios de niveles freáticos.

-Se elaboró la cartografía hidrogeológica a la fecha del inventario realizado: mapa equipotencial del acuífero libre, mapa de isoprofundidad de niveles (estático), mapas hidroquímicos (de isosalinidad, de isolíneas de relaciones iónicas), entre otros.

-Se caracterizaron e interpretaron los aspectos hidrolitológicos y su influencia en los procesos hidrodinámicos e hidroquímicos (espesor de zona no saturada, granulometría



de los materiales, etc.), así como las relaciones de los materiales con los parámetros hidráulicos (Brassington 2007).

-Se elaboró la información hidroquímica de aguas a través de diagramas de Stiff.

-Por último, en función de la información obtenida, se realizó la evaluación final de los resultados hallados, mediante los cuales se generó el informe final de Tesis de Licenciatura en Geología.

# *CAPÍTULO 2*

## *Geología y Geomorfología Regional*

---



## 2.1- Introducción

El área de estudio, situada en el Centro-Oeste de la Provincia de Córdoba, comprende la transición entre el ambiente de Sierras Pampeanas y la Llanura Chaco-Pampeana, constituyendo un importante ambiente agradacional pedemontano (Degiovanni 2005) (Fig. 2.1).

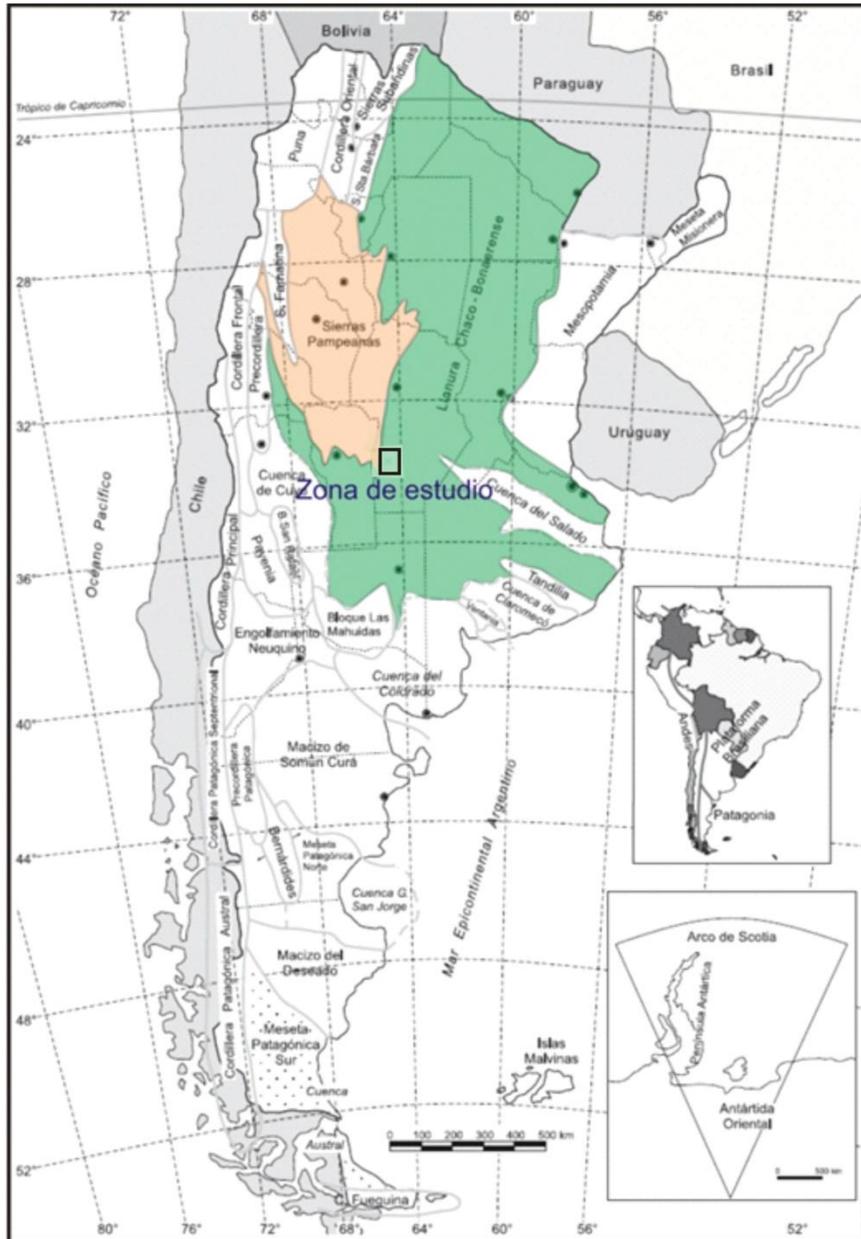


Figura 2.1: Ubicación de la zona de estudio en el marco regional de Provincias Geológicas.

## 2.2- Geología Regional

### 2.2.1- Sierras Pampeanas

Corresponden a una macrounidad morfoestructural de rumbo meridiano a submeridiano que se encuentra en el antepaís del cinturón Andino abarcando las provincias de Catamarca, La Rioja, Tucumán, San Juan, Santiago del Estero, San Luis, Córdoba y Mendoza. Están formadas por cordones serranos de basamento cristalino ígneo-metamórfico de edad Precámbrica a Paleozoica Superior (Rapela et al. 1998), elevados por fallas inversas lítricas durante la tectónica Andina, separados por sedimentos intermontanos Mesozoicos y Cenozoicos (Fig. 2.2). Se ubican en la porción Sur de la Placa Sudamericana y limitan al Norte con la Cordillera Oriental y la Puna, al Este y al Sur con la Llanura Chaco-Pampeana y al Oeste con la Precordillera de San Juan. Presentan una morfología marcadamente asimétrica, debido al desarrollo de escarpas de gran altura en el borde Occidental y relieves tendidos de menores pendientes en el faldeo Oriental (Gordillo y Lencinas, 1979).

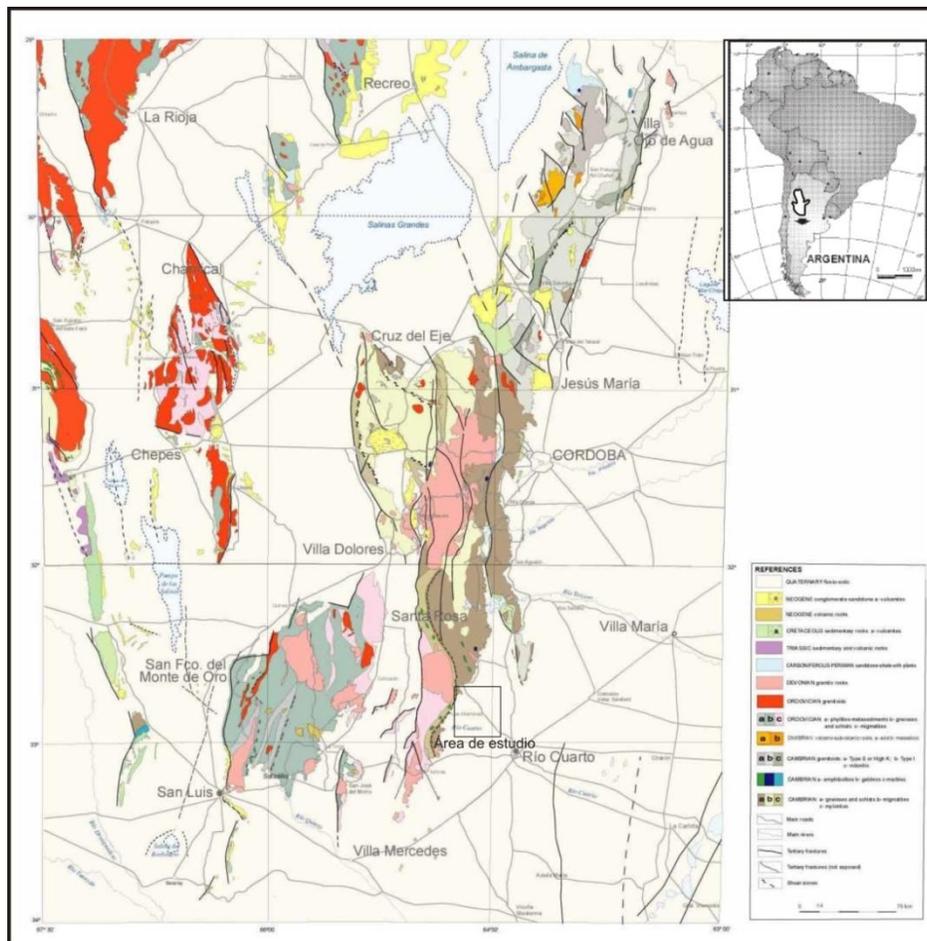


Figura 2.2: Mapa geológico de las Sierras Pampeanas. Fuente: SEGEMAR.

### **2.2.2- Sierras Pampeanas de Córdoba**

Constituyen el grupo de serranías más orientales de la provincia geológica de Sierras Pampeanas (Fig. 2.2). Se extienden por aproximadamente 500 km de largo y 150 km de ancho, entre 29° 00' - 33° 30' LS y 64° 00' - 65° 30' LO. Están conformadas por cuatro cordones mayores (sierras de Guasapampa, Pocho y Altautina; sierras Grande y de Comechingones; sierras Chica y de Las Peñas) y dos menores (sierra del Coro y del Tigre), compuestos por rocas cristalinas de edad precámbrica a paleozoica inferior y granitoides paleozoicos, orientados Norte-Sur y separados por sedimentos intermontanos Mesozoicos y Cenozoicos (Martino, 2003).

El basamento cristalino de Sierras Pampeanas de Córdoba está integrado principalmente por metamorfitas para y ortoderivadas, que en su mayoría se encuentran en facies de anfibolita (grado medio), representadas esencialmente por esquistos y gneis de edad Proterozoica a Paleozoica Inferior (Linares y González, 1990). Subordinados con respecto a las litologías anteriores, afloran cuerpos de mármoles, anfibolitas, metacuarcitas, esquistos filíticos y fajas discontinuas de rocas máficas y ultramáficas.

El conjunto rocoso se encuentra complejamente deformado, reconociéndose varias fases de plegamiento (Dalla Salda 1984), e importantes fajas de cizallamiento dúctil que dan lugar a la formación de milonitas y rocas relacionadas. Estas metamorfitas constituyen el principal entorno encajante de los cuerpos graníticos intruídos durante el Paleozoico, algunos de los cuales presentan dimensiones batolíticas, como Cerro Aspero y Achala, entre otros (Lira y Kirschbaum 1990, Rapela et al. 1991).

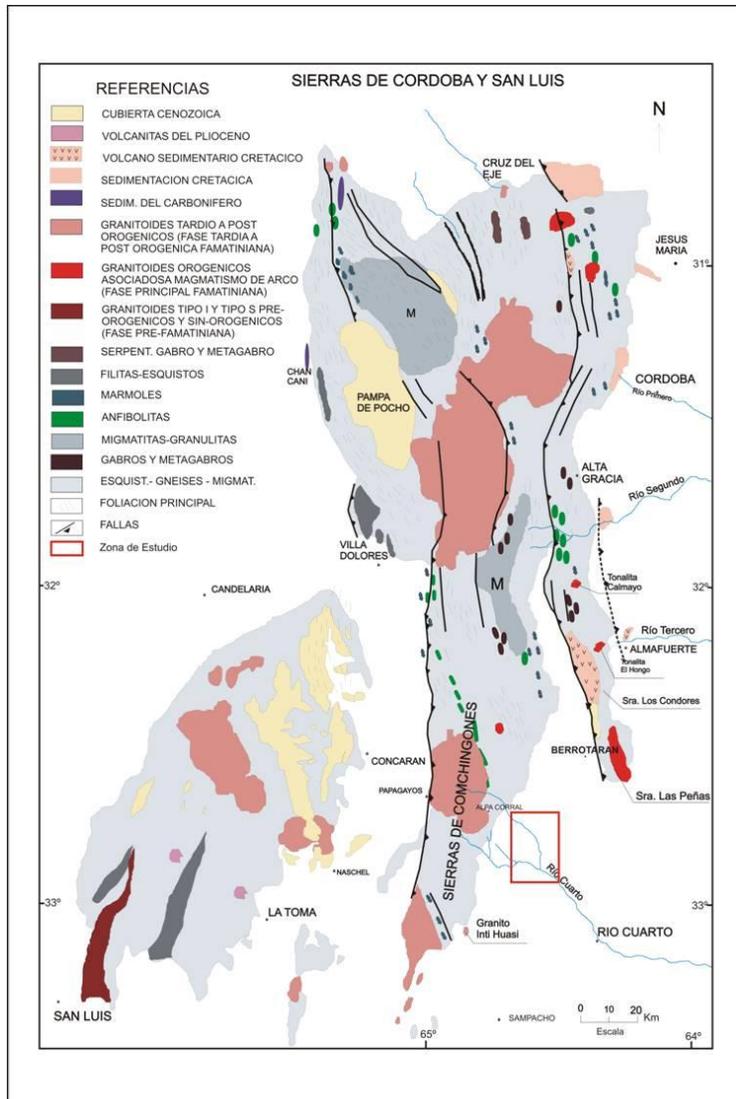
En cuanto a la estructura del basamento cristalino de las Sierras de Córdoba, el mismo es el resultado de la sobreimposición de eventos metamórficos y dinámicos cuyas principales fases de deformación se desarrollaron durante los ciclos orogénicos Pampeano, Famatiniano, Achaliano y Andino. El estilo de la deformación de cada uno de los ciclos originó un complejo diseño de elementos estructurales, que generaron anisotropías y zonas de debilidad en el basamento, como fallas normales, suturas, etc.; dichas discontinuidades, incrementadas por el aumento del flujo térmico (Ramos et. al., 2002), ejercieron el principal control para el levantamiento de las Sierras Pampeanas durante la tectónica del Ciclo Andino.

### 2.2.3- Sierras de Comechingones

Corresponden a un cordón serrano de rumbo NNE-SSO, el cual presenta en sentido E-O, la clásica asimetría de Pampeanas con descensos escalonados, con máximas alturas en su borde Occidental mientras que el faldeo Oriental posee pendientes suaves y tendidas.

El basamento de las mismas presenta un dominio metamórfico de gneises, esquistos y migmatitas, intruidos por el batolito Cerro Áspero y deformado por la faja de cizalla Guacha Corral (Fig.2.3). El Batolito Cerro Áspero, es un complejo granítico de 440 km<sup>2</sup> de extensión, de forma elipsoidal con su eje mayor orientado submeridionalmente, de edad Devónico Medio que intruye rocas metamórficas de grado medio y alto (gneises, esquistos, anfibolitas, piroxenitas y migmatitas heterogéneas) (Pinotti et al., 1996). Está integrado principalmente por monzogranitos con variaciones que pueden llegar hasta granodioritas y tonalitas. En él se distinguen tres plutones: Alpa Corral (50 km<sup>2</sup>), El Talita (385 km<sup>2</sup>) y Los Cerros (5 km<sup>2</sup>), (Pinotti, 1998).

La faja de cizalla Guacha Corral, es una de las más extensas de las Sierras de Córdoba, tiene un ancho promedio de 20 km y se extiende por más de 120 km desde el batolito de Achala, en el Norte, hasta la culminación de las Sas de Comechingones al Sur



**Figura 2.3:** Mapa geológico de las Sierras de Comechingones modificado de Pinotti (1998).

(Pinotti, 1998; Pinotti et al., 2002). Todos los trabajos previos determinaron rocas protomiloníticas, miloníticas y ultramilonitas subordinadas, mostrando una cinemática inversa predominante, con vergencia hacia el Oeste.

#### **2.2.4- Llanura Chacopampeana**

La llanura Chacopampeana forma parte de una macrounidad morfoestructural mayor que atraviesa todo el continente sudamericano, desde los llanos de Colombia y Venezuela al Norte, hasta las pampas de la República Argentina al Sur. Corresponde a una extensa planicie agradacional con tendencia negativa, la cual alberga potentes secuencias sedimentarias, marinas y continentales. El espesor de la sucesión sedimentaria no es uniforme, sino que se reconocen diferentes cuencas separadas entre sí por altos y dorsales, aunque probablemente para los términos más antiguos el área se haya comportado como una única zona negativa (Russo et al., 1979).

La Llanura Chacopampeana se encuentra en un sector de la corteza tectónicamente poco activo, cuyas variaciones en el relieve se relacionan principalmente a la presencia de bloques estructurales, algunos de ellos con probada actividad neotectónica, y a los ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario (Degiovanni et al. 2005). Morfológicamente se caracteriza por presentar geoformas de origen predominantemente eólico con fluviales y palustres subordinadas, asociadas a las variaciones climáticas Cuaternarias.

#### **2.2.5- Planicie Pampeana**

La planicie Pampeana en la provincia de Córdoba, posee una pendiente general Este-Sudeste, y se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado al pie de las sierras que gradualmente se suaviza hacia el Este.

En la totalidad de la planicie pampeana cordobesa afloran materiales Cenozoicos, especialmente Cuaternarios del Plio-Pleistoceno a Holoceno (Cantú, 1992). Unidades más antiguas se conocen a través de perforaciones profundas con fines exploratorios realizadas por YPF (Santiago Temple, Camilo Aldao y Ordóñez ) y una tercera efectuada por la empresa Hunt Oil Co. al Norte de la localidad de General Levalle.

### **2.3- Estratigrafía Aflorante**

Los materiales correspondientes a la Llanura Pampeana, aflorantes en la región Sur de la Provincia de Córdoba, fueron descriptos por Cantú (1992), incluyendo desde unidades sedimentarias Plio-Pleistocenas hasta Holocenas. Las mismas corresponden a:

## **PLIOCENO- PLEISTOCENO**

**Fm. Alpa Corral:** se compone de arenas finas con gravas dispersas y arenas medias a gruesas con niveles de gravas intercaladas. Su génesis se describe como correspondiente a un ambiente fluvial de moderada a alta energía, dentro de un abanico aluvial (Eric, 1986). Estas corresponden a los materiales cenozoicos más antiguos aflorantes en el Sur de Córdoba y se encuentran en el cono aluvial del río Alpa Corral (Cantú, 1992). La edad de esta Formación no ha sido aún definida pero sobre la base de consideraciones geológicas Cantú (1992) la ubicó en el límite Plio-Pleistoceno.

**Fm. Pampiano:** corresponde a depósitos fluviales de variada energía de transporte. Puede presentarse formada por sedimentos limosos o limo-arenosos muy finos, y hasta por conglomerados fuertemente cementados por carbonatos. También se presenta como limos eólicos (loess) pardos con niveles de calcretos. Se compone esencialmente por dos miembros: uno inferior constituido por materiales limosos y limoarenosos muy finos, de color pardo rojizo, con varios niveles conteniendo nódulos de cementación con hierro y subordinadamente con sílice que dan lugar a sectores de cementación continua. Este miembro corresponde a depósitos de canal, de llanura de inundación y probablemente palustres. El miembro superior está compuesto por limos eólicos (loess) de color pardo rojizo y pardo amarillentos que incluyen niveles tabulares y continuos de calcretos. La edad relativa teniendo en cuenta los materiales infra y suprayacentes sería Pleistoceno Medio a Superior (Cantú, 1992).

**Geosuelo Estancia El Cerrito:** sobre los materiales de la Fm. Pampiano se desarrolló un suelo muy evolucionado que se encuentra representado por dos horizontes relicticos y discontinuos: Bt y BC (Cantú, 1992). Este suelo es una evidencia notable de un período suficientemente largo y húmedo que permitió su desarrollo en las zonas de interfluvio, dado que contiene importantes proporciones de arcillas iluviadas. Cantú (1992) estima una edad Pleistocena Superior para la época interglaciar en la que se desarrolló el Geosuelo.

**Fm. Chocancharava:** está formada por facies clásticas de psamitas y psefitas, con estructuras de corte y relleno, con tendencia general granodecreciente, interpretadas

como facies típicas de canales fluviales entrelazados, facies de alta energía y flujos de barro. Se encuentran también materiales pelíticos verde amarillentos con rizoconcreciones asociadas a ambientes leníticos. Aflora en cárcavas y barrancas de casi todos los ríos y arroyos del SO de la provincia y se asocia a un ciclo fluvial de gran importancia ocurrido durante un periodo interglaciar. Cantú (1992) le asigna una edad Pleistocena Superior Tardía sincrónica con el Geosuelo Estancia El Cerrito.

## **PLEISTOCENO-HOLOCENO**

**Fm. La Invernada:** está compuesta por secuencias de material limoso masivo (loess), en mantos tabulares, de espesor variable, desde escasos centímetros hasta varios metros de potencia que conforman un manto de loess generalizado, que cubre incluso las pampas de altura de las Sierras Pampeanas (Cantú, 1992). Estos mantos de granulometrías limosas y limo-arenosas, carentes de estructuras, presentan hacia el techo canales de erosión de tipo efímero, con relleno generalmente limoso arcilloso y estructura laminar planar muy fina. Este material según Cantú (1992), de acuerdo con las dataciones y correlaciones existentes entre el clima interpluvial y las glaciaciones, se determina que se depositaron entre el Pleistoceno Superior tardío y el Holoceno Bajo.

**Suelo Las Tapias:** este corresponde a una unidad edafo-estratigráfica desarrollada sobre los sedimentos eólicos de la Fm La Invernada, presenta un desarrollo variable según su posición en el relieve y una distribución geográfica muy amplia, incluyendo las Pampas de Altura de las sierras. Se estima que este suelo se desarrolló entre los 9500 y los 4000 a A.P. Holoceno (Cantú, 1992).

**Fm Arroyo Las Lajas:** se compone de gravas, arenas y limos. Representa un ciclo fluvial de escasa magnitud compuesto por canales que cortan el suelo Las Tapias. Dichos canales presentan fondo plano con paredes verticales a sub-verticales, rellenos por depósitos aluviales, coluviales y eólicos (Cantú, 1992). Según este autor estos materiales se depositaron durante el Holoceno Medio.

**Fm Laguna Oscura:** ésta formación se compone de arenas muy finas eólicas, de gran extensión areal, que se distribuyen de forma continua y principalmente conformando dunas longitudinales en fajas de rumbo N 25°. En su composición dominan arenas finas y

muy finas (en las que abundan el cuarzo, feldespato y vidrio volcánico), con escasos porcentajes de limos y arcillas. La parte superior de dicha formación se encuentra edafizada en algunos sectores y formando depósitos medanosos resultantes del retrabajo local en otros. Según Cantú (1992) la edad de esta Formación sería Holoceno Superior a la Actualidad.

## 2.4- Estratigrafía del Subsuelo

Las unidades estratigráficas correspondientes al subsuelo cordobés de la Llanura Chacopampeana, fueron descritas por Chebli et al. (1999), Degiovanni et al. (2005), entre otros, en base a los datos de perforaciones someras y profundas, éstas últimas realizadas para la exploración petrolera en General Levalle, Santiago Temple, Camilo Aldao y Ordóñez en diferentes épocas.

### **NEOPROTEROZOICO- PALEOZOICO INFERIOR**

**Basamento Cristalino:** De acuerdo a los antecedentes (Russo et al., 1979) se puede establecer que el basamento del subsuelo del área, está constituido por rocas ígneas y metamórficas de diverso grado (Degiovanni et al., 2005) asociadas al basamento que conforman las Sierras Pampeanas. Dicho basamento fue estudiado por distintos autores entre los que pueden mencionarse a Gordillo y Lencinas (1979), Fagiano et al. (1993) entre otros, estableciendo una edad para el mismo de Neoproterozoico a Paleozoico Superior, mientras que el magmatismo que permitió el emplazamiento de los materiales ígneos se asignó al Silúrico superior- Carbonífero Inferior.

### **CARBONÍFERO- PÉRMICO**

**Fm sin denominación formal:** en la perforación de Ordóñez, por debajo de los 2.000 m (bajo boca de pozo) se hallaron depósitos marinos de reducido espesor, correspondientes a una fina intercalación de materiales de origen marino con restos de microplancton, constituyendo un depósito único y discontinuo. Para la misma edad Chebli et al. (1999) atribuyen secuencias continentales agrupadas en las Formaciones Victoriano Rodríguez y Ordóñez (Degiovanni et al., 2005).

**Fm Ordóñez:** está integrada esencialmente por areniscas feldespáticas, micáceas, con algunos conglomerados finos y por pelitas grises, verdosas y negruzcas, en parte carbonosas, que contienen restos de vegetación carbonizados (Chebli et al., 1999).

**Fm Victoriano Rodríguez:** se compone de areniscas, limolitas y arcilitas de colores rojizos, grisáceos y morados; los tonos rojizos predominan en la parte superior (Chebli et al., 1999).

## MESOZOICO

### CRETÁCICO

Se ha reconocido en el subsuelo (perforación Gral. Levalle) una potente columna volcano-sedimentaria correlacionable con las unidades aflorantes a lo largo del borde Oriental de la Sierra Chica y en particular en el sector Sur de la misma, en la Sierra de Los Cóndores y pequeños afloramientos al Sur de la Sierra de Comechingones (Chaján) En superficie para dicha Sierra, Gordillo y Lencinas (1967, 1979) describen el denominado *Grupo Sierra de Los Cóndores* constituido por: *Fm. Embalse Río Tercero* (ortoconglomerados polimícticos, areniscas y limoareniscas laminadas); *Fm Vulcanitas Cerro Colorado* (traquitas calcoalcalinas, traquibasaltos y basaltos picríticos); *Fm. Conglomerado Cerro Libertad* (formada por ortoconglomerados polimícticos) y *Fm. Vulcanitas Rumipalla* (traquitas alcalinas y traquibasaltos). En la perforación de General Levalle se han reconocido las siguientes unidades:

**Fm General Levalle:** se compone de cuatro miembros: Miembro Areniscas Inferiores de Rift, Miembro Evaporitas, Miembro Limolitas Yesíferas y Miembro Areniscas Superiores de Rift, representando una secuencia continua granodecreciente, desde materiales clásticos gruesos en sus miembros inferiores, hasta el miembro evaporítico superior. Se las asigna tentativamente al Cretácico Inferior, por encontrarse debajo de los basaltos Cretácicos.

**Fm Serra Geral:** corresponden potentes espesores de coladas basálticas, intercaladas con niveles clásticos, compuestos de areniscas y pelitas rojas. Estos son interpretados como típicos basaltos alcali-olivínicos de área de rift. En base a las dataciones realizadas se determinan edades de 110 Ma (Cretácico Inferior).

**Fm Tacuarembó:** corresponde a una unidad de areniscas anaranjadas que según Padula y Mingramm (1963) pueden asociarse estrechamente a efusiones basálticas. En la perforación realizada en General Levalle se reconocieron aproximadamente 810 m de

areniscas, arcósicas en el techo, con intercalaciones de limolitas arcillosas y arcillitas limolíticas rojas en la sección media. Se les asigna edad Cretácica.

**Fm Mariano Boedo:** corresponden a areniscas rojas, con granos de cuarzo manchados por óxidos de Fe que indican una sedimentación vinculada a ambientes continentales oxidantes y calizas arenosas o areniscas calcáreas, definidas como depósitos marinos cercanos a la costa (Padula y Mingham, 1968). Se le asigna a la unidad una edad Cretácica Superior-Paleocena.

## **CENOZOICO:**

### **EOCENO-MIOCENO INFERIOR**

**Fm Chaco:** está compuesta por arcillitas rosadas y castañas, con intercalaciones de yeso y anhidrita, que son abundantes en su porción inferior.

En la Cuenca de Levalle consiste en 90 m de niveles arenosos, limolíticos y arcillíticos de color castaño, esta unidad de la perforación de Levalle se ha correlacionado con la Formación Chaco descrita en la Cuenca chaco-paranaense, asignándole una edad de Eoceno Mioceno Inferior.

### **MIOCENO**

**Fm Paraná:** representa la etapa transgresiva del mar Paranaense. Se compone casi totalmente por arcillitas de colores verdosos, azulados con restos de fósiles marinos. El mar paranaense, somero y de aguas templadas a cálidas según Russo et al. (1979), fue identificado en la cuenca de Laboulaye. En la perforación de Gral. Levalle fue identificada fácilmente, constituida por arcillas verdes, blandas, masivas, no calcáreas. Los abundantes restos de polen y microfósiles calcáreos de esta breve ingesión marina permiten asignarle a la Formación, una edad Miocena.

**Fm Tigre Muerto:** se compone de potentes bancos de limos cementados, limos y arcillas oscuras correspondientes a facies leníticas palustres y arcillas ocreas con intercalaciones de arenas y gravas. Se las interpreta como correspondientes a secuencias continentales fluviales, lagunares y palustres en las que suelen intercalarse limos eólicos subordinados. Blarasin et al. (2000) la asignan edad Mioceno al correlacionarla con la Fm. Paraná, de origen marino, que ha sido alumbrada en perforaciones del Este provincial.

## PLIOCENO SUPERIOR-PLEISTOCENO INFERIOR

**Fm Puelches:** está constituida por areniscas friables, vari colores, de grano fino hasta grueso, ocasionalmente conglomerádicas y pobremente seleccionadas. En la perforación de Ordoñez se registraron 70 m de espesor. Son areniscas, altamente cuarzosas en su tramo superior pero rápidamente se transforman en conglomerádicas y arcósicas en profundidad. Todo el paquete es prácticamente inconsolidado. Interestratificado en la secuencia aparecen algunos niveles de limolitas castañas y de arcillitas gris rojizas (Doering, 1882; Santa Cruz, 1972). Representa la base de los depósitos Cuaternarios, aunque algunos autores le asignan una edad ligeramente mayor, ubicando sus niveles más bajos en el Plioceno superior.

En la figura 2.4 se muestra una síntesis de la columna estratigráfica regional (Blarasin 2003 y Degiovanni et al. 2005).

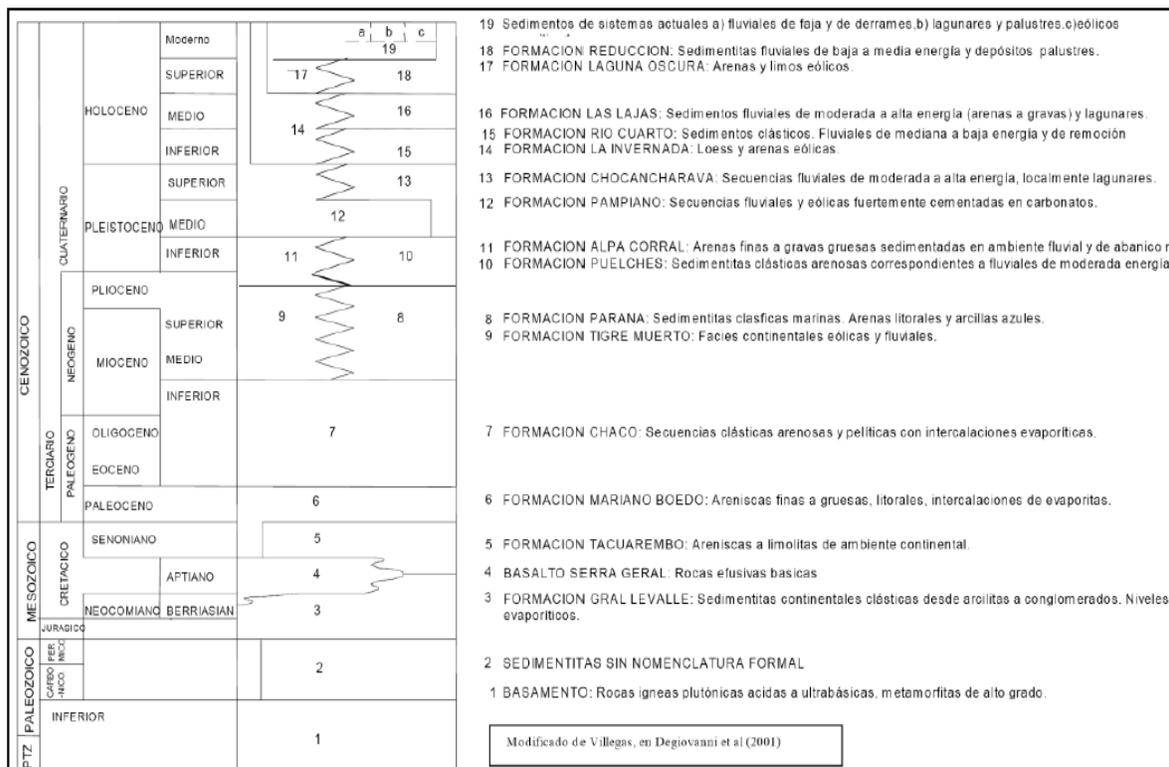


Figura 2.4: Cuadro Estratigráfico General. Fuente: Blarasin 2003.

## 2.5- Historia geológica

Se resume a continuación la historia geológica de la región planteada por Chebli et al., (1999), Blarasin et al. (2000) y Degiovanni et al. (2005).

La Llanura Chaco-Pampeana se caracteriza por constituir una zona regionalmente

negativa, donde se han acumulado durante su historia geológica, potentes secuencias sedimentarias continentales y marinas. Su basamento cristalino se encuentra dislocado, conformando bloques diferencialmente desplazados que constituyen importantes depresiones separadas por altos estructurales (Chebli et al., 1999). La Llanura Chaco Pampeana representa una cuenca de historia compleja formada por diferentes procesos de subsidencia, afectada por diferentes eventos tectónicos.

Para el **Paleozoico inferior**, diversos autores proponen que la región se encontraba bajo un régimen distensivo, con diferentes depocentros, de los cuales sólo se conoce el relleno del hemigraben Cambro-Ordovícico, conocido como subcuenca Las Breñas (Pezzi y Mozetic, 1989) en el Norte, sobre el que se asientan en discordancia las secuencias Siluro-Devónicas. En los pozos Ordóñez, Santiago Temple y Camilo Aldao, de la provincia de Córdoba, no fueron halladas estas secuencias.

Durante los períodos **Carbonífero-Pérmico**, el régimen tectónico fue compresivo con subducción Pacífica buzando al Este. Según Chebli et al. (1999) los sedimentos neopaleozoicos, yacen discordantes sobre secuencias devónicas y silúricas y basamento cristalino. Durante este período la cuenca presenta una conspicua sedimentación de geometría simétrica, posiblemente controlada por subsidencia térmica, con depósitos continentales y marinos asociados a los típicos depósitos glaciarios que caracterizan a las sedimentitas del Carbonífero Superior (Ramos, 1999). Todas las perforaciones ubicadas dentro de los límites de la cuenca Chacoparanaense han encontrado depósitos gondwánicos, a excepción del alto de Camilo Aldao, donde probablemente fueron erosionados. Fuera de este, la cuenca se conforma como una enorme cubeta con algunos depocentros como la subcuenca de Ordóñez en donde se reconocieron las Fm. Ordóñez y Victoriano Rodríguez.

Durante el **Pérmico Tardío-Triásico Temprano** se modifica el régimen de esfuerzo compresional pasando a extensional, llevando al desarrollo de los rift triásicos, que se instalan en las zonas de debilidad propiciadas por las suturas paleozoicas.

Una nueva actividad de subsidencia extensional se produce a partir del **Jurásico Superior - Cretácico Inferior** con la culminación del ciclo orogénico Gondwánico, inicio del ciclo orogénico Patagónico (Ramos 1999). Según Russo et al. (1979), es posible que como consecuencia de estos movimientos tectónicos del Jurásico, la cuenca que anteriormente se habría comportado como una única zona negativa mayor, debiera separarse en una serie de cuencas menores, de estilo tectónico similar, generando para

el Cretácico depocentros aislados como las cuencas de Macachín, Levalle-Laboulaye, Salado, Colorado, Chacoparanaense y de Los Cóndores (Chebli et al. 1999).

Potentes depósitos eólicos y fluviales cubren las secuencias de ciclos anteriores, culminando con un importante período de volcanismo extensional, representado por extensos basaltos de composición predominantemente tholeítica (Fm Serra Geral), asociada a la acción de plumas o puntos calientes procedentes del manto inferior, vinculados a la ruptura y formación del margen atlántico.

La cuenca Chaco-Paranaense culmina en el **Cenozoico** con la sedimentación correspondiente a depósitos distales de cuencas de antepaís, dominados por materiales fluviales y eólicos controlados finalmente, por las variaciones climáticas Cuaternarias.

Según Russo et al. (1979) hacia el final del **Paleoceno (Eoceno-Mioceno inferior)** se produce una fuerte regresión y se depositan discordantemente sedimentos continentales que representan una secuencia de llanura aluvial (Fm. Chaco).

Posteriormente, en el subciclo Paleógeno del ciclo Ándico (Ramos, 1999) se produce la inversión del régimen tectónico a compresivo. A partir de lo cual, tanto el desarrollo del subciclo **Neógeno** como **Paleógeno** fueron controlados por las variaciones de velocidad de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana.

Durante el **Mioceno-Plioceno**, al producirse la segmentación de los Andes, las suturas eopaleozoicas y las fallas normales **Paleozoicas-Mesozoicas** afectadas por la inversión tectónica se transforman, en su mayoría, en fallas inversas de alto ángulo buzantes al Este.

En la llanura, según Chebli et al. (1999), el bloque de Levalle constituye la única manifestación de inversión Cenozoica en subsuelo. Esta inversión, al igual que la última reactivación y levantamiento de las sierras Pampeanas, se producen en respuesta a la horizontalización de la placa oceánica de Nazca, a la latitud aproximada de 32° S (Jordan y Allmendinger 1986).

Hacia el **Mioceno** se produce una nueva transgresión marina de aguas someras y cálidas, correspondiente a la Fm. Paraná, cuyos sedimentos tienen una amplia distribución areal, reconociéndose en la Mesopotamia, provincia de Buenos Aires, Santa Fe y Este de Córdoba. Para esa misma época en el sector Occidental de la provincia el ambiente de depositación era continental (Fm. Tigre Muerto). El ambiente de sedimentación correspondía a facies fluviales distales, palustres-lacustres y eólicas.

Hacia el límite **Mioceno-Plioceno** se depositaron importantes secuencias fluviales de la Fm. Alpa Corral, que hacia el Este van gradando a la Fm. Puelches, ambas se asocian

a un régimen de mayor energía vinculado al último movimiento ándico y en persistencia de condiciones húmedas.

Durante el **Pleistoceno medio a superior**, en amplios sectores de la llanura central argentina se depositó la Fm. Pampiano, la cual indica una aridización climática para la época.

Durante el **Pleistoceno Superior** el clima se tornó más húmedo (vinculado al período interstadial del Wisconsin medio), lo que generó la depositación de importantes espesores fluviales de moderada a alta energía, localmente lagunares (Fm. Chocancharava) que contribuyó a la generación de una superficie erosiva de extensión regional, labrándose importantes valles en la Fm. Pampiano.

Coetáneamente con esta importante actividad fluvial, en los interfluvios se generaron suelos con perfiles muy desarrollados (Geosuelo Ea. El Cerrito) (Cantú 1992).

Hacia el límite **Pleistoceno-Holoceno** y coincidente con el máximo glacial de Wisconsin, se instaló en la planicie argentina un ambiente muy árido que generó la depositación de una potente secuencia de materiales loésicos, de gran extensión regional, correspondiente a la Fm. La Invernada (Cantú 1992). Durante este período los sistemas fluviales menores de la zona se obliteraron mientras que algunos intermedios generaron importantes abanicos en la salida extraserrana.

En el **Holoceno bajo** y medio acaecieron condiciones más húmedas, coincidentes con el período denominado Optimum Climaticum, que favorecieron la reinstalación de redes de drenaje, ambientes leníticos y desarrollo de suelos en los interfluvios (Suelo Las Tapias, Cantú 1992). Las secuencias fluviales depositadas son de mediana a baja energía y granodecipientes (Fm. Las Lajas), la que se encuentra rellenando gran parte de los valles pleistocenos, indicando una tendencia a la menor disponibilidad de agua y aridización del clima, (Cantú, 1992).

El **Holoceno Superior**, con condiciones climáticas secas y semiáridas, favorece la depositación de secuencias limo-arenosas muy finas (Fm. Laguna Oscura), que cubre casi toda la región y presenta una morfología de dunas longitudinales actualmente bastante disipadas y discontinuas. Para esa época los sistemas fluviales más importantes como el río Cuarto, desarrollaron abanicos, mientras que los menores se desactivaron o derramaron a la salida de la Sierra de Comechingones. Según Iriando (1999) aproximadamente a los 1.400 años AP, se instalan las condiciones climáticas actuales, predominantemente húmedas. Esto favoreció la formación de suelos de mediano desarrollo (Hapludoles y Haplustoles dominantes) en los interfluvios y la reinstalación de las redes

de drenaje actuales, con amplios sectores de drenaje impedido en los bloques más deprimidos.

Este ciclo húmedo fue interrumpido en tiempos históricos, por condiciones más áridas asociadas a un nuevo avance glacial, que se conoce internacionalmente como Pequeña Edad de Hielo (800-200 años AP, Iriondo 1999), al que se asigna el origen de las dunas parabólicas características de esta zona y amplias zonas secas en los actuales sistemas lagunares del Sudeste de la provincia (Degiovanni et al. 2005).

## **2.6- Estructuras de la Región**

Las Sierras y Llanura Pampeanas exhiben una tectónica de bloques cuya conformación actual, si bien se relaciona el líneas generales a la tectónica Andina, son el resultado de la sobreimposición de eventos tectónicos, compresivos y distensivos, originados durante los ciclos Pampeano, Famatiniano, Achaliano y Andino.

Pasotti (1974), sobre la base de estudios geomorfológicos de la cubierta Cenozoica, consideró a la Llanura Chaco Pampeana como una cuenca intracratónica que puede ser dividida en tres grandes bloques, limitados por geofracturas (megatrazas) de orientación meridiana.

Estos grandes bloques poseen morfología y comportamiento diferentes: el bloque Este al que denomina "Pampa Elevada" (Pasotti, 1974), el bloque central o "Pampa Hundida" y el bloque Oriental o "Pampa Levantada".

Estructuralmente estos bloques se encuentran controlados por las megatrazas meridianas generadas durante la Tectónica Andina, denominadas San Francisco del Chañar-Hernando y Tostado-Selva-Melincué, las cuales poseen una longitud que supera los centenares de kilómetros, y se encuentran dislocadas por fracturas menores transversales. Las morfo-estructuras y fallas identificadas definen un estilo estructural para el sector de la Llanura Chaco Pampeana definido por bloques hundidos y levantados, basculados al E y SE, que generan una morfología escalonada y ondulada, cuya expresión disminuye hacia el Sudeste, tal como se refleja en la figura 2.5.

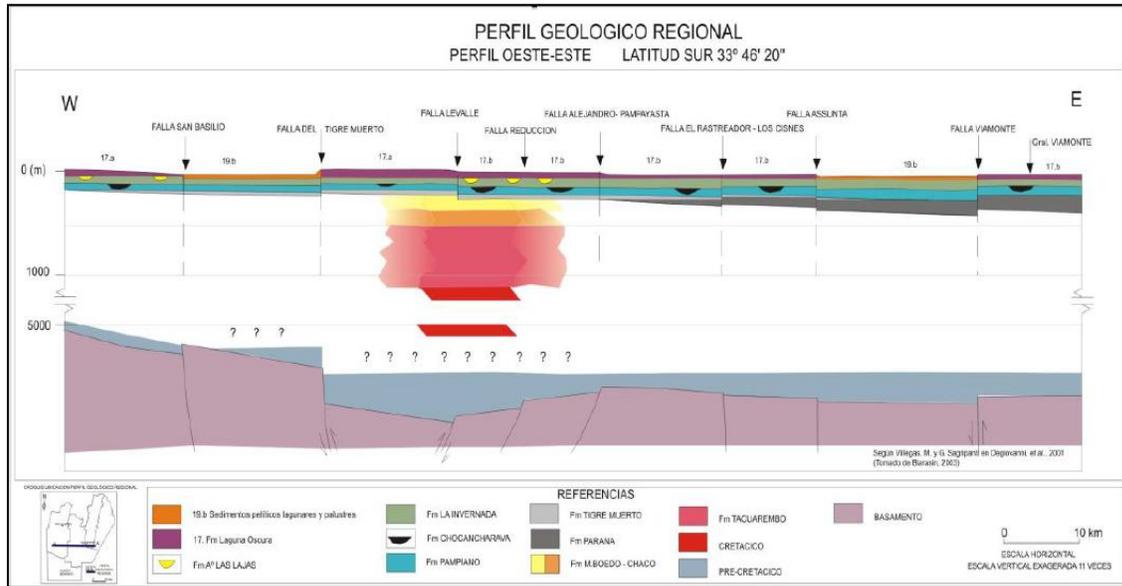


Figura 2.5: Perfil Geológico Regional. Fuente: Tomado de Degiovanni et al. (2005).

En este marco, las principales estructuras de la región (Fig. 2.6), ya mapeadas y descritas por Pinotti (1998), Sagripanti et al. (1998) y Degiovanni et al. (2005) en la Hoja Geológica 3363-III, entre otros, se pueden agrupar en distintas familias según su rumbo:

**Sistema meridiano a submeridiano (N-S):** constituye el sistema más importante, ya que durante la Orogenia Ándica ha definido los grandes bloques diferencialmente ascendidos y basculados característicos de las Sierras y Llanura Pampeana. En general, varias de ellas muestran inversión tectónica (distensiva-

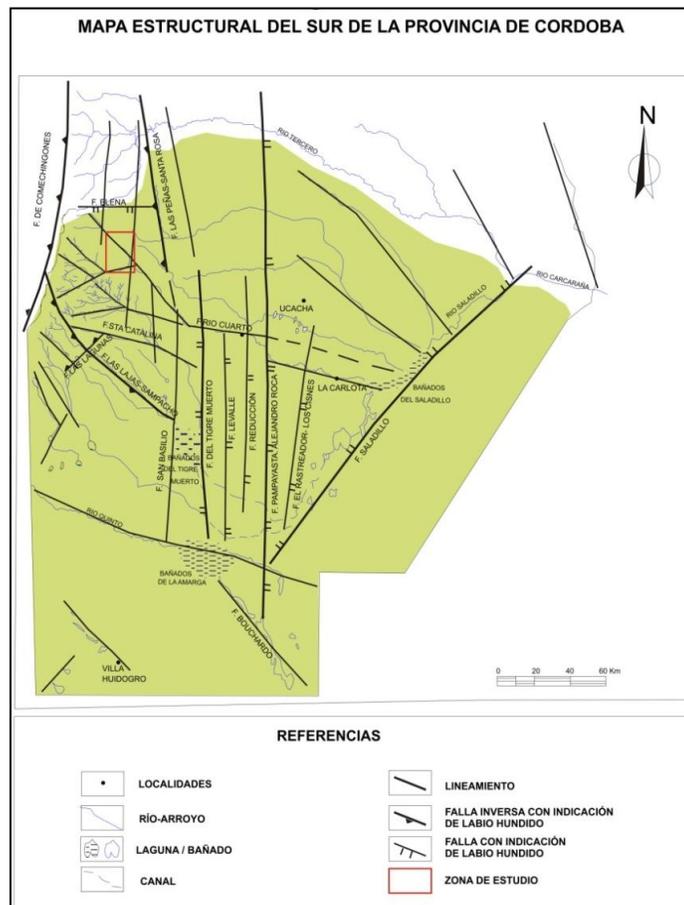


Figura 2.6: Mapa Estructural del Sur de la Provincia de Córdoba. Fuente: Degiovanni et al. (2005).

compresiva) y controlan la red de drenaje. Entre ellas se encuentran las fallas de Comechingones, Guacha Corral, Sierra Chica entre otras.

-Falla de Comechingones: corresponde a una falla inversa responsable del frente de levantamiento de las sierras homónimas, se trata de una importante faja de cizalla que puede continuarse hacia el Norte, acompañando todo el borde occidental de las Sas Grandes de Córdoba (Costa, 1996 y Costa et al., 1999).

-Megatrazza Alejandro-Pampayasta (San Francisco del Chañar-Hernando, Pasotti, 1974; Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro, Massabié, 1987), de carácter inverso, tiene centenares de kilómetros de longitud y según Pasotti (1974) separa la Pampa Elevada, al Oeste, de la Pampa Hundida, al Este. Existen evidencias de reactivaciones neógenas.

-Falla del Tigre Muerto (Degiovanni y Cantú, 1997) se infiere que posee caracteres inversos con plano buzante al Este y labio hundido al Oeste. Podría continuarse hacia el Norte definiendo el límite oriental de la Sa. Las Peñas.

-Falla de Santa Rosa-Las Peñas: es la megatrazza inversa responsable del levantamiento principal de las Sas Chicas. En la región se la reconoce al pie de las escarpas de las sierras de Los Cóndores y Las Peñas. Más hacia el Norte, a la latitud de la localidad de Santa Rosa, evidencias estratigráficas exhiben su importante actividad cuaternaria (Martino et al., 1995).

**Sistema E-O:** Las fracturas de este rumbo, seccionan y escalonan a los megabloques meridianos y controlan la traza de varios cursos. Conforman el grupo, entre otras, las fallas de Elena, El Cano, del Tegua, Río Cuarto, y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores.

**Sistema NO-SE:** Este sistema está muy bien representado en el extremo sur de las Sas de Comechingones y en las planicies occidentales. Estructuras con esta dirección provocan el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en este sector (Achiras, Alpa Corral, La Cruz, Cortaderas, Chaján, entre otros).

**Sistema NNE-SSO:** Las más importantes de esta familia son las fallas del Saladillo (Cantú y Degiovanni, 1984) y de Las Lagunas. Esta última de carácter inverso y con probada actividad en el Cuaternario ya que tiene, entre otras evidencias, sismicidad asociada (Sagripanti et al., 1998).

## **2.7- Geomorfología Regional**

A escala regional la geomorfología del Sur de la provincia de Córdoba está estrechamente vinculada a la estructura de bloques que caracterizan a las Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos (Degiovanni, 2005).

Las Sierras Pampeanas forman una macrounidad morfoestructural que se reconoce en varias provincias del Centro-Oeste de la Argentina, están integradas por una sucesión de megabloques de basamento ígneo-metamórfico del Precámbrico-Paleozoico Inferior, que presentan una marcada asimetría debido a la presencia de una importante escarpa de falla en el borde Occidental, de rumbo meridiano a submeridiano. A su vez estos megabloques exhiben una morfología que refleja una larga y compleja historia denudativa (desde el Carbónico Superior, según Carignano et al., 1999) modificada por la orogenia andina. En el Sur de la provincia de Córdoba este ambiente está representado por las Sierras de Comechingones, Los Cóndores y de Las Peñas que constituyen las estribaciones australes de las Sierras Pampeanas de Córdoba (Degiovanni, 2005).

La Llanura Chaco-Pampeana es una planicie predominantemente agradacional de pendiente general hacia el E-SE. Presenta un relieve suave a moderadamente ondulado, integrado por formas eólicas y subordinadamente fluviales y palustres. Degiovanni et al. (2005), definen para el Sur de Córdoba, las siguientes unidades y subunidades (Fig. 2.7), de las cuales se detallarán a continuación aquellas significativas para la zona de estudio, las Sierras Pampeanas, por constituir un área de aporte de agua y sedimento y la Llanura pampeana, como área de tránsito y recepción.

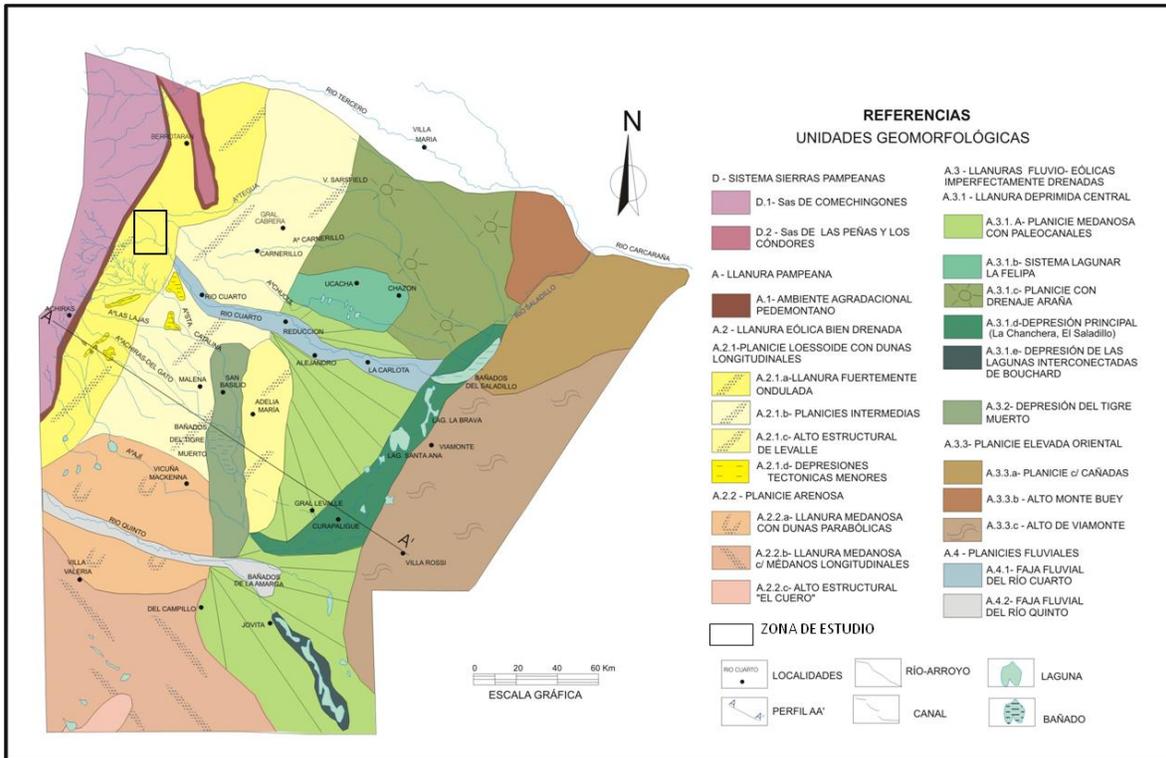


Figura 2.7: Mapa Geomorfológico del Sur de la Provincia de Córdoba: Fuente Degiovanni et al. (2005).

### Sistema de Sierras Pampeanas (D):

**D.1.- Sierras de Comechingones:** Las Sierras de Comechingones tienen un rumbo NNE-SSO, un ancho variable que se reduce hacia el Sur (desde 35 a 6 Km aproximadamente) al igual que su altitud, que desciende desde 2000 a 900 metros, conforme el rechazo de la falla de Comechingones disminuye y la escarpa queda sepultada por depósitos Cuaternarios. En sentido E-O, presenta la clásica asimetría de Pampeanas con máximas alturas en su borde Occidental, y tendidas hacia el Este donde la cubierta sedimentaria se hace más importante. (Fig. 2.8 y 2.9). En ambos sentidos, el descenso es escalonado, según megabloques.



Figura 2.8: Perfil topográfico de la Sierra de Comechingones y llanura periserrana, obtenido mediante el programa Google Earth, 2013.

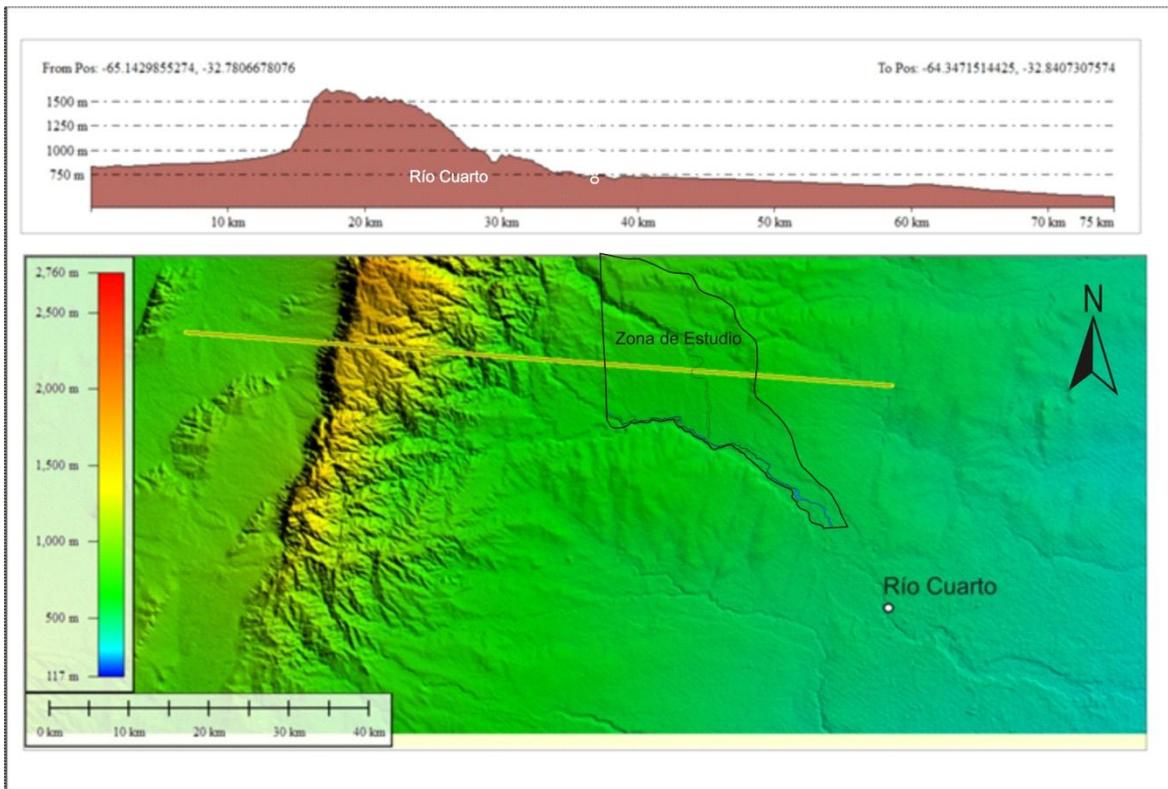


Figura 2.9: Perfil topográfico de la Sierra de Comechingones y llanura periserrana, obtenido mediante el programa Global Mapper.

En el Modelo de Elevación Digital del Terreno elaborado mediante el programa Global Mapper, donde se muestra las variaciones de las alturas en distintas tonalidades de verdes (Fig. 2.10), se observa claramente la asimetría del relieve serrano con la pendiente Occidental escarpada y la Oriental tendida (Degiovanni, 2005).

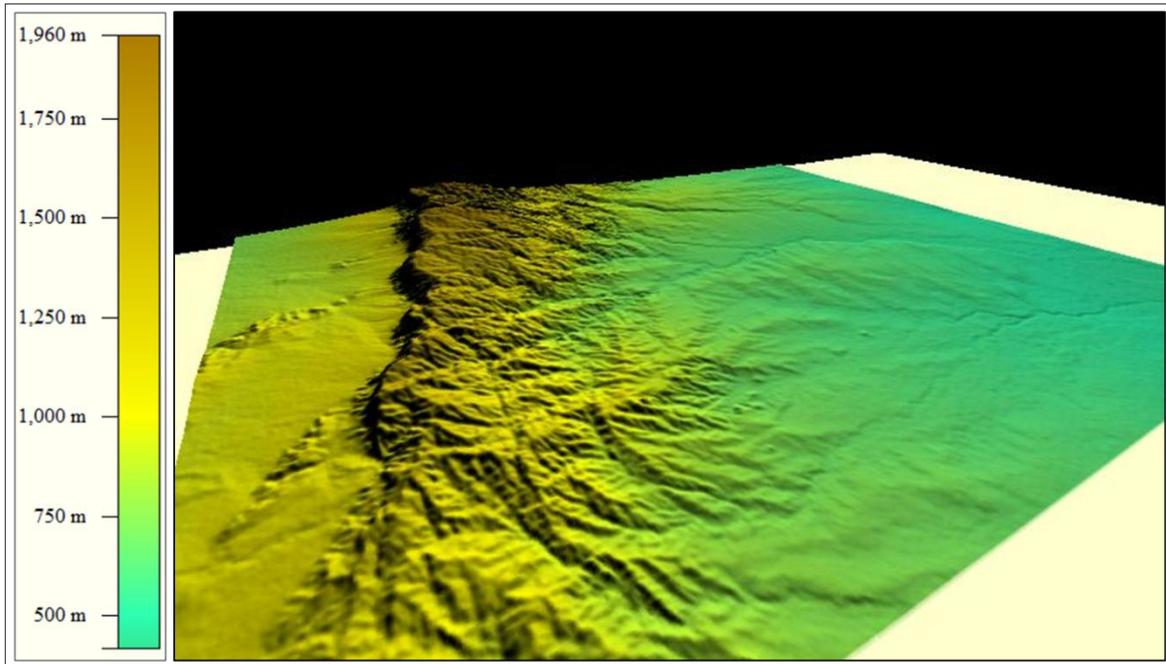


Figura 2.10: Modelo de elevación Digital de la Sierra de Comechingones en perspectiva.

Estos megabloques que controlan el relieve de la sierras, presentan distinto grado de preservación exhibiendo en sus partes cumbreles, antiguas superficies de erosión (peneplanicie poligénica y diacrónica, Degiovanni et al., 2003), denominadas localmente *pampas de altura*, y cerros relícticos de variada morfología.

Las variaciones litológicas definen dos tipos de modelado, resultado de varios ciclos denudativos: el de las rocas graníticas (batolito Cerro Áspero-Alpa Corral, Granitoide Los Nogales-Achiras) con morfologías de bochas, taffonis, törs y domos, y el de las metamorfitas, con relieves orientados, crestiformes, que domina el resto de las serranías.

### Llanura Pampeana (A):

**A.1.- Ambiente agradacional pedemontano:** Se trata de llanuras moderada a fuertemente onduladas (hasta 12% de pendiente) que bordean las serranías, cuyo relieve responde a la presencia de bloques de basamento cercanos a la superficie, a la

construcción y posterior disección de bajadas pedemontanas y a la cubierta loessoide cuaternaria (Degiovanni, 2005).

Las bajadas falladas y disectadas constituyen una sucesión de lomadas compuestas por secuencias de abanicos Pleistocenos fundamentalmente, separadas por amplios valles con relleno Holoceno y, finalmente, cubiertas por depósitos loessoides. A mayor distancia de las sierras dominan loess removilizados, con aluviales subordinados. El grado de disección de la unidad es variable.

**A.2.- Llanura eólica bien drenada:** comprende las planicies situadas al Oeste de la falla Pampayasta-Alejandro Roca, que Passotti y Castellanos (1966) denominaran *pampa elevada o pampa pedemontana*. Estos ambientes varían desde fuertemente ondulados en sectores cercanos a las sierras a planos hacia el Este y, a excepción de áreas deprimidas localizadas, presentan un buen drenaje con una importante zona de aireación y sistemas de escurrimientos superficiales bien desarrollados. En general predominan llanuras loessoides, circunscribiéndose los ambientes más arenosos al sector Sudoccidental de la provincia de Córdoba (*Llanura medanosa del río Quinto*, Cantú y Degiovanni, 1984).

#### **A.2.1.- Planicie loessoide con dunas longitudinales**

Está ampliamente representada en todo el centro-Sur de la provincia de Córdoba, exhibe un relieve fuertemente ondulado bordeando la faja periserrana, (**A.2.1.a**), mientras que, hacia el Este-Sudeste, se hace más suave (**A.2.1.b**), con pendientes variables entre 3-7% y menores al 1%, respectivamente. En toda el área, afloran sedimentos arenosos finos de la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992), constituyendo dunas longitudinales (orientación NNE-SSO) discontinuas y disipadas, con algunos sectores reactivados, que se habrían originado en el Holoceno medio por vientos provenientes del S-SO. A pesar de la potente cubierta sedimentaria el relieve de la llanura refleja la tectónica de bloques del basamento siendo numerosos los altos y bajos de este origen.

# *CAPÍTULO 3*

## *Geología y Geomorfología Local*

---



### **3.1- Geología**

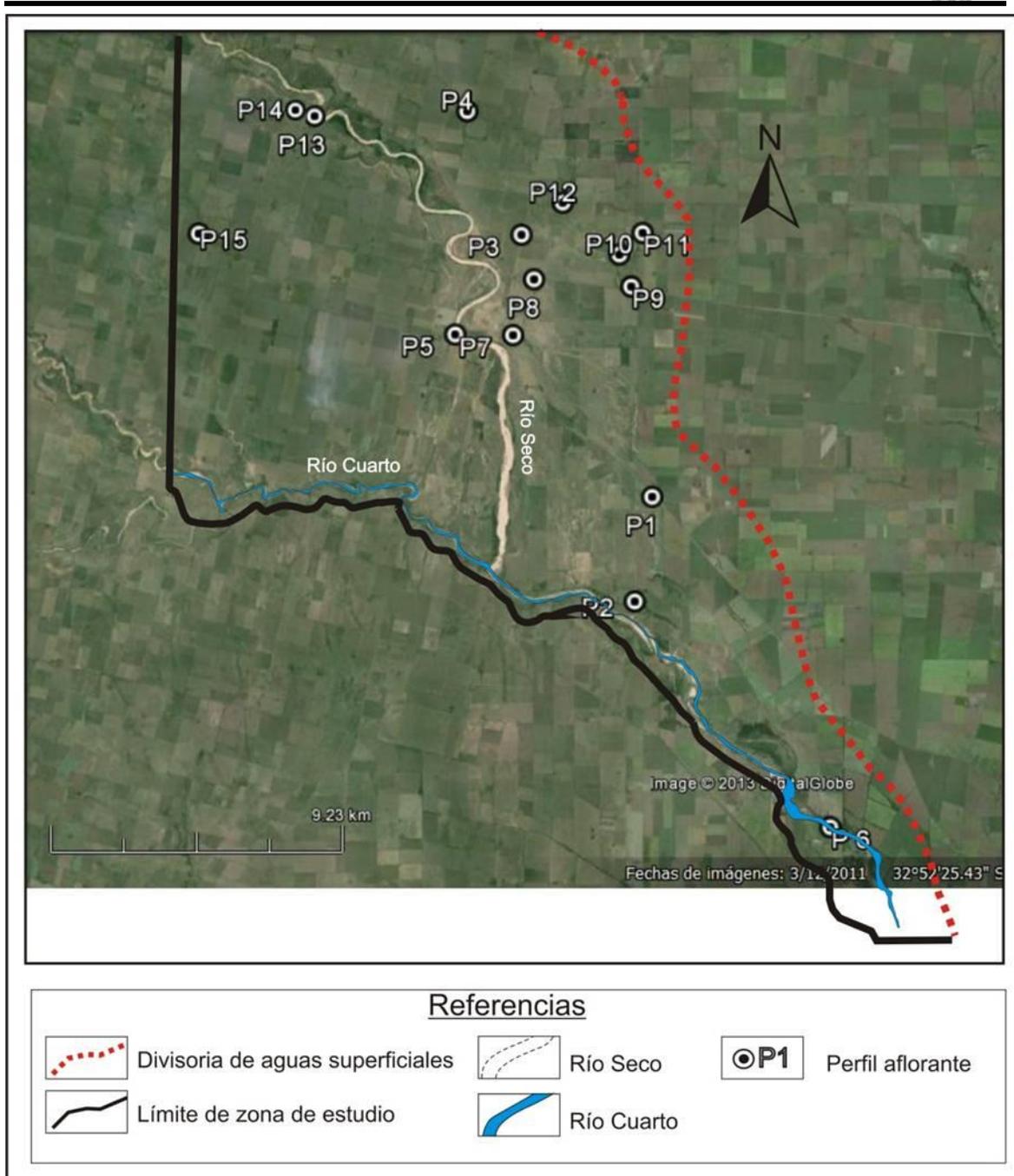
#### **3.1.1- Estratigrafía**

##### **3.1.1.1- Unidades aflorantes**

El área de estudio es parte del ambiente agradacional pedemontano oriental de la porción Sur de las sierras de Comechingones, el cual presenta relieve moderado a fuertemente ondulado (hasta 12% de pendiente). Se encuentra disectada por dos cursos fluviales de importante jerarquía correspondientes al río Seco y al río Cuarto, que nacen en las sierras y drenan las planicies pedemontanas desarrollando importantes llanuras fluviales. En los sectores de interfluvio dominan cubiertas loessoides de edad Cuaternaria (Cantú, 1992), observándose rasgos de erosión hídrica laminar y en cárcavas ramificadas.

Para realizar la caracterización litológica, granulométrica, etc., de los materiales aflorantes en el área, se describieron perfiles sedimentológicos situados en diferentes sectores de la zona de estudio, de los que se extrajeron muestras de sedimentos para su posterior análisis textural en laboratorio. También se analizaron datos de subsuelo obtenidos a partir de perfiles de pozos y/o perforación recolectados en el área de estudio.

La localización de los mismos se presenta en el mapa de la figura 3.1.



**Figura 3.1:** Ubicación de los perfiles aflorantes descritos. Imagen tomada de Google Earth 2013.

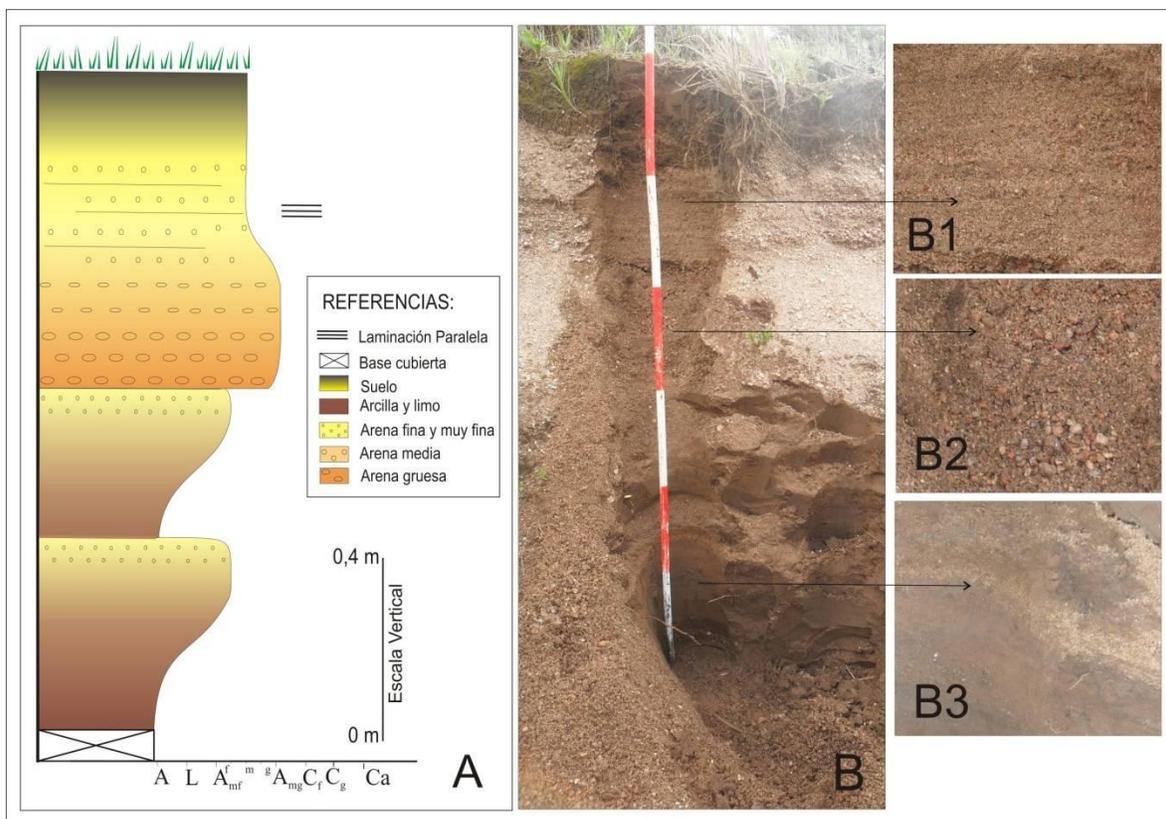
### Descripción de perfiles sedimentarios:

#### Perfil 1 (P1):

Se ubica en ámbito del sistema fluvial del río Seco, y aflora en el margen de la ruta provincial N° 11. La secuencia posee 1,4 m de potencia (Fig. 3.2). Presenta base cubierta, iniciando con 0,75 m de una unidad, compuesta por dos cuerpos de materiales limo-arcillosos masivos que gradan a arenas finas y medias, sobre este se apoya, en contacto

neto, un estrato granodecreciente de 0,70 m de espesor compuesto materiales arenosos gruesos, con niveles de gravas que gradan a arenas gruesas y medias con laminación paralela. Presentan composición granítica con metamorfitas subordinadas, con abundantes clastos feldespáticos. Culmina la secuencia con un escaso desarrollo edáfico en los 0,19 m superiores.

Los materiales descritos corresponden a una secuencia fluvial compuesta en la base por facies finas de desbordes de sistemas entrelazados sobre la cual se apoya una facies de canal de mayor energía. Por su ubicación y sus relaciones laterales con otros materiales, podría interpretarse como un depósito del Holoceno Superior-histórico.



**Figura 3.2:** A- Esquema perfil sedimentario P1. B –Fotos de perfil sedimentario P1, correspondiente al ámbito del sistema fluvial del río Cuarto. B1- laminación paralela en arenas medias y gruesas. B2- arenas gruesas y gravas. B3- materiales limo-arcillosos gradando a arenas.

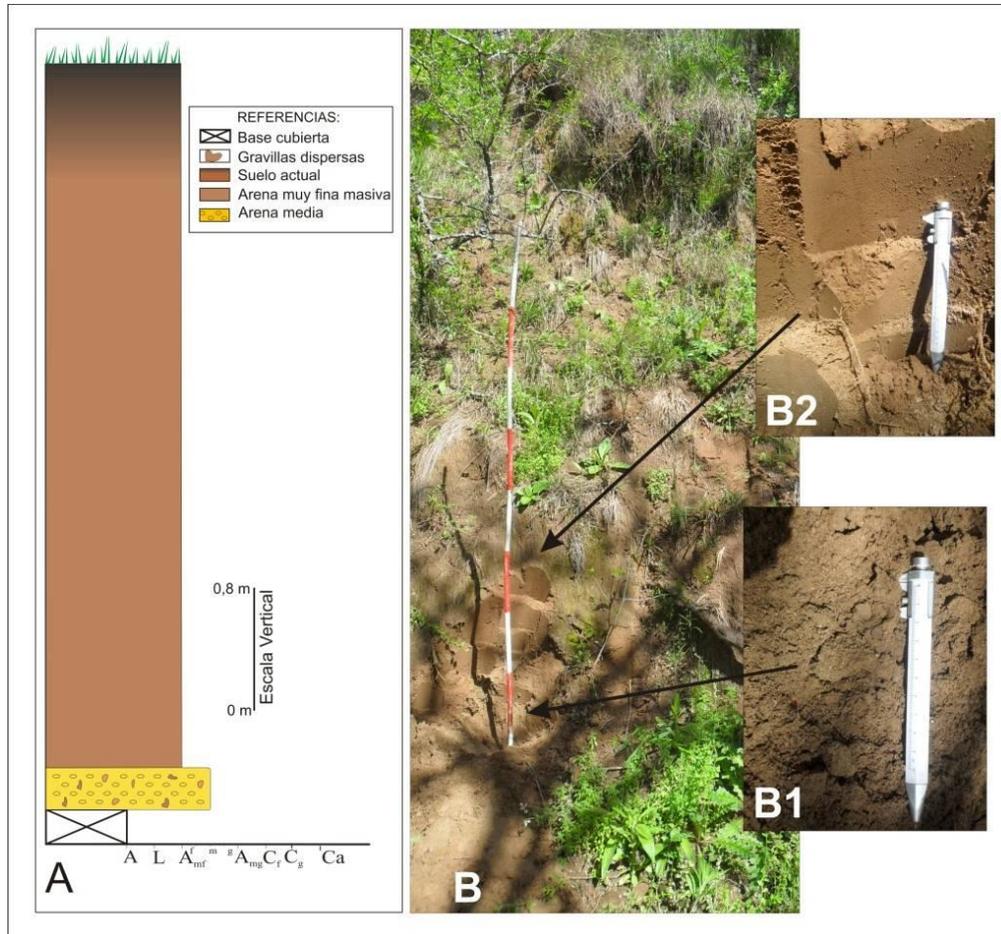
### Perfil 2 (P2):

Se encuentra aflorando en una cárcava, ubicada 6 km al Sur de la ruta Provincial N° 11, en ámbito de la faja fluvial del Río Cuarto.

La secuencia posee 4,5 m de potencia (Fig. 3.3), presenta base cubierta, comenzando con 0,25 m de material arenoso medio a grueso, con escasas gravillas de hasta 2 cm de eje mayor, mal seleccionado. Sobre este se apoyan 4,25 m de limos con arena muy fina,

masivo, homogénea, de buena selección, color pardo rojizo, los cuales presentan hacia el techo escasa edafización.

Dichos materiales podrían ser correlacionados con la Fm Laguna Oscura, dado que denotan un claro origen eólico, coincidente con los materiales descritos para esta formación (Cantú, 1992), los mismos se apoyan sobre sedimentos fluviales producto de la migración de canal del río Cuarto.



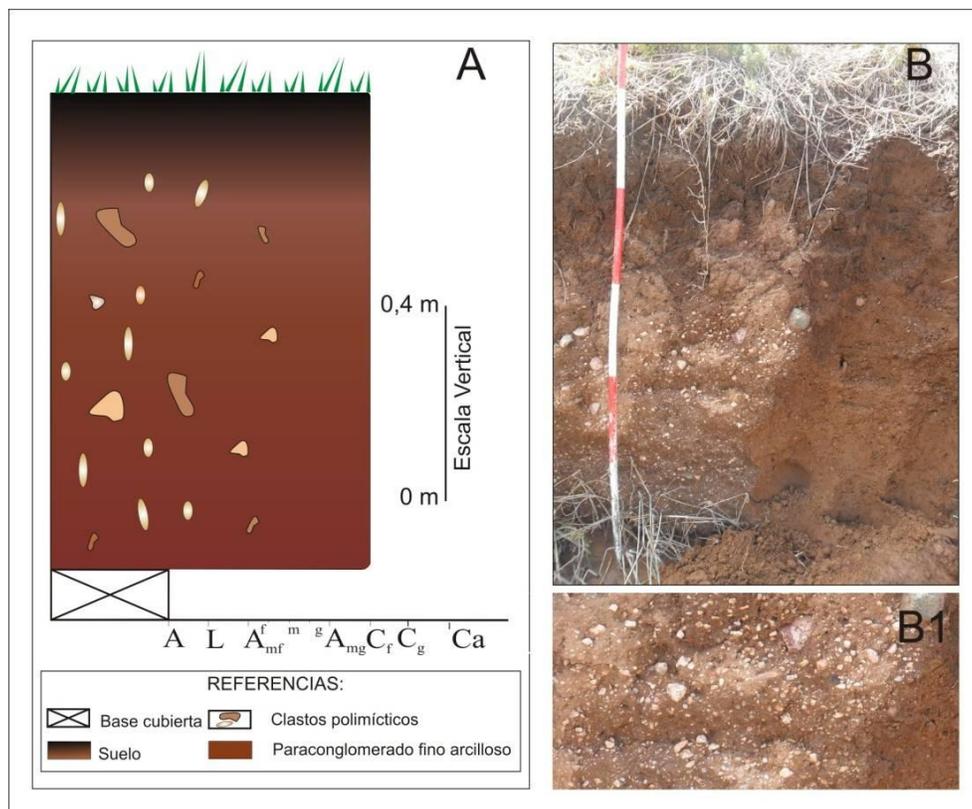
**Figura 3.3:** A- Esquema perfil sedimentario P2. B- Fotos del Perfil sedimentario P2, ubicado en una terraza del río Cuarto. B1- arenas medias y gruesas con gravillas. B2- limo con arena muy fina.

### Perfil 3(P 3):

Se encuentra aflorando en el corte de un camino rural profundizado, sobre el ambiente aluvial más antiguo. Posee 0,9 m de potencia (Fig. 3.4), presenta base cubierta, iniciando con 0,7 m de un conglomerado muy fino, matriz sostén, masivo, con escasos clastos cuyos tamaños van desde arena media hasta clastos de 10 cm de eje mayor, de composición polimíctica, inmersos en una matriz limo-arcillosa muy abundante.

Lateralmente pasan de forma transicional a materiales limo-arcillosos masivos, con menor cantidad de gravas y gravillas. En los últimos centímetros del perfil, se encuentra gran proporción de materiales oscuros muy finos, en el cual se observan abundantes arcillas de iluviación y estructuras en prismas y bloques.

Los materiales descriptos se interpretan como un suelo aluvial, desarrollado sobre depósitos de flujos densos, pertenecientes a un sector medio a distal de un abanico de derrames, el cual, presenta gran desarrollo, con presencia de un potente horizonte Bt, muy evolucionado que permite inferir que los sedimentos poseen mayor tiempo de exposición, por lo tanto mayor antigüedad, que otros materiales similares en el abanico aluvial bajo estudio.



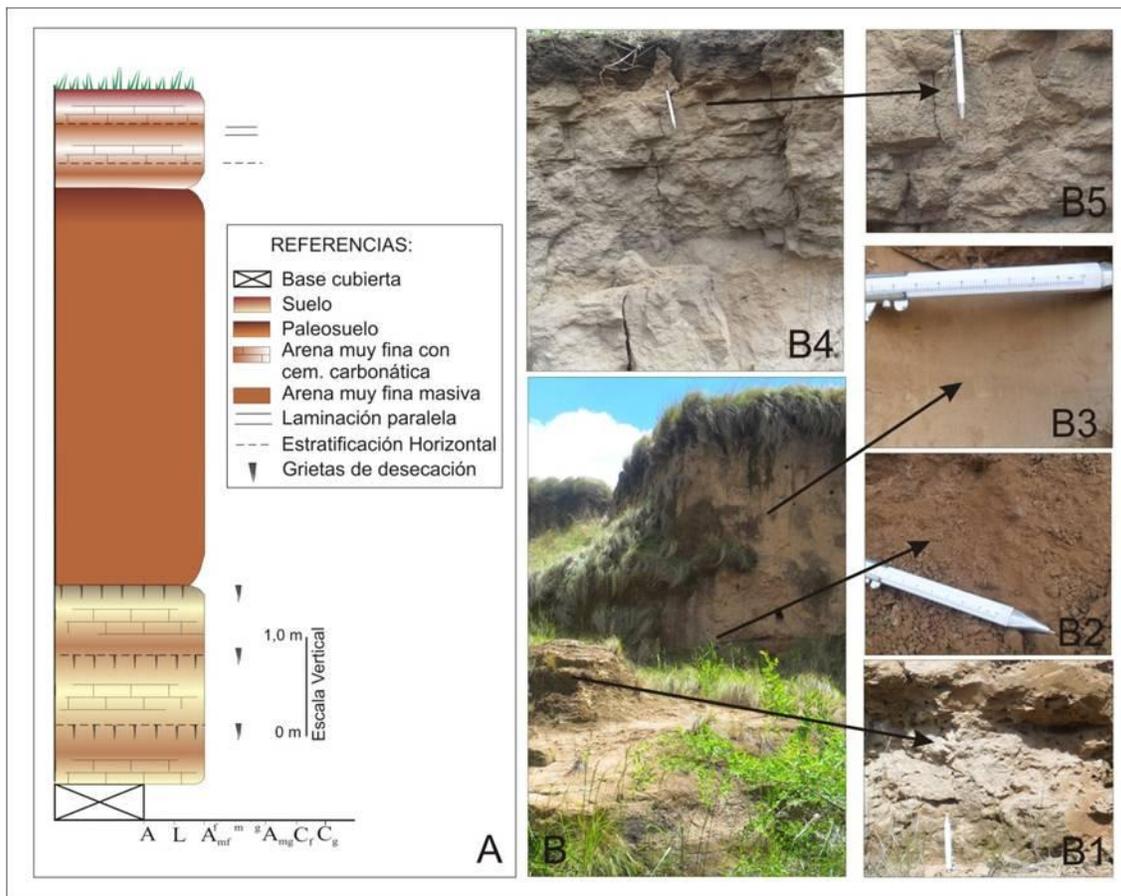
**Figura 3.4:** A- Esquema de perfil sedimentario P3. B- Fotos del Perfil sedimentario P3, correspondiente a un suelo aluvial, en ámbito del sistema aluvial del río Seco. B1- gravas, gravillas y clasto de hasta 10 cm de eje mayor.

#### Perfil 4 (P4):

Aflora en una cárcava ubicada al N de la Ruta Provincial N°11 en ambiente predominantemente fluvio-eólico. Posee 7 m de potencia (Fig. 3.5), presenta base cubierta. Inicia con 2 m de materiales limo-arenosos muy finos, con grosera estratificación horizontal, fuertemente cementados con carbonato de calcio, distinguiéndose 3 cuerpos

que culminan con grietas de desecación. En contacto neto se apoya una unidad de 4 m de espesor, en cuya base se encuentran limos arenosos finos, masivos, color pardo-rojizo, no cementados, los cuales culminan con 0,10 m de los mismos materiales de coloración más oscura. Por encima de este se apoya un nivel de 1 m de materiales limo-arenosos finos cementados, con estratificación horizontal y grosera laminación paralela.

La unidad inferior, de acuerdo con sus características sedimentológicas, se correspondería con la Fm Pampeano, de edad Pleistoceno Medio a Superior (Cantú 1992), representando depósitos de origen fluvial. Los materiales que suprayacen esta unidad corresponden a facies eólicas edafizadas que, según su posición relativa, podrían correlacionarse con la Fm La Invernada. Finalmente la unidad que culmina la secuencia, se interpreta como un retransporte de los materiales limosos no cementados inferiores mediante procesos fluviales, representando posiblemente edades modernas.

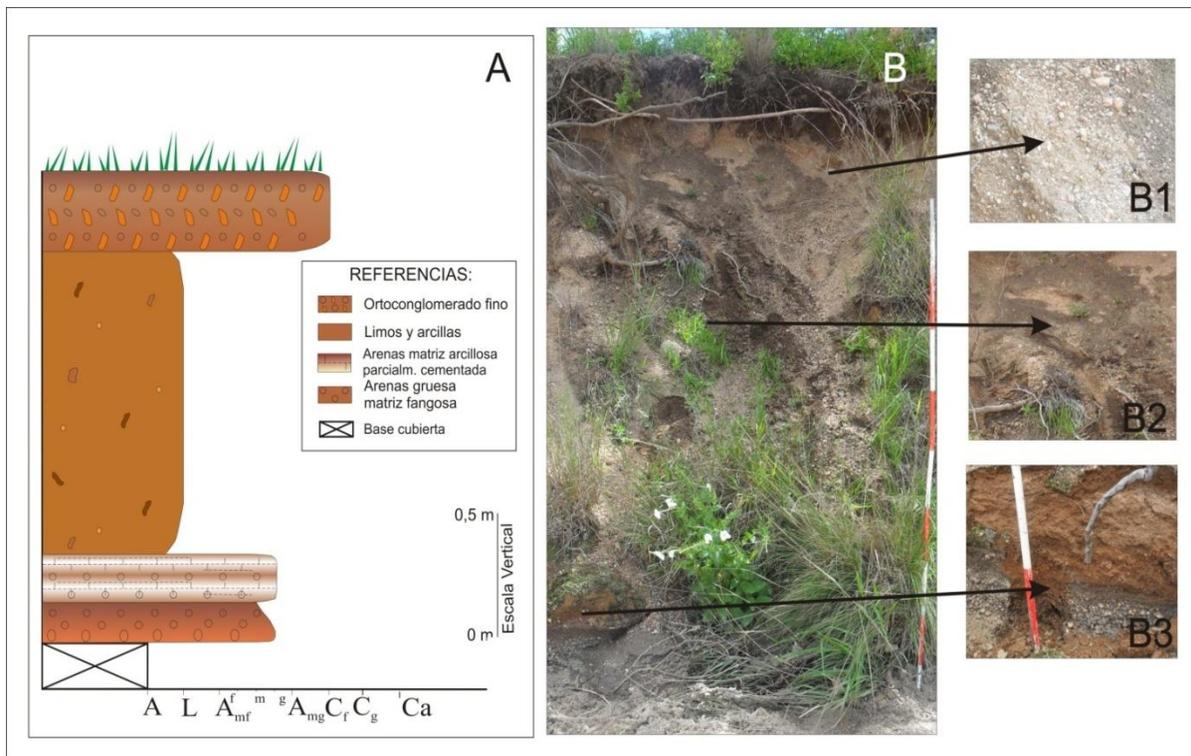


**Figura 3.5:** A: Esquema de perfil sedimentario P4. B – Foto del perfil sedimentario P4, ubicado en ambiente fluvio-eólico. B1- limos y arenas fuertemente cementados. B2- limos y arenas muy finas. B3- limos. B4 y B5- limos y arenas finas cementadas, groseramente estratificadas.

### Perfil 5 (P5):

Se encuentra aflorando en la barranca del río Seco, en cercanías de Paso del Río Seco. Posee un espesor total de 2 m (Fig. 3.6), presenta base cubierta, iniciando con 0,2 m de materiales arenosos gruesos a medios, granodecrecientes de matriz fangosa. Sobre él se apoya un nivel de 0,24 m de espesor de arenas medias a gruesas inmersas en una matriz limo-arcillosa, masiva, caótica, algo cementada, de color rojiza. Sobre ésta se apoyan 1,2 m de materiales fangosos, masivos, con gravillas dispersas caóticas, con dominio de matriz limo-arcillosa, finalizando la secuencia una unidad de 0,40 m de arenas gruesas y gravas, con escasa matriz, conformando un conglomerado fino clasto-sostén, de composición mayormente granítica.

Los materiales descritos conforman las barranca actuales del río Seco, y se interpretan como depósitos de derrame, del abanico aluvial de dicho río, en una posición media a distal del ápice.



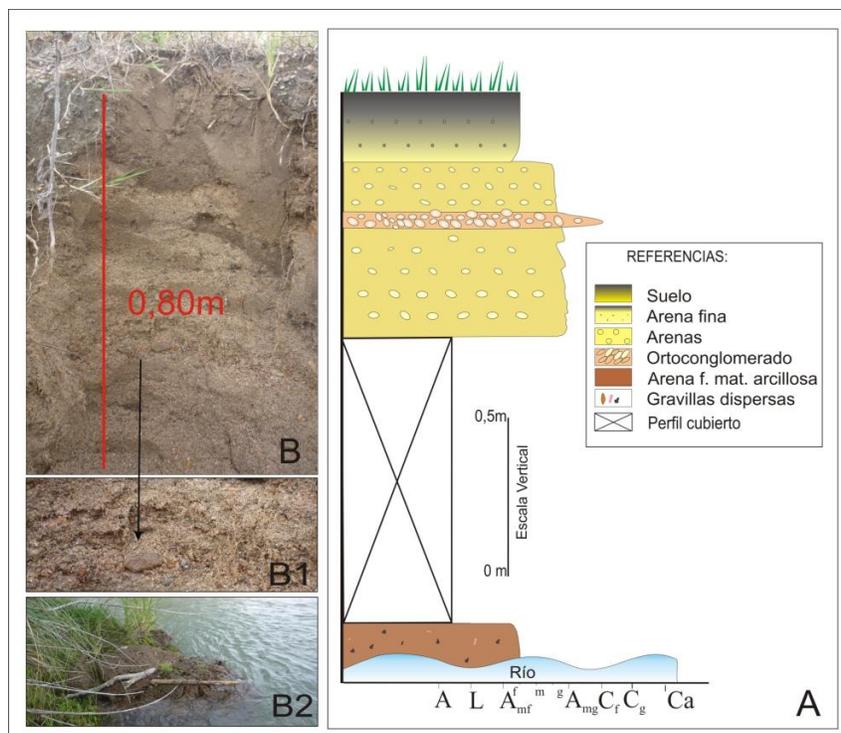
**Figura 3.6:** A- Esquema de perfil sedimentario P5. B- Foto del Perfil sedimentario P5, ubicado en barranca del río Seco. B1- conglomerado fino clasto-sostén. B2- arenas medias y gruesas en matriz limo-arcillosa. B3- arenas gruesas en matriz fangosa.

### Perfil 6 (P6):

Ubicado en las barrancas expuestas del río Cuarto, aguas abajo de la confluencia del mismo con el río Seco. Posee 1,90 m de potencia (Fig. 3.7), su base se encuentra por debajo del pelo de agua del río, formando parte del lecho del mismo. Comienza con una

unidad la cual se expone en unos 0,15 m aproximadamente, compuesta de materiales arcillosos con arenas finas a muy finas y gravillas dispersas de hasta 1 cm de eje mayor. Presentan aspecto masivo y cementado, con acumulación de arcillas iluviales en la parte superior del estrato. Sobre este se apoya 0,9 m de un tramo cubierto. Sobreyace a este tramo 0,60 m de materiales arenosos gruesos a gravosos granodecrecientes con clastos de composición granítica, de hasta 5 cm de eje mayor. Intercalado en esta unidad aparece un nivel de 3 cm de materiales gravosos y matriz arenosa gruesa, clasto-sostén que se acuñan lateralmente. Por encima de esta unidad se apoyan 0,22 m de materiales arenosos finos a medios, masivos de color pardo oscuro, indicando la presencia de materia orgánica (MO) en cantidad moderada.

Los materiales de la base del perfil se interpretan como secuencias fluviales pertenecientes a la Formación Pampeano de edad Pleistoceno Medio a Superior, representando facies de llanura de inundación, con procesos de edafización sobreimpuestos, evidenciados por la importante proporción de arcillas iluviales. Mientras que los materiales de la parte superior del perfil, se interpretan como secuencias fluviales de edad histórica, producto de sucesivas migraciones y desbordes del río Cuarto, escasamente edafizadas.



**Figura 3.7:** A- Esquema de perfil sedimentario P6. B- Fotos de perfil sedimentario P6, en barranca del río Cuarto. B1- nivel de conglomerado fino de origen fluvial. B2- besa del perfil.

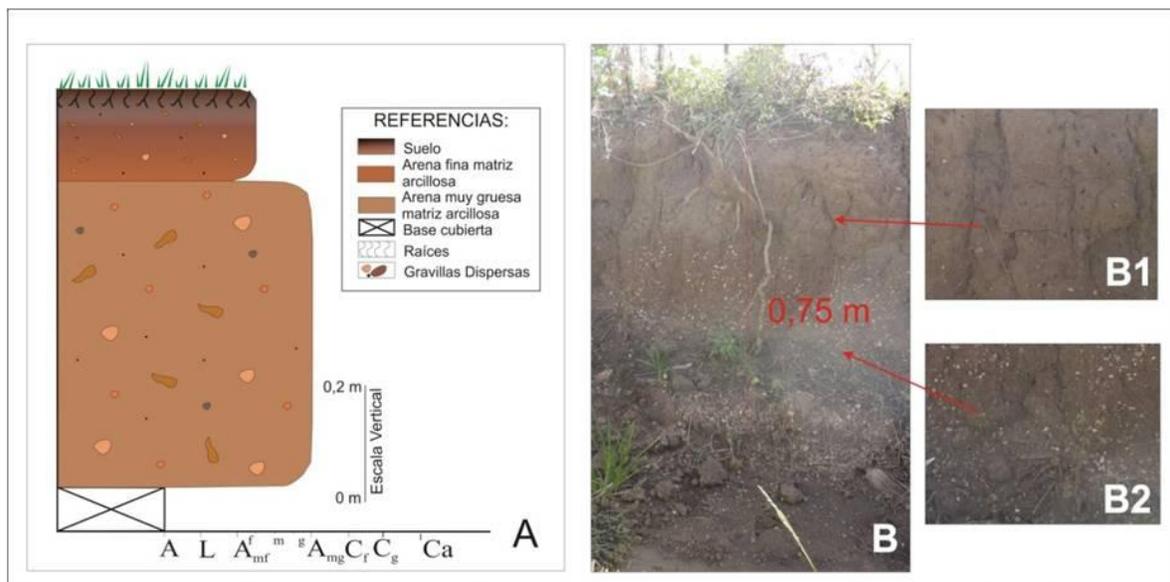
**Perfil 7 (P7):**

Ubicado en el corte de un camino rural en ámbito predominantemente aluvial. Posee 0,75 m de potencia (Fig. 3.8), presenta base cubierta, comenzando con una unidad de 0,50 m de espesor de materiales gravosos en una matriz arenosa con reducida proporción de arcillas y MO, las gravas y gravillas poseen composición predominantemente granítica, con clastos de hasta 5 cm de eje mayor.

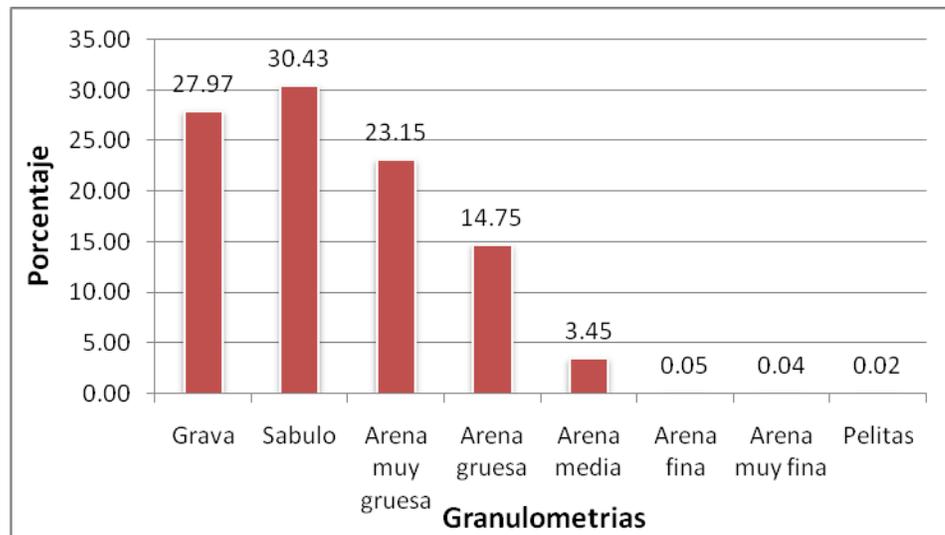
Se realizó el análisis granulométrico por tamizado de una muestra representativa de la unidad inferior recién descrita (Fig. 3.9); el mismo denota una mala selección en los materiales, donde predominan los tamaños sábulo y gravas (más del 50%), con porcentajes significativos en arenas.

Sobreyace a esta unidad 0,15 m de materiales arcillo-limosos con gravillas dispersas de composición granítica, de entre 1 y 3 mm de eje mayor con escasos clastos de hasta 1 cm. Presenta en la matriz elevada proporción de arcillas iluviales con abundantes barnices. Los 0,10 m finales del perfil corresponden a materiales arenosos finos, limosos, con abundante proporción de raíces y bioturbaciones.

Los materiales anteriormente descritos corresponden a secuencias aluviales de diferente energía, pertenecientes al cono aluvial del río Alpa Corral en su tramo medio. La parte superior descrita (0,25 m) se corresponde con un suelo altamente evolucionado, con elevada proporción de arcillas iluviales, observándose prismas y columnas (horizontes argílicos Bt1 y Bt2).



**Figura 3.8:** A- Esquema de perfil sedimentario P7. B- Foto del Perfil sedimentario P7, correspondiente a suelo aluvial, ubicado en corte de camino rural. B1- arcillas y limos con gravillas dispersas. B2- gravas y gravillas en matriz arcillo-arenosa.



**Figura 3.9:** Porcentajes granulométricos de muestra representativa del perfil P7.

#### Perfil 8 (P8):

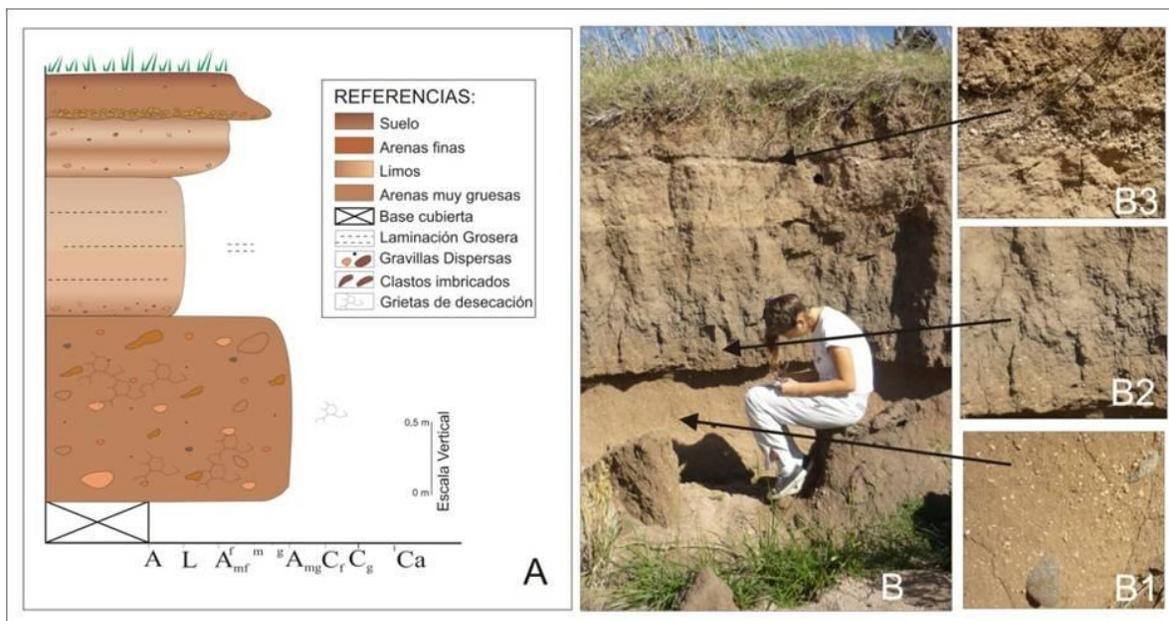
Se encuentra expuesto en las barrancas de una cárcava, cuyo eje corta transversalmente un camino rural, al E de Paso del Río Seco.

Posee 2,80 m de potencia (Fig. 3.10), presenta base cubierta. Se inicia con un estrato de 1,20 m de espesor, compuesto por arenas gruesas y gravas con clastos de hasta 10 cm de eje mayor, de composición polimíctica (metamorfitas, granitos, pegmatitas, etc). Los clastos mayores presentan cierta imbricación. Estos se encuentran inmersos en una matriz limo-arcillosa dominante, color pardo rojizo, masiva, la cual refleja un elevado porcentaje de arcillas mediante significativas grietas de desecación presentes en el perfil.

Sobre este estrato se apoya una unidad de 0,90 m de potencia que inicia con un nivel de 0,20 m de gravillas de composición polimíctica, inmersas en una matriz limo-arcillosa, sobre ella se apoya los restantes 0,70 m de materiales limosos-arenosos muy finos, de color grisáceo, con grosera laminación paralela. Sobreyace a esta unidad 0,38 m de materiales limo-arcillosos, intercalados con niveles de arenas medias a finas con gravillas dispersas, ambas presentan colores pardos. Las intercalaciones varían su espesor lateralmente, pero se observan en todo el perfil. En contacto neto, erosivo se observan 0,10 m de materiales gravosos y arenosos gruesos con clastos de hasta 2 cm de eje mayor de composición granítica que conforma un nivel continuo de escasa matriz limo-arenosa que varía su espesor lateralmente. Hacia el techo del perfil este nivel pasa gradualmente a arenas medias con gravillas dispersas, las cuales culminan con 0,20 m de los mismos materiales escasamente edafizados.

Según la descripción realizada, la unidad inferior corresponde a depósitos de canales mal seleccionados, pertenecientes al tramo medio de un abanico aluvial.

El tramo medio del perfil corresponde a un ambiente fluvio-palustre donde dominan los materiales arcillosos, MO y restos orgánicos, el cual se desarrolla en una posición distal con respecto al ápice del cono, o en un estadio tardío de un derrame, donde la energía decrece. La unidad superior se interpreta como una alternancia de depósitos de mayor energía, más arenosos, con otros de menor energía arcillosos. La secuencia culmina con un nivel fluvial de alta energía, poco edafizado. Toda la secuencia correspondería a depósitos aluviales holocenos.

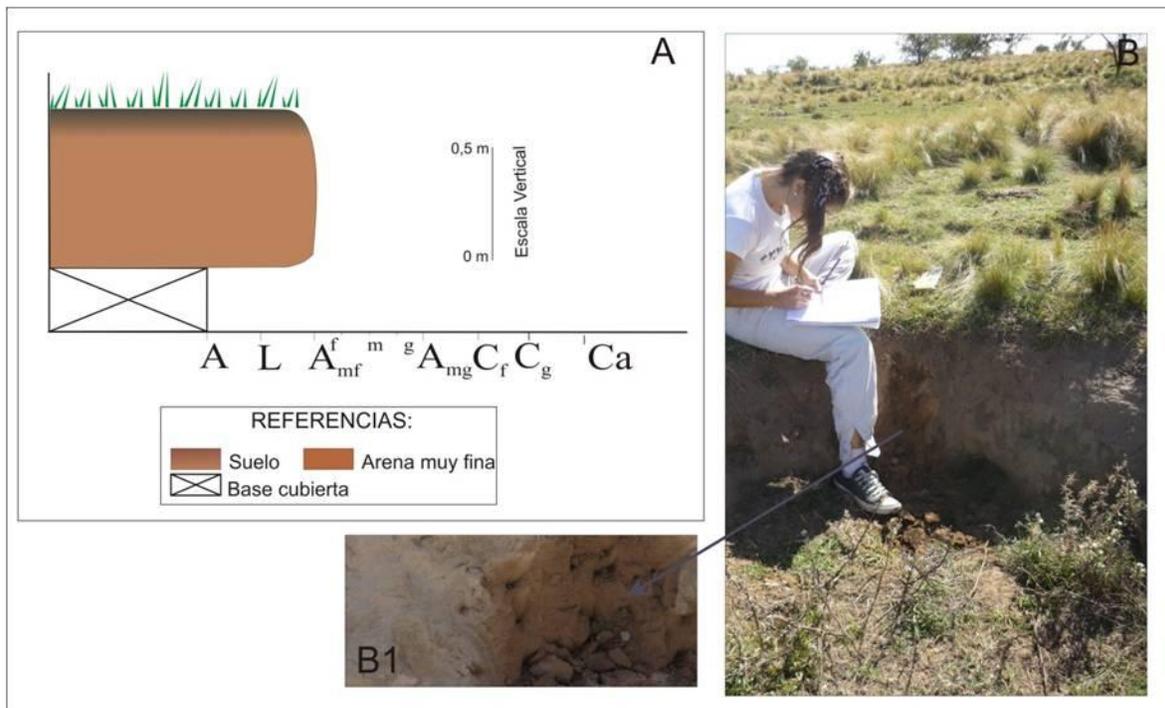


**Figura 3.10: A-** esquema de perfil sedimentario **P8**. **B-** Foto del Perfil sedimentario **P8**, ubicado en ambiente aluvial. **B1-** Arena gruesa y gravas en matriz limo-arcillosa. **B2-** gravillas en la base, con limos y arcillas groseramente laminadas hacia el techo. **B3-** nivel gravo-arenoso grueso de importante continuidad lateral.

### Perfil 9 (P 9):

Se expone en una loma, aguas arriba de un sistema de cárcavas ubicadas al NE del área de estudio. Presenta base cubierta desarrollando un espesor total de 0,70 m (Fig. 3.11). Se compone en su totalidad de arenas muy finas limosas, pardo rojizas, masivas y muy deleznales.

Dichos materiales se interpretan, según sus características texturales y de yacencia, como materiales de origen eólico equivalente a la Fm. Laguna Oscura de edad Holocena.

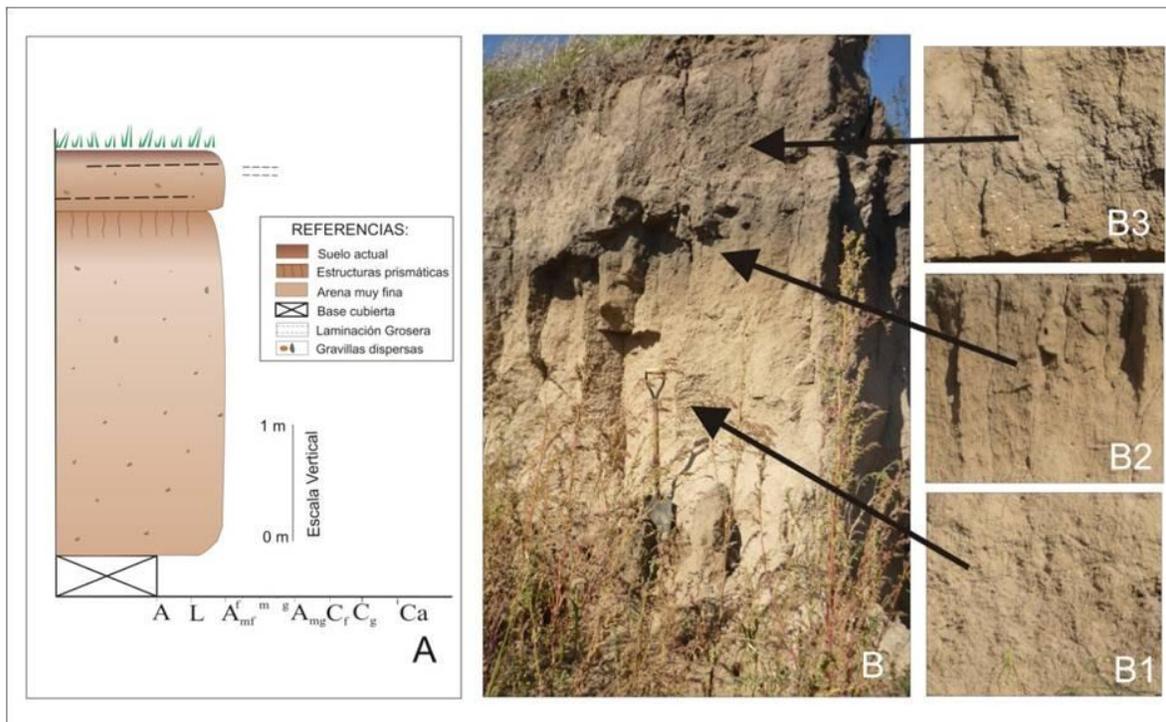


**Figura 3.11:** A- Esquema de perfil sedimentario P9. B- Foto del Perfil sedimentario P9, ubicado en una loma, en ambiente fluvio-eólico. B1- arenas muy finas limosas masivas.

### Perfil 10 (P10):

Se expone en un brazo superior de un sistema de cárcavas ubicado al NE de la zona de estudio. Posee 3,50 m de potencia (Fig. 3.12), presenta base cubierta, comenzando con un estrato de 3,00 m de espesor, compuesto por materiales limosos-arenosos finos, de color pardo claro, masivos, con escasas gravillas dispersas de composición granítica, de hasta 3 mm de eje mayor. Los 0,20 m superiores presentan un color más oscuro, con estructuras prismáticas decapitadas. Por encima de esta unidad se apoya un estrato de 0,50 m de potencia de limos y arenas muy finas, color pardo oscuro, con grosera laminación paralela, con escasas gravilla dispersas de hasta 4 mm de eje mayor, de composición granítica que culminan con una escasa edafización.

De acuerdo a lo analizado, la unidad inferior del perfil corresponde, probablemente, a un depósito de flujos densos que removilizaron fundamentalmente sedimentos eólicos Pleistoceno Sup-Holoceno e incorporaron clastos de diferentes tamaños procedentes de la serranía. La parte superior más oscura corresponde a un suelo del Holoceno superior. Todo el conjunto se encuentra cubierto por depósitos históricos de origen aluvial.



**Figura 3.12:** A- Esquema de perfil sedimentario P10. B- Fotos del Perfil sedimentario P10, ubicado en ambiente fluvio-eólico. B1- limos y arenas finas con gravillas dispersas. B2- estructuras prismáticas truncadas. B3- limos y arenas muy finas groseramente laminadas.

### Perfil 11 (P11):

Se encuentra expuesto en una cárcava estabilizada, ubicada próxima a un camino rural, al NE de la zona de estudio. Presenta 3,10 m de potencia (Fig. 3.13). Posee base cubierta, iniciando con 2,00 m de materiales limosos-arenosos muy finos, masivos, de color pardo claro a grisáceo, con escasas gravillas dispersas de hasta 3 mm de eje mayor y composición granítica. Los 0,95 m superiores presentan coloración más oscura, y estructuras prismáticas truncadas. Por encima de esta unidad se apoya 1,10 m de materiales arenosos muy finos, color pardo oscuro, con laminación paralela y escasas gavillas dispersas.

Dicho perfil forma parte de la Planicie Eólica Central, dentro de la unidad geomorfológica de Planicies Dominantemente Eólicas. Su unidad inferior corresponde a depósitos de origen eólico retransportados, con un importante proceso de edafización en su parte superior, el cual evidencia un prolongado tiempo de exposición en un clima húmedo a subhúmedo. Un evento erosivo posterior trunco el paleosuelo, generado una superficie erosiva. La unidad superior, corresponde a secuencias fluviales históricas de baja energía, levemente edafizados.

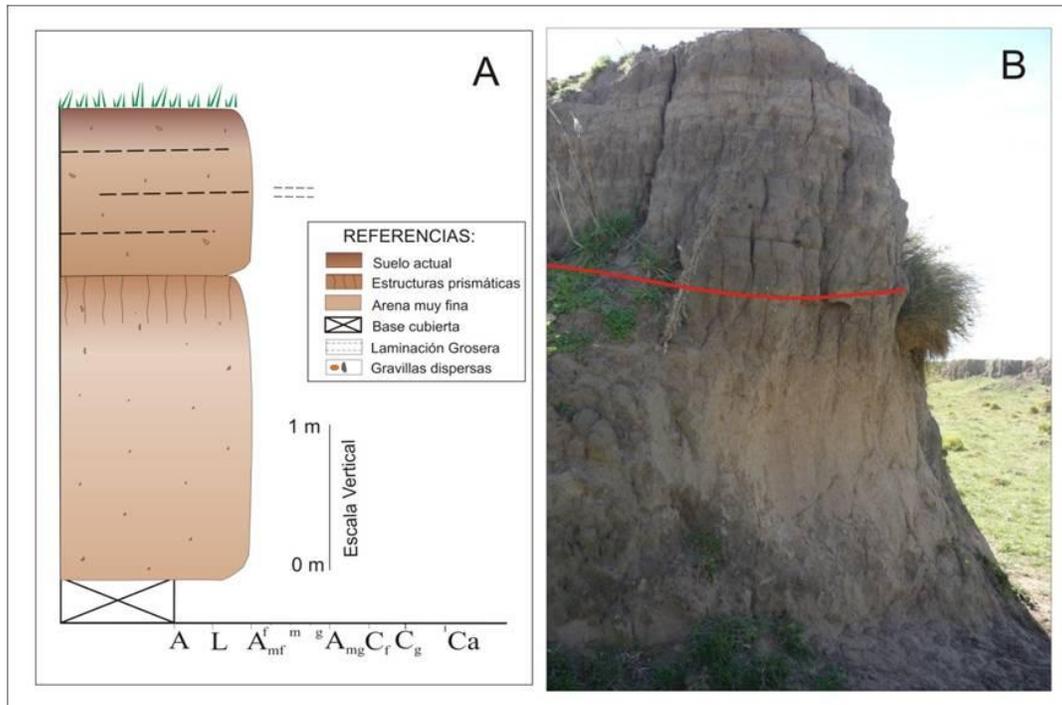


Figura 3.13: A- Esquema de perfil sedimentario P11. B- Foto del Perfil sedimentario P11, ubicado en ambiente fluvio-eólico.

### Perfil 12 (P12):

Se expone en las barrancas de una cárcava estable, con importante vegetación en el fondo, ubicada al Norte de la zona de estudio. Posee 5,90 m de potencia, presenta base cubierta, comenzando con 2,20 m de materiales arenosos muy finos, limosos, con estratificación tabular, internamente masivos, diferencialmente cementados con carbonatos de calcio. Se realizó el análisis granulométrico de esta unidad (Fig. 3.14),

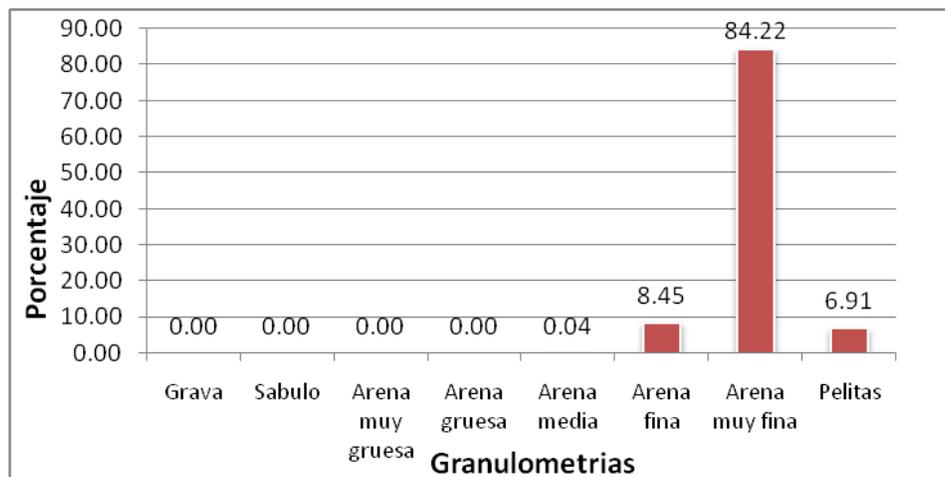


Figura 3.14: Pje. granulométricos de una muestra representativa de la unidad base de P12.

Este arrojó un predominio en el tamaño de grano, de arenas muy finas, superando el 80 % de muestra, denotando una muy buena selección.

En contacto neto, sobreyace a esta unidad 3,20 m de materiales arenosos muy finos, con limos y escasas gravillas dispersas de hasta 2 mm de eje mayor, masivo, que culmina en sus 30 cm superiores con los mismos materiales, de coloración pardo oscura, con estructuras prismáticas decapitadas. El análisis granulométrico realizado sobre esta unidad (Fig. 3.15), denotó un dominio en el tamaño de grano de arenas muy finas con un porcentaje superior al 60%, con arenas finas y pelitas subordinadas, pero que sumadas completan el volumen restante de la muestra.

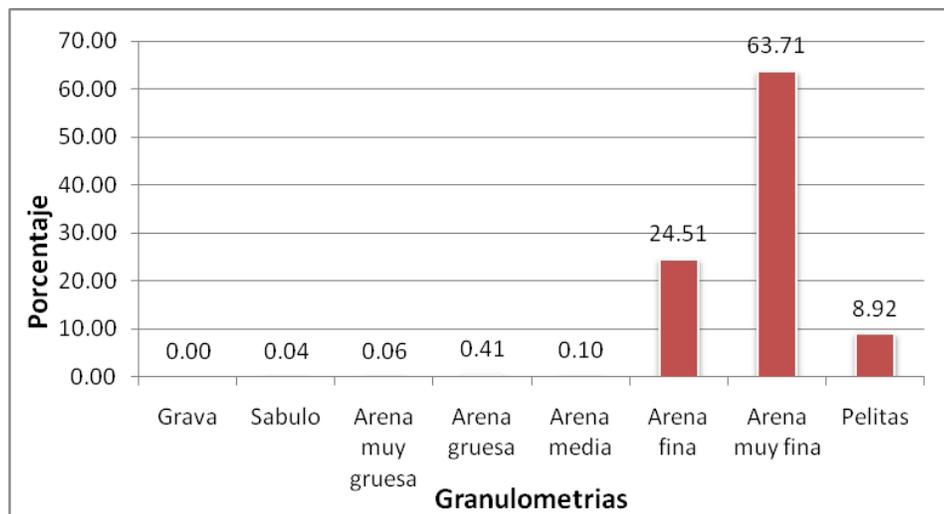
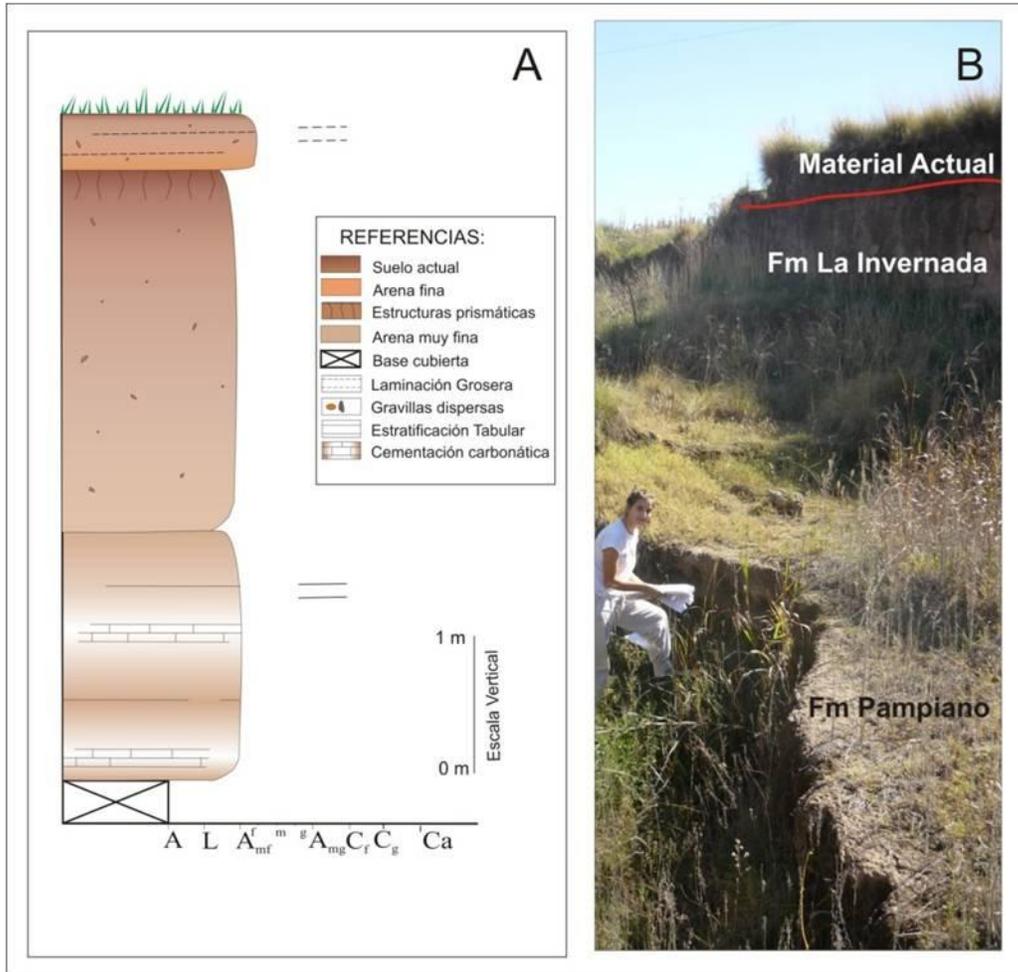


Figura 3.15: Pje. granulométricos de muestra representativa de la unidad de perfil P12 descripta anteriormente.

En contacto neto erosivo se apoya una unidad de 0,50 m de potencia, compuesta por materiales arenosos finos, con escasas gravillas dispersas, de grosera laminación paralela, color pardo rojizo, escasamente edafizado.

El perfil anteriormente descripto (Fig. 3.16) permite interpretar a la unidad inferior, según su posición relativa y composición granulométrica, como equivalente a la Fm Pampiano (Cantú, 1992), representada por materiales eólicos cementados predominantemente arenosos muy finos. La unidad suprayacente se correlacionaría con la Fm La Invernada (Cantú, 1992), representada por materiales eólicos con importante edafización, decapitada por procesos erosivos. La unidad ubicada hacia el techo del perfil corresponde a materiales eólicos retransportados por procesos fluviales, generando estructuras horizontales de edades históricas.



**Figura 3.16:** A- Esquema de perfil sedimentario P12. B- Foto del Perfil sedimentario P12, ubicado en ambiente fluvio-eólico.

### Perfil 13 (P13):

Se expone en la barranca de la margen derecha del río Seco en el tramo situado al N de la zona de estudio, con un espesor total de aproximadamente 12 m, de los cuales se describieron con mayor detalle sólo 3,10 m expuestos en la parte inferior del perfil. Dada la dificultad de acceso a la parte superior la misma fue descrita expeditivamente.

Presenta base cubierta, y se compone de varios cuerpos de geometría tabular, moderadamente compactados. Comienza con 0,30 m de materiales gravosos gruesos a muy gruesos, de color pardo rojizo debido a la conspicua presencia de importantes cantidades de óxidos de hierro, con clastos de hasta 2 cm de eje mayor, composición granítica y estructuras en artesa. Sobre este se apoya un nivel de 0,30 m de espesor, compuesto por arenas finas en una matriz arcillosa, masiva.

Sobre este se apoyan 2,50 m de materiales gravo-arenosos muy gruesos con clastos de hasta 15 cm de eje mayor, de composición granítica, color pardo rojizo y laminación paralela, intercalado con arenas finas a muy finas, de composición granítica, con estructuras en artesa y laminación entrecruzada.

En los 9 m restantes, en general se observan potentes paquetes de geometría tabular, en contacto neto, compuestos de materiales arenosos gruesos gravosos, de coloración pardo rojiza, parcialmente compactados, que gradan hacia el techo a arenas medias. Toda la secuencia se observa altamente diagenizada.

Se realizó el análisis granulométrico mediante tamizado de una muestra representativa del perfil (Fig. 3.17), observándose un claro dominio de las granulometrías gruesas, con un 75% de la muestra compuesta por tamaños desde gravas a arenas muy gruesas, repartiéndose solo el 25% de la misma en las granulometrías restantes.

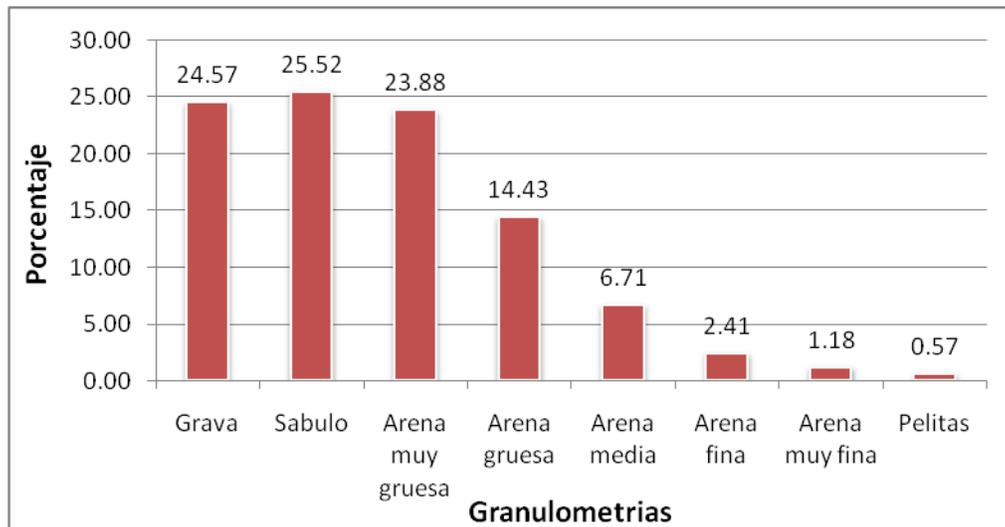


Figura 3.17: Porcentajes granulométricos de una muestra representativa del perfil P13.

Los materiales anteriormente descritos, son interpretados como secuencias fluviales de alta y moderada energía, depositadas en varios eventos fluviales, los cuales según su posición estratigráfica relativa, pueden ser correlacionados con la Fm Chocancharava (Cantú, 1992) de edad Pleistocena.

Puede observarse que los materiales anteriormente descritos, presentan una gran similitud con los depósitos que conforman el actual lecho del cauce del río Seco. En el mismo se observa una carga predominantemente tractiva, compuesta por arenas medias a gruesas, gravas y clastos de hasta 10 cm de diámetro. Esta elevada disponibilidad de materiales, se deposita formando importantes barras centrales y laterales reflejando una significativa agradación en el sistema. El análisis granulométrico realizado a partir de una

muestra representativa de los materiales que componen el cauce actual del río Seco (Fig.3.18), denota un claro dominio de las granulometrías mayores, concentrándose la totalidad de la muestra entre los tamaños grava y arena gruesa, similar a lo ocurrido con los materiales del perfil P13 (Fig. 3.19), expuesto en las barrancas del mismo.

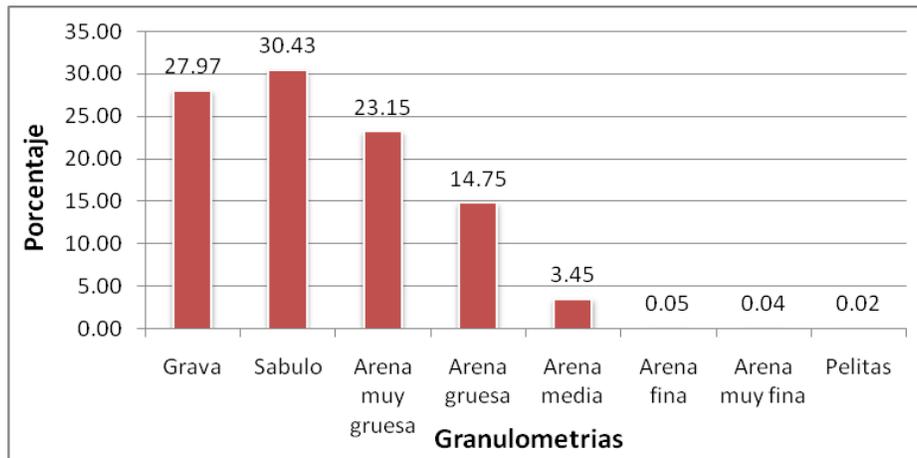


Figura 3.18: Pje. granulométricos de una muestra representativa del Cauce del Río Seco.

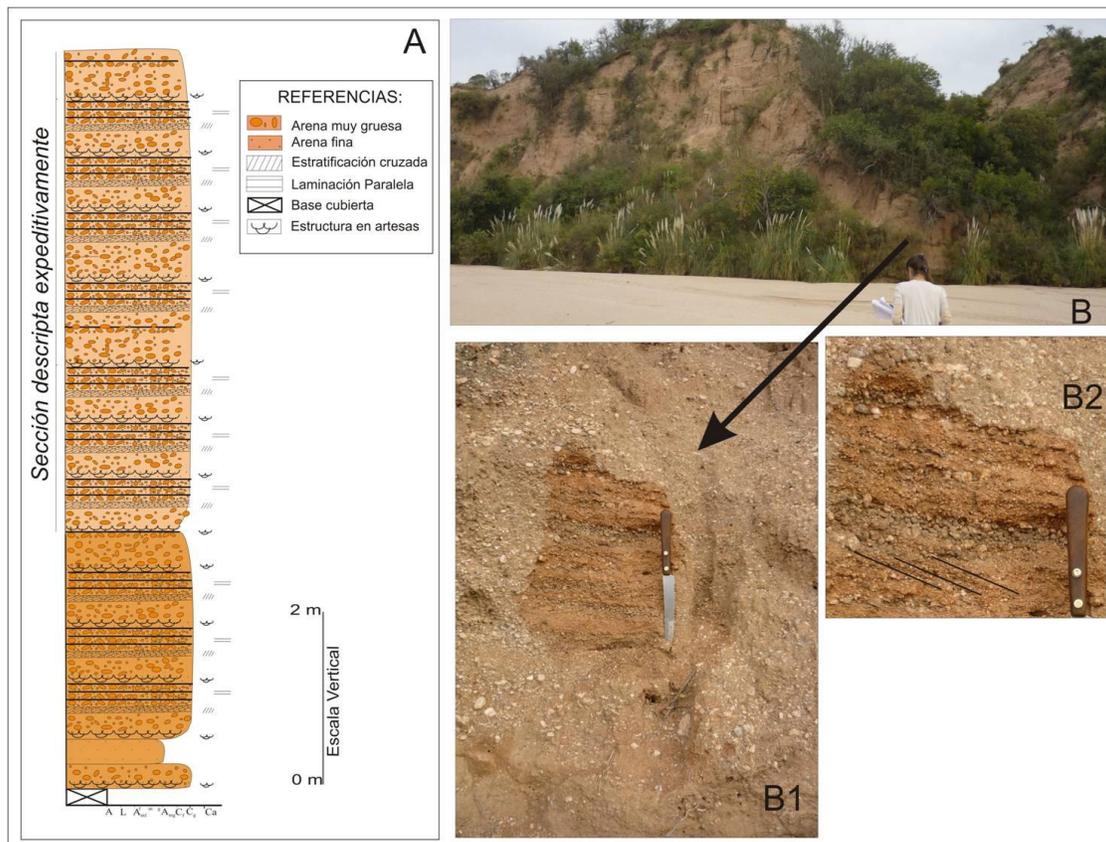


Figura 3.19: A- Esquema de perfil sedimentario P13. B- Foto del Perfil sedimentario P13 completo, ubicado en una barranca del río seco. B1- arenas gruesas y gravas. B2- estructuras en arena y gravas (laminación cruzada, entre otras).

### Perfil 14 (P 14):

Se expone en una terraza de la margen derecha del río Seco, hacia el N de la zona de estudio. Presenta 3 m de potencia y posee base cubierta (Fig. 3.20). Comienza con 0,80 m de materiales areno-limo-arcillosos, masivos, de color pardo rojizo, con gravillas dispersas de hasta 1 cm de eje mayor, de composición granítica. Por encima de esta unidad se apoyan 2,20 m de una sucesión de cuerpos con grosera estratificación horizontal, compuestos por abundantes materiales gravosos, inmersos en una matriz areno-limosa de color pardo oscura, internamente masivos, los cuales culminan con un potente espesor de materiales con abundante MO, lo cual le otorga al techo del perfil una coloración más oscura.

Los materiales que componen el perfil anteriormente descrito, corresponden a una sucesión de secuencias aluviales y flujos densos, correspondientes al tramo medio de un cono aluvial, el cual denota según su importante desarrollo edáfico, una marcada estabilización de los materiales, reflejando una significativa antigüedad.

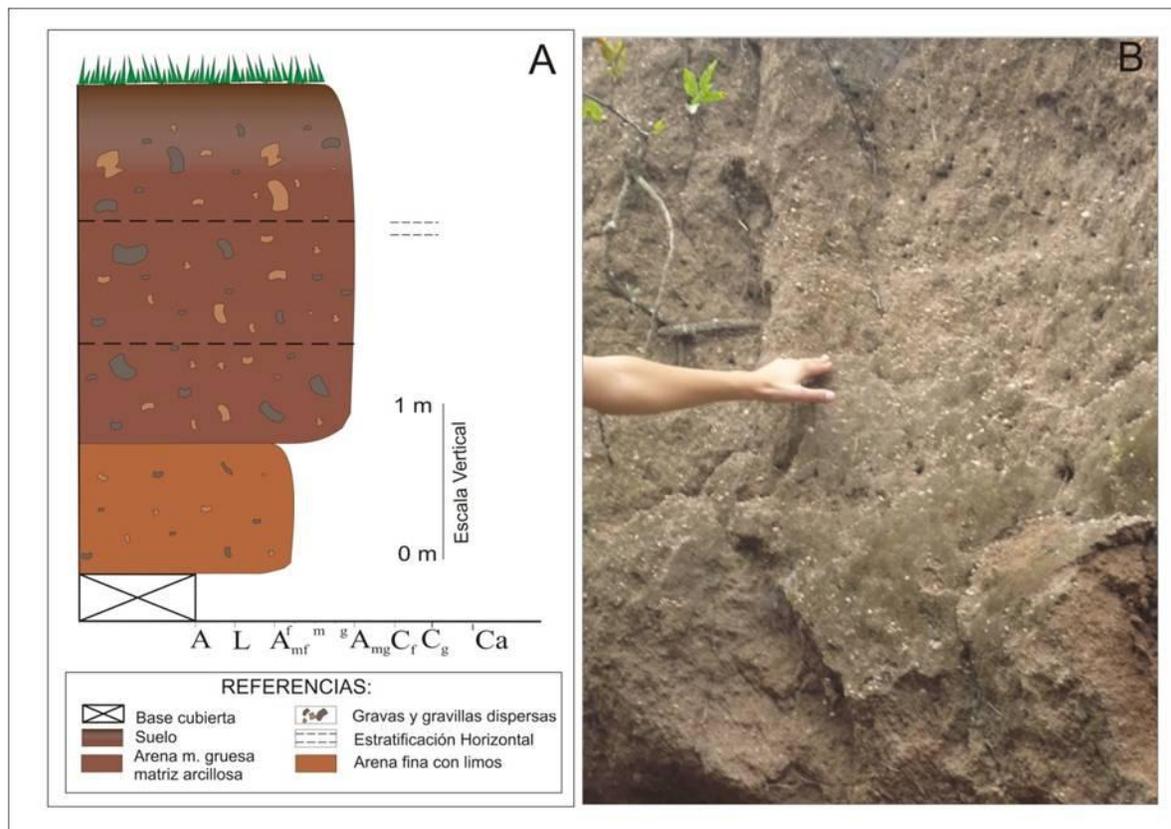
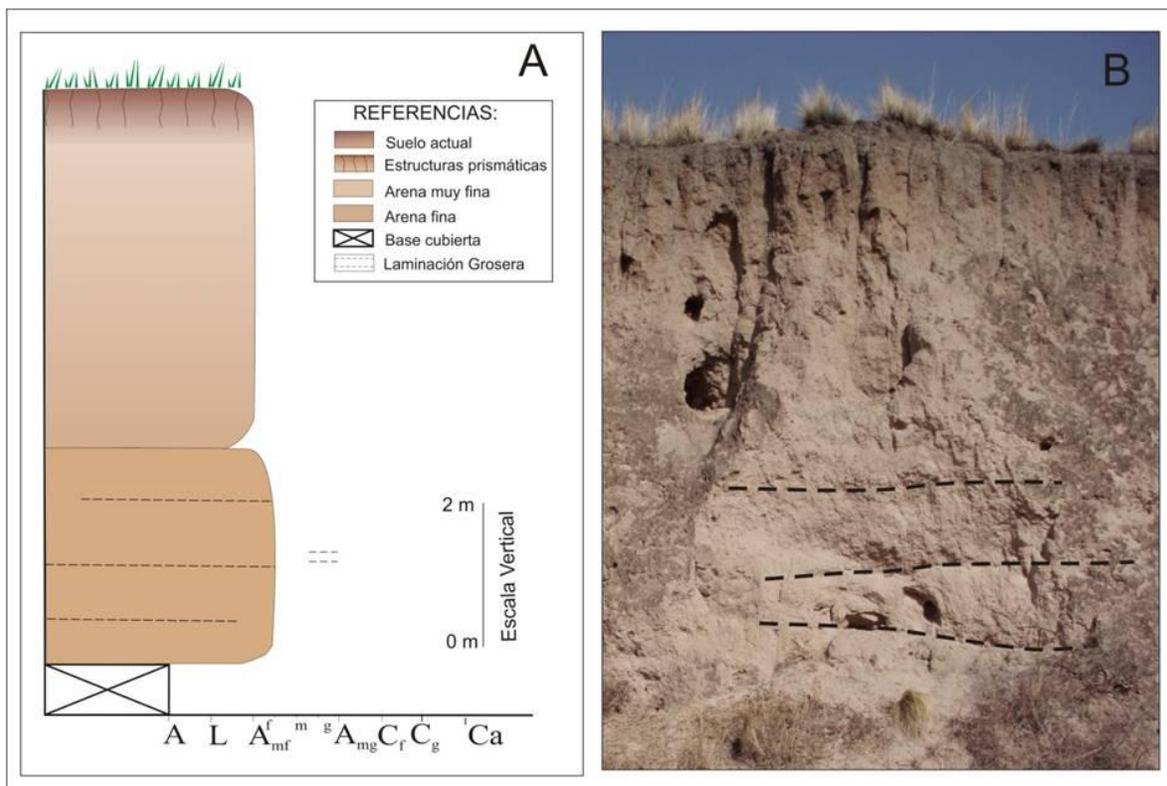


Figura 3.20: A- Esquema de perfil sedimentario P14. B- Perfil sedimentario P14, ubicado en una terraza estabilizada del río Seco.

### Perfil 15 (P 15):

Se expone en una barranca de una cárcava de importantes dimensiones ubicada el Oeste de la zona de estudio. Presenta 8 m de potencia y exhibe su base cubierta (Fig. 3.21). Comienza con 3 m de materiales arenosos finos, pardo claro, con grosera laminación paralela. Sobre esta se apoyan 5 m de materiales arenosos muy finos limosos, masivos de coloración parda grisácea a blanquecina, la cual culmina en sus 0,70 m superiores con materiales oscuros, finos, sobre el cual se observan importantes estructuras prismáticas.

La unidad inferior es interpretada como materiales depositados por procesos fluviales, que transportaron sobre materiales finos. Por encima de esta, se encuentra un potente depósito de materiales de origen eólico, masivo, con un importante desarrollo edáfico, caracterizado por las estructuras prismáticas descritas. A partir de ello, se interpreta que los depósitos eólicos serían equivalentes a la Fm. La Invernada (Cantú 1992), los cuales permanecieron expuestos a los procesos exógenos durante un largo periodo de tiempo, desarrollando así, una importante edafización.

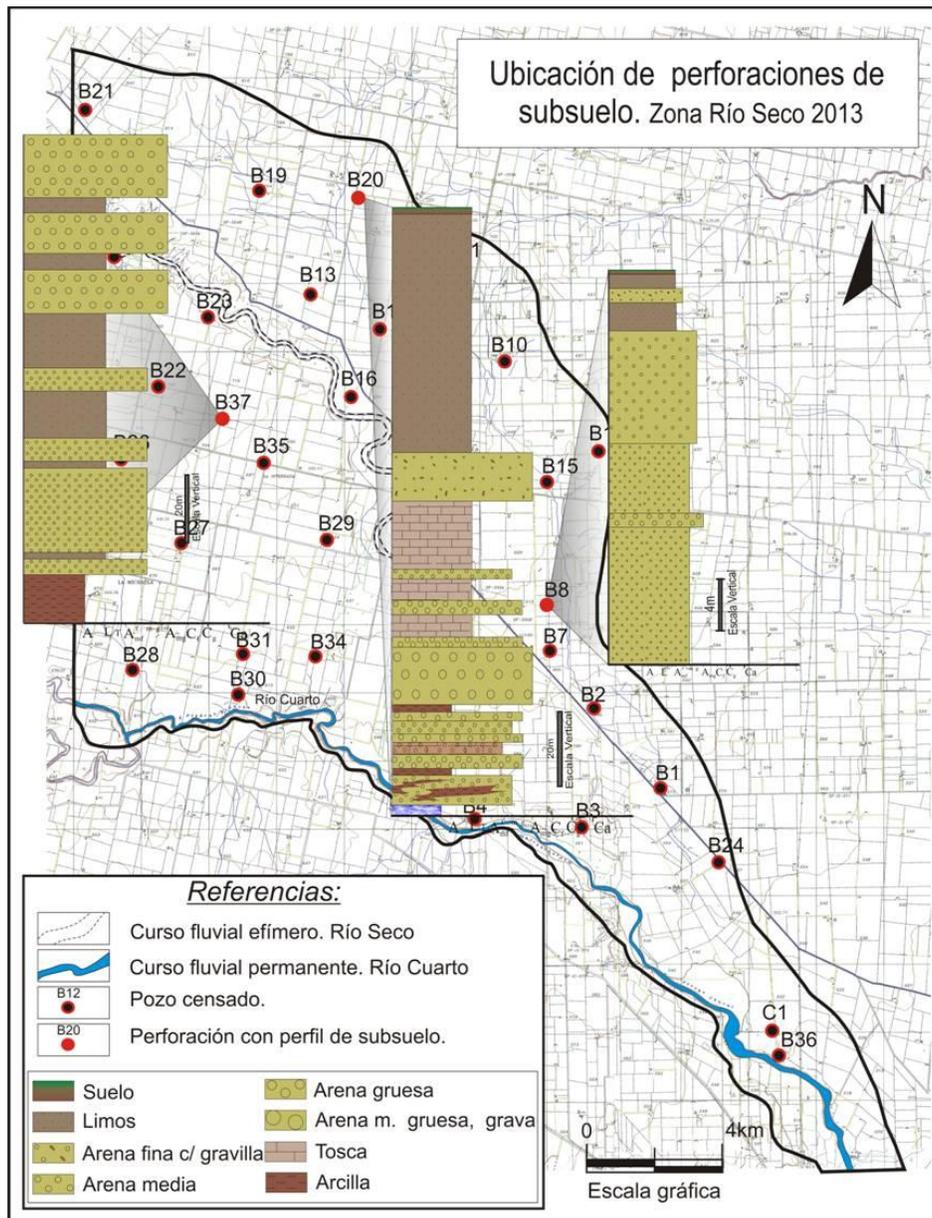


**Figura 3.21: A-** Esquema de perfil sedimentario **P15**. **B-** Perfil sedimentario **P15**, ubicado en ambiente fluvio-eólico.

### 3.1.1.2- Geología de Subsuelo

#### 3.1.1.2.1- Perfiles de Perforación

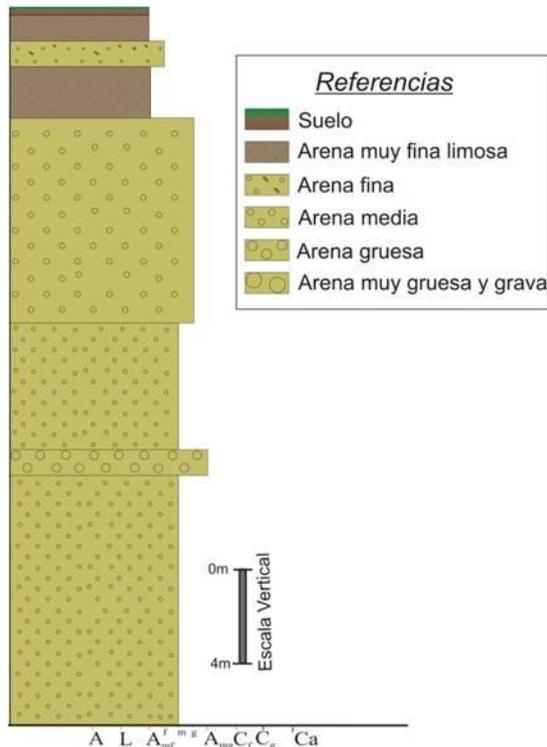
Para realizar el análisis de los materiales que componen el subsuelo de la zona de estudio, además de relevar distintos perfiles aflorantes se tomaron datos de subsuelo mediante el censo de pozos, en el cual se enumeraron las perforaciones censadas de B1 a B37. Los datos litológicos procedentes de algunas de ellas (B8, B20 y B37) permitieron establecer, en base a los materiales atravesados, las litologías dominantes en cada sector. En la figura 3.22, se observa la ubicación de cada perforación utilizada.



**Figura 3.22:** Mapa de ubicación de perfiles de subsuelo en la zona de estudio

Las profundidades alcanzadas por las perforaciones varían desde 2 a 160 m. Se describen a continuación el pozo **B8**, en el cual se incluye un detalle de la litología existente hasta los 28 m de profundidad, la perforación denominada **B20** la cual alcanza los 160 m de profundidad y la denominada **B37** que presenta 140 m con litologías en detalle.

Perforación B8 Campo Victor Romagnoli



**Figura 3.23:** Perforación B8, Romagnoli.

La primera de ellas corresponde a la perforación ubicada en el Establecimiento de Víctor Romagnoli, censada como **B8**, la cual fue realizada e informada por el mismo propietario. Mediante la descripción informada se confeccionó la columna litológica de la figura 3.23, en la cual se observa un dominio de arenas muy finas limosas, en los primeros 5 m, con materiales arenosos y areno-gravosos en el resto del perfil.

La perforación censada como **B20**, se encuentra ubicada en la Escuela Rural Bartolomé Mitre (Fig. 3.24), la misma fue realizada por Procatan Construcciones, para la captación de agua subterránea de dicha escuela, en Campo Latorre, ubicada al Norte de la zona de estudio. La misma alumbr

basamento a los 160 m de profundidad, siendo un dato de gran importancia para la zona. En la misma se observa un importante dominio de materiales finos limosos en la parte superior del perfil, en los primeros 60 m, y granulometrías más gruesas en la parte inferior del mismo, dominando principalmente las arenas medias y gruesas. Próximo a los 130 m de profundidad se observa un nivel de arcillas, las cuales se repiten metros más abajo en cuerpos arenosos.

Por último, se cuenta con la perforación brindada por Carranza Perforaciones (Fig. 3.25), la cual se ubica en el centro de la zona de estudio en el sector de La Invernada, en el Establecimiento Rural perteneciente a Gustavo Calvo, la cual no forma parte del censo. La misma se identifica en los mapas y perfiles como **B37**. Esta alcanza una profundidad de 144 m, sin alumbrar basamento. En ella se observan intercalaciones de arenas y limos

de variados espesores, siendo dominantes las arenas muy gruesas y gravas en la parte superior del perfil y arenas medias en la parte inferior del mismo. A los 140 m se observa un potente espesor de arcillas.

Perforación B20 Escuela "Bartolomé Mitre".

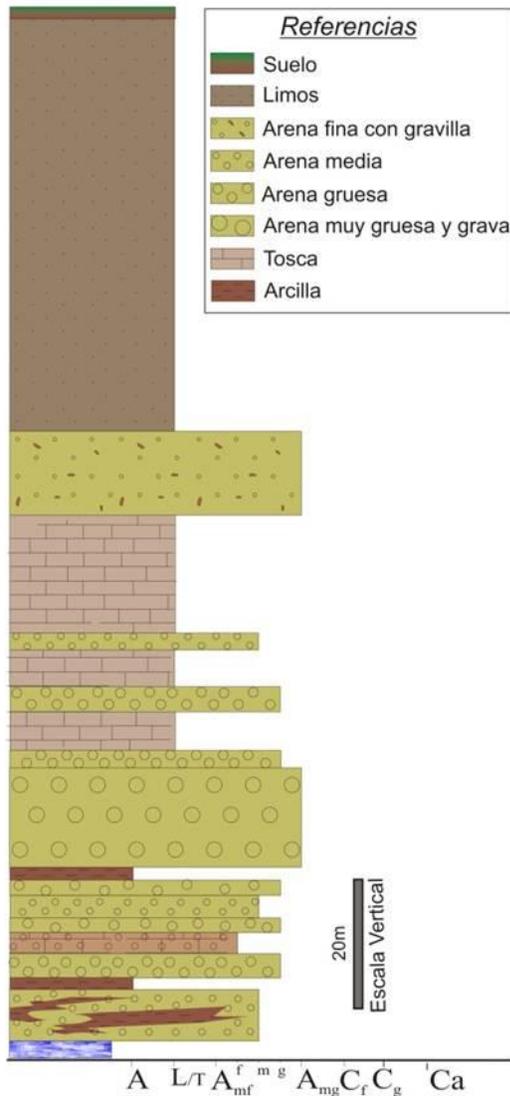


Figura 3.24: Perforación B20, Escuela Bartolomé Mitre.

Perforación B37 "Calvo"

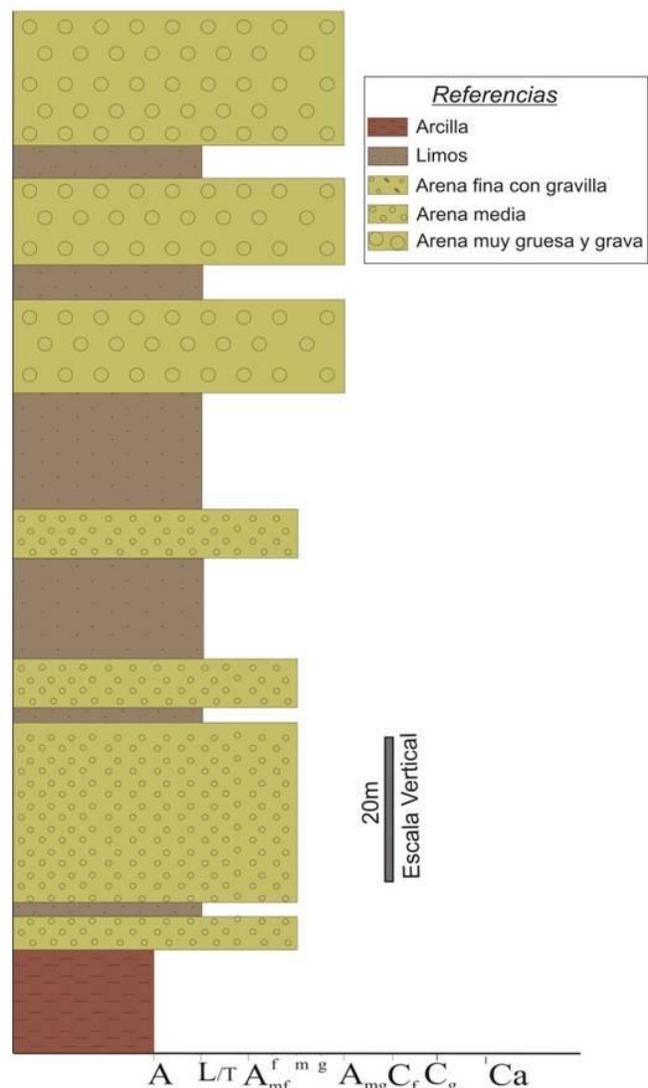


Figura 3.25 Perforación B37, Gustavo Calvo.

**3.1.1.2.2- Perfiles Esquemáticos de Subsuelo.**

A partir de la información obtenida del área de estudio, se confeccionaron tres perfiles esquemáticos, ubicados en la figura 3.26, en sentido N-S, NO-SE y O-E.

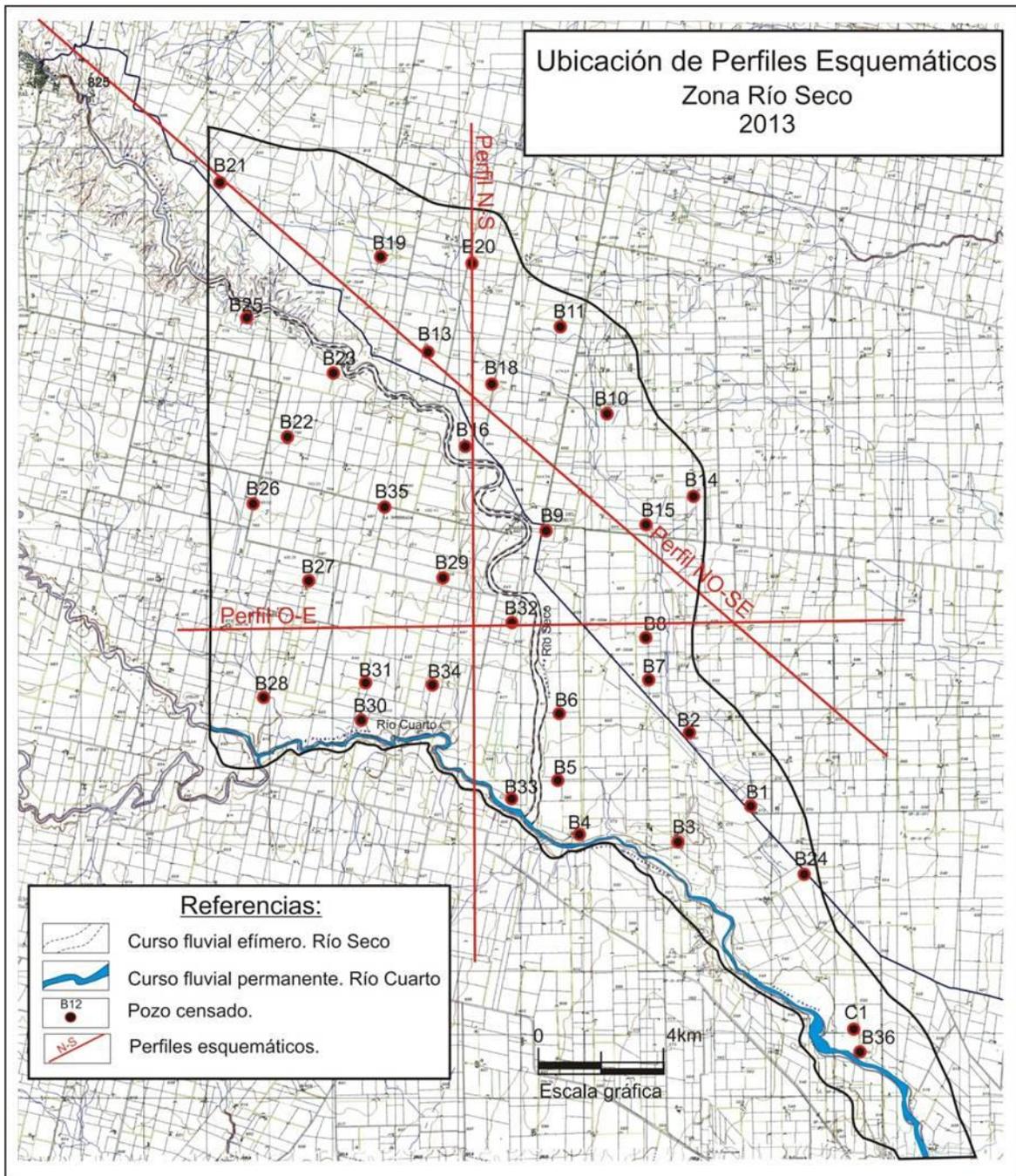


Figura 3.26: Ubicación de los perfiles geológicos esquemáticos realizados para la zona de Río Seco.

### Perfil Geológico Esquemático NO-SE

En el perfil Geológico Esquemático de dirección NO-SE, expuesto en la figura 3.27, puede observarse las diferentes litologías que componen el subsuelo del área de estudio, además del descenso escalonado en bloques que controlan la topografía de la misma.

Hacia el NO y SE dominan materiales eólicos en la cubierta superior, mientras que en el sector central, en ambiente aluvial, se encuentran ausentes, dominando materiales areno-gravosos, que se mantienen durante todo el perfil. Abundantes gravillas dispersas subyacen debajo de la cubierta eólica en el sector pedemontano. Se encontraron además, materiales arenosos medios y gruesos, a distintas profundidades, correspondientes a depósitos típicos de paleocauces de los antiguos sistemas fluviales que dominaban en el sector.

Cabe destacar que las perforaciones con datos son escasas lo que impide detallar de forma precisa los materiales presentes en la zona.

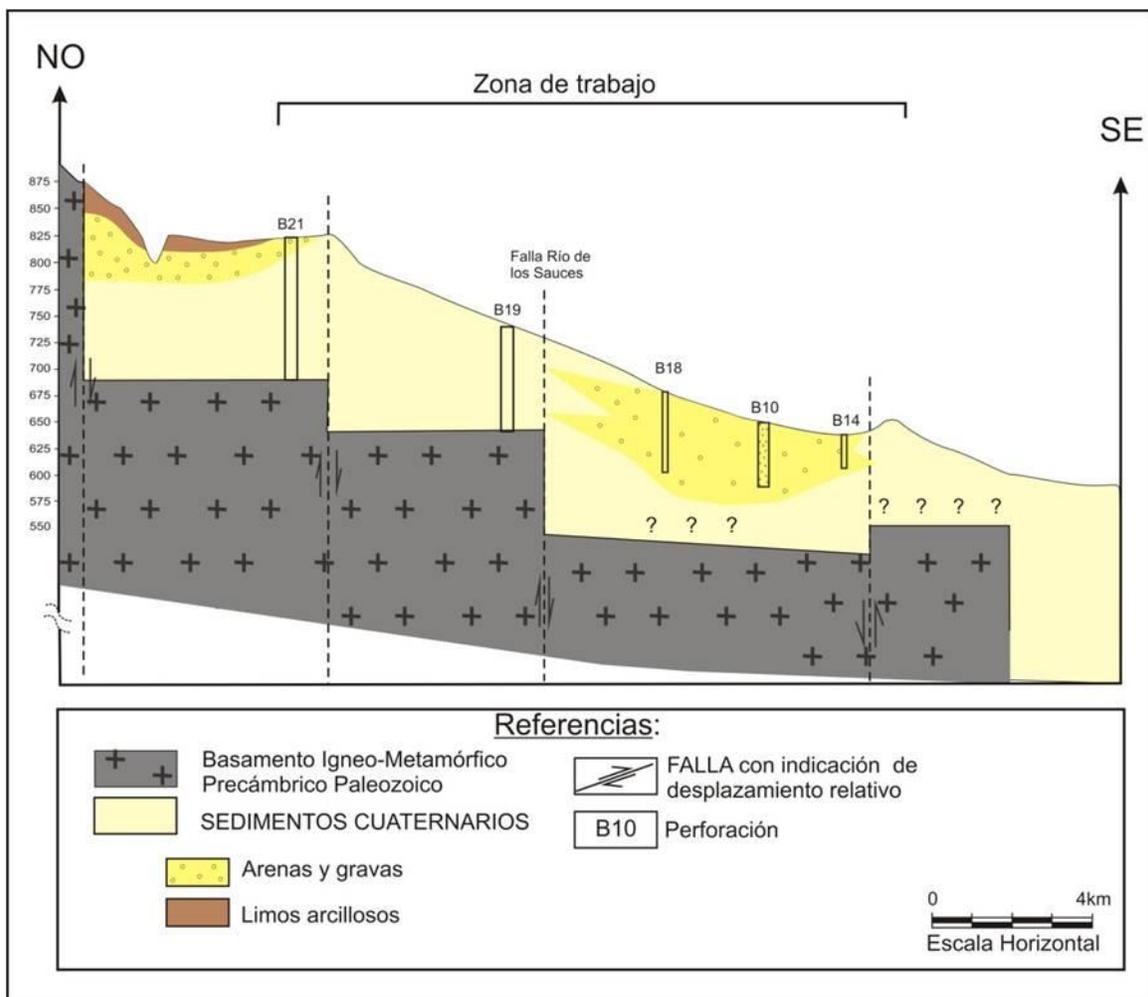


Figura 3.27: Perfil Geológico Esquemático NO-SE de la zona de Río Seco.

### Perfil Geológico Esquemático O-E

El Perfil Geológico Esquemático de orientación O-E (Fig. 3.28) muestra principalmente el dominio de materiales areno-gravosos en el centro de la zona estudio, donde se

encuentra desarrollado el sistema fluvial del río Seco. Por otro lado se observa el sector del abanico aluvial, limitado por dos estructuras, aparentemente de carácter Normal, que generan un descenso del bloque central, tal como se interpreta en el perfil, lo que favorece la acumulación de potentes espesores de materiales aluviales.

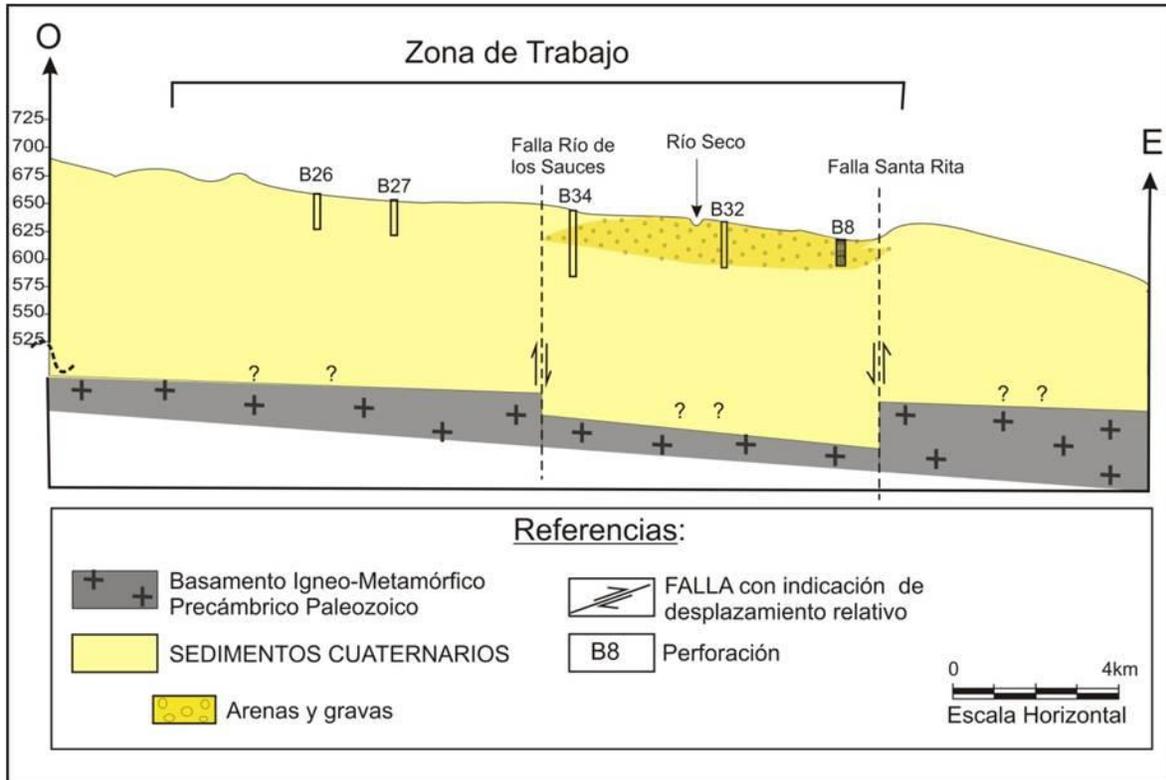
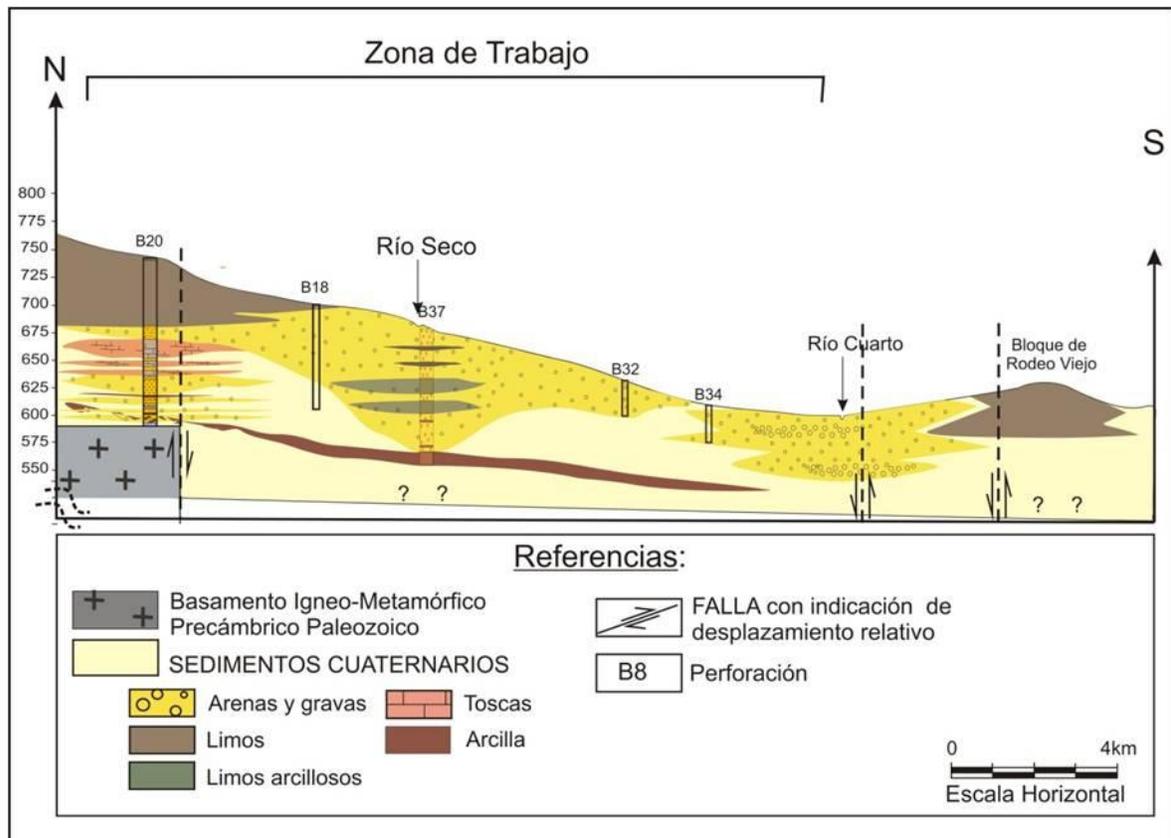


Figura 3.28: Perfil Geológico Esquemático O-E de la zona Río Seco.

### Perfil Geológico Esquemático N-S.

El perfil Geológico Esquemático de dirección N-S (Fig. 3.29) muestra un dominio, hacia el Norte del área de estudio, de materiales limo-arenosos muy finos de origen eólico, conformando la cubierta superior, encontrándose por debajo de la misma potentes capas de arenas y gravas correspondientes a paleocanales. Hacia el Sur de la misma, en ámbito del abanico aluvial del río Seco, abundan materiales areno-gravosos, tal como se observan en la perforación **B37** descrita. Sólo se alumbró basamento al Norte de la zona de estudio a una profundidad de 160 m, desconociendo la posición del mismo en el resto del área.



**Figura 3.29:** Perfil Geológico Esquemático N-S de la zona Río Seco.

A través de estos datos, se observó una importante variación litológica, en la cual dominan materiales areno-gravosos en los sectores de influencia fluvial de los ríos Cuarto y Seco, principalmente hacia el centro de la zona de estudio. Al Norte de la misma, dominan los pozos con granulometrías limo-arenosas, en la parte superior, y arenosas en los niveles inferiores, interpretándose los mismos como paleo-cauces procedentes de los sistemas fluviales pedemontanos. Observándose finalmente en los sectores Orientales y Occidentales pozos donde dominan los materiales limosos, loésicos.

### 3.1.2- Estructuras locales

Para realizar una correcta interpretación de la geología del subsuelo de la zona de estudio, se analizaron los sistemas de estructuras que ejercen mayor influencia en la misma.

Los sistemas de estructuras presentes en la zona, conforman un conjunto de bloques diferencialmente ascendidos y basculados, que producen un fuerte control en el relieve, los sistemas fluviales y la dinámica del agua subterránea. A partir de ello se logra definir

tres sistemas estructurales principales (Fig. 3.30), sistema N-S el cual controla los límites laterales del abanico aluvial del río Seco, el NO-SE el cual limita a dicho sistema hacia el Norte y el SO-NE cuya principal influencia se exhibe en las redes de drenaje.

*Sistema N-S:* Se encuentra conformando este sistema la Falla Río de los Sauces y la Falla Santa Rita, como principales estructuras.

-La Falla Río de los Sauces: es de gran importancia en la zona de estudio, ya que representa el límite Occidental del sistema aluvial del río Seco, generando el descenso del bloque Oriental, sobre el cual se desarrolla dicho sistema.

-La Falla Santa Rita: conjuntamente con la falla Río de los Sauces limitan y conforman un sistema de graben de pequeña escala, sobre el cual se desarrollan los distintos abanicos aluviales del río Seco, generando un importante sistema agradacional, el cual acumuló potentes espesores sedimentarios a lo largo de su historia. Se encuentra representada en el terreno por un área topográficamente elevada al Este de la misma, y se observa dislocada en al menos dos tramos desplazados entre sí. Esta falla no ha sido aún denominada formalmente, llamándose Falla Santa Rita en el presente trabajo por encontrarse muy próxima a dicha localidad.

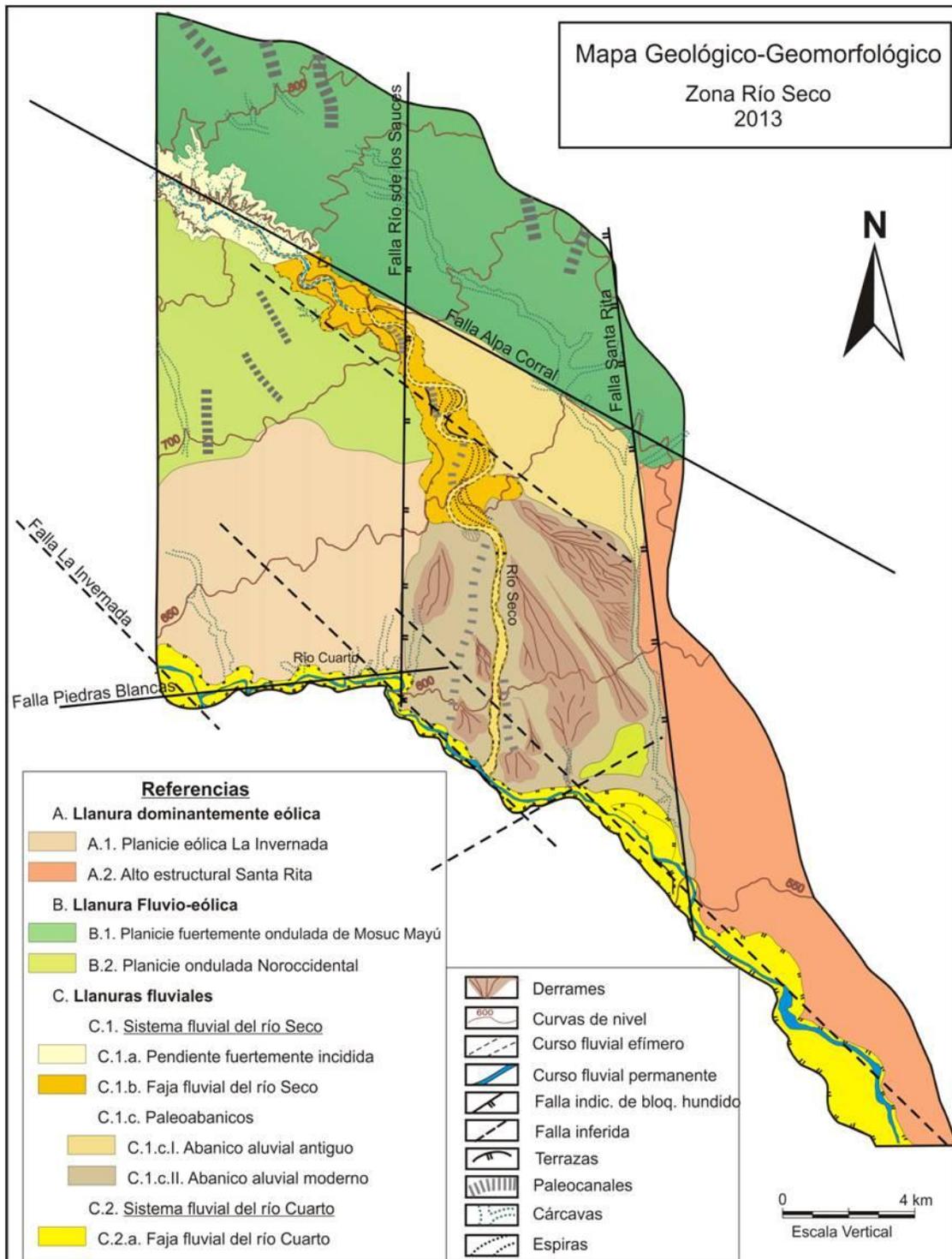
*Sistema NO-SE:* En la zona de estudio se encuentran importantes sistemas con esta orientación controlando el diseño de los ríos Seco y Cuarto, destacándose la falla Alpa Corral, por controlar al río homónimo y conformar el límite Norte del sistema aluvial del río Seco y la denominada en este trabajo como, Falla La Invernada, la cual controla un pequeño tramo del río Cuarto, al Este del área de estudio.

*Sistema SO-NE:* En el área de estudio, se destaca la falla Piedras Blancas, la cual controla el tramo Occidental del río Cuarto, además de otras estructuras menores, sin denominación formal.

### **3.2- Geomorfología**

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de las unidades geomorfológicas descritas por Degiovanni (2005), denominadas como Ambiente Agradacional Pedemontano y Planicie Loessoide con Dunas Longitudinales.

El relieve se caracteriza por planicies suaves a fuertemente onduladas, las cuales presentan pendientes topográficas locales de 1% a 5% en diferentes sectores y pendiente general hacia el SO. La figura 3.30 muestra el mapa geomorfológico de detalle para la zona de estudio.



**Figura 3.30:** Mapa Geológico-Geomorfológico Zona Río Seco 2013.

Los principales cursos fluviales que ejercen influencia en el área de estudio son el río Cuarto y el río Seco, los cuales confluyen hacia el Sur de la zona de estudio, en una relación ortogonal, influenciados por las importantes estructuras que dominan la región.

Se diferenciaron las siguientes unidades y subunidades, las cuales se observan en el mapa geomorfológico de la figura 3.30.

### **3.2.1- Descripción de unidades geomorfológicas**

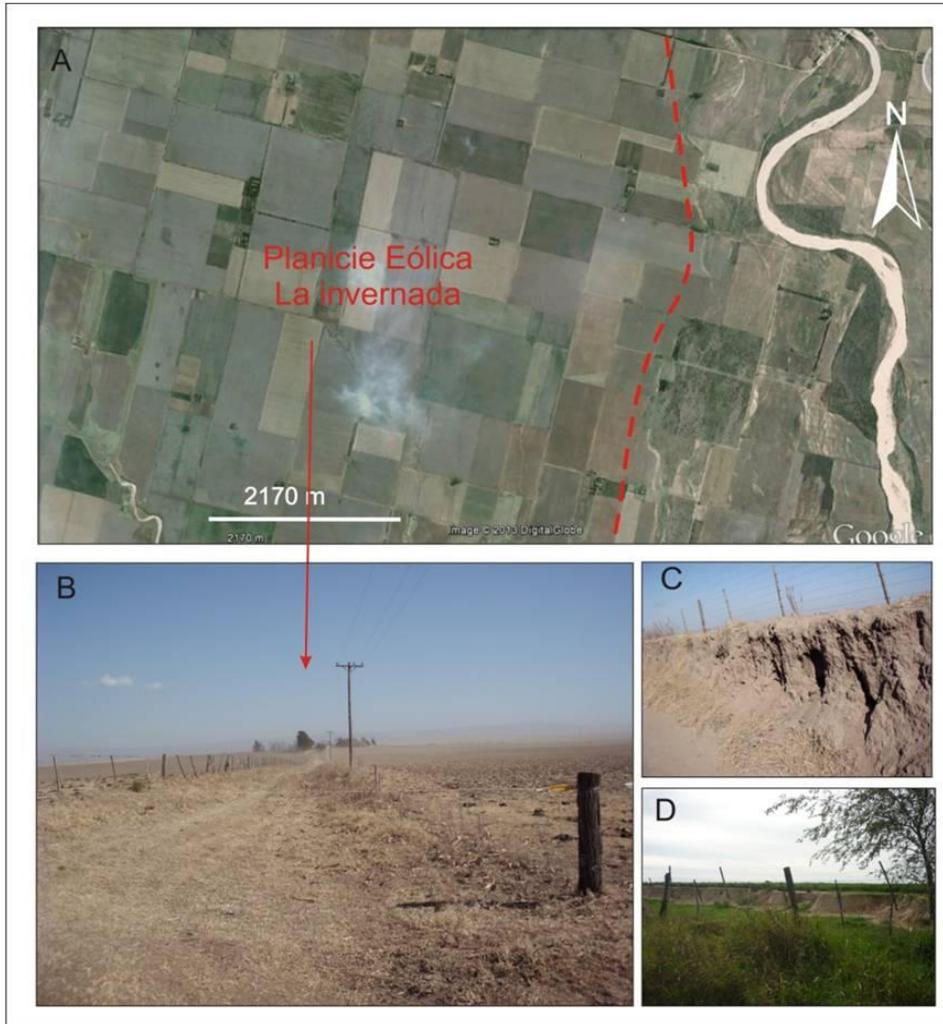
#### **A: Llanura predominantemente eólica**

Estas planicies, suavemente onduladas, típicas de la llanura pampeana, están, levemente sobre-elevadas con respecto a abanico aluvial del río Seco, situado en medio de dicha llanura. Se caracteriza por presentar lomadas anchas, en sentido NNO-SSE, donde afloran predominantemente materiales eólicos de las Formaciones La Invernada Y Laguna Oscura (Cantú, 1992). Los suelos presentan variado desarrollo, y escasa cobertura vegetal, lo cual favorece la instalación de procesos activos de erosión tanto hídrica como eólica. Los bajos alineados en dirección NO-SE actúan como redes de escurrimiento superficiales en periodos de tormentas, encausando las aguas pluviales hacia el Sur desaguando sobre el río Cuarto. En general la totalidad de la unidad posee muy baja densidad de cárcavas y ausencia de rasgos de origen fluvial.

En esta unidad se pueden definir dos subunidades denominadas:

**A.1: Planicie eólica La Invernada:** corresponde a una extensa planicie ubicada al SO de la zona de estudio, con pendientes generales de 1,2 % hacia el SE (Fig. 3.31). Se caracteriza por presentar un relieve suavemente ondulado, con lomadas anchas en sentido NO-SE las cuales se encuentran compuestas por materiales limo-arenosos finos, masivos no cementados de origen eólico (Fm La Invernada). Se destaca la ausencia de rasgos de origen fluvial, además de la baja densidad de cárcavas, las cuales se encuentran principalmente en la zona Sur, sobre las elevadas pendientes desarrolladas en las barrancas del río Cuarto. Los bajos topográficos principales presentan dirección NO-SE, escurriendo las aguas pluviales hacia el río Cuarto.

Los suelos presentan variado desarrollo (Fig. 3.32), desde escasamente evolucionados, con poca cobertura vegetal, susceptibles a la erosión, hasta suelos de mayor desarrollo. Como procesos activos se observa erosión eólica (Fig. 3.33) e hídrica.



**Figura 3.31:** A- Unidad geomorfológica Planicie eólica La Invernada, imagen tomada de Google Earth, 2013. B- Relieve suavemente ondulado característico de la unidad. C y D- Materiales limo-arenosos muy finos que componen la unidad.



**Figura 3.32:** A- Potente suelo desarrollado sobre materiales arenosos muy finos limosos, equivalentes a la Fm La Invernada (Cantú 1992). B- Materiales areno-limosos escasamente edafizados.



Figura 3.33: Erosión eólica en la planicie eólica

**A.2: Alto estructural Santa Rita:** corresponde a una planicie elevada de orientación submeridiana, asociada a una importante estructura perteneciente al sistema N-S, ubicada al E de la zona de estudio (Fig.3.34 A y B). Presenta en general, una geometría asimétrica, con el flanco Occidental más escarpado con 2% de pendiente y el flanco Oriental tendido con 0,5 % de pendiente hacia el SE. En su sector cumbral exhibe un relieve muy suavemente ondulado, compuesto por materiales arenosos muy finos y homogéneos pertenecientes a la Fm Laguna Oscura. En general, en su flanco Oriental dominan lomas y bajos elongados con pendientes largas, entre 0,2% y 0,5%. Las lomas presentan suelos con escaso desarrollo edáfico y poca cobertura vegetal, mientras que en los bajos de dirección NO-SE, se observan suelos de moderado desarrollo, constituyendo el sistema colector de las aguas pluviales, las cuales escurren hacia el SE, desaguando sobre el río Cuarto.

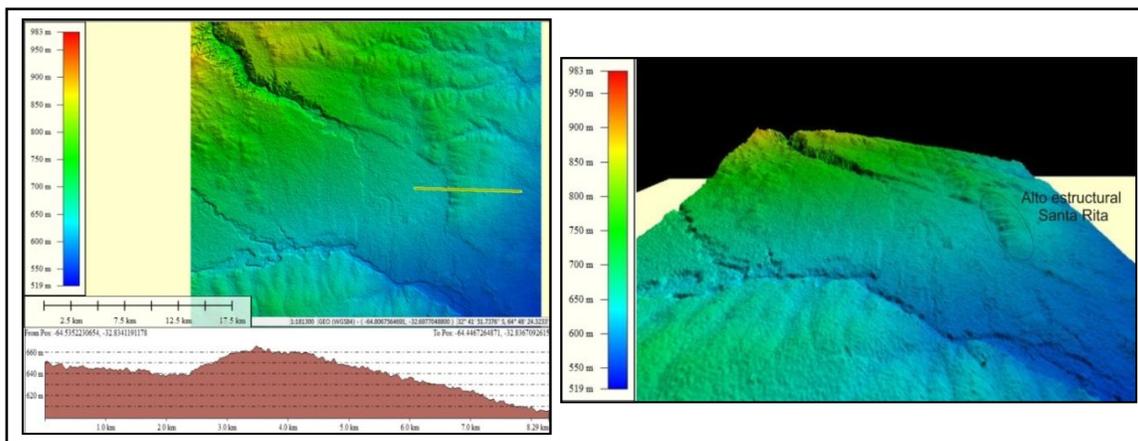


Figura 3.34: A- Perfil topográfico del alto estructural Santa Rita, tomado con el programa Global Mapper, (Imagen SRTM 25 m). B- Alto estructural Santa Rita, visto en 3D con el programa Global Mapper, (Imagen SRTM 25 m).

El proceso activo dominante es la erosión eólica, observándose rasgos de deflación, sin descartar la erosión hídrica, la cual si bien no desarrolla cárcavas en el sector, conforma surcos de importante envergadura (Fig. 3.35).



**Figura 3.35:** Surco de erosión hídrica en el alto estructural Santa Rita.

Esta morfoestructura representa el límite oriental de los paleoabanicos del río Seco, encontrándose ausentes en esta unidad los rasgos aluviales típicos que caracterizan los paleosistemas aluviales (Fig. 3.36). Además constituye la divisoria de aguas superficiales y posiblemente subterráneas de la región.



**Figura 3.36:** Rasgos aluviales limitados por el alto estructural Santa Rita. **A-** Imagen oblicua. Fuente: Sagripanti. **B-** Imagen tomada de Google Earth, 2013.

## **B: Llanura fluvio-eólica**

Se ubica en el sector Norte de la zona de estudio a ambos lados de la faja fluvial del río Alpa Corral y constituye la unidad de mayor expresión areal. Se compone de extensas planicies las cuales exhiben relieve de suave a fuertemente ondulado, con pendientes

hacia el SE que varían desde 0,8% en los sectores occidentales más planos a 4% en el sector oriental donde los bajos y lomas se tornan más abruptos. Se caracteriza por presentar lomas y bajos de dimensiones variables, conformados a partir de paleovalles fluviales cubiertos por depósitos eólicos de tipo loésicos. Los procesos activos dominantes son la erosión hídrica y eólica, desarrollando importantes sistemas de cárcavas y surcos de gran envergadura. En los ejes de los bajos, se está reinstalando una red de drenaje incipiente, a través de los sistemas de cárcavas desarrollados sobre las paleoredes, en cuyas barrancas afloran la mayoría de las formaciones descriptas para el área. En ocasiones se observa que la concentración e incisión de los cursos se asocia a caminos rurales dispuestos de forma paralela o subparalela a la máxima pendiente, lo cual se ve incrementado por la degradación de la vegetación natural, como resultado del incremento de la actividad agrícola -ganadera en las últimas décadas, sin una adecuada planificación y sin la utilización de prácticas de uso y conservación de suelo. Esta unidad se subdivide en:

**B.1: Llanura fuertemente ondulada de Mosuc Mayú:** ésta corresponde a la planicie ubicada al Nor-Noreste de la zona de estudio, la cual exhibe un relieve fuertemente ondulado con pendiente general de 1% hacia el SE (Fig. 3.37). Se caracteriza por presentar lomas y bajos desarrollados sobre importantes paleoredes fluviales, las cuales se encuentran cubiertas por materiales predominantemente eólicos que no logran disipar los rasgos previos. Se observan pendientes locales que varían desde 0,9% en la parte superior de las lomas, hasta 4% en los sectores más abruptos. El sector presenta gran densidad de paleocauces, asignables a la vieja actividad fluvial del arroyo Mosuc Mayú, que constituyen los ejes de los bajos principales. Sobre ellos ha comenzado a reinstalarse la red de drenaje actual, encontrándose los sistemas de cárcavas más desarrollados. Cabe destacar que la principal red efímera instalada sobre esta unidad, posee su colector principal fuertemente controlado por la estructura N-S, que limita el borde Oriental del abanico aluvial del río Seco, denominada Falla Santa Rita en este trabajo, la cual conforma un valle elongado de dirección N-S, de aproximadamente 11 Km de longitud, que funciona como colector principal de las aguas pluviales captadas por el sistema de cárcavas desarrollado sobre esta unidad (Fig. 3.38).

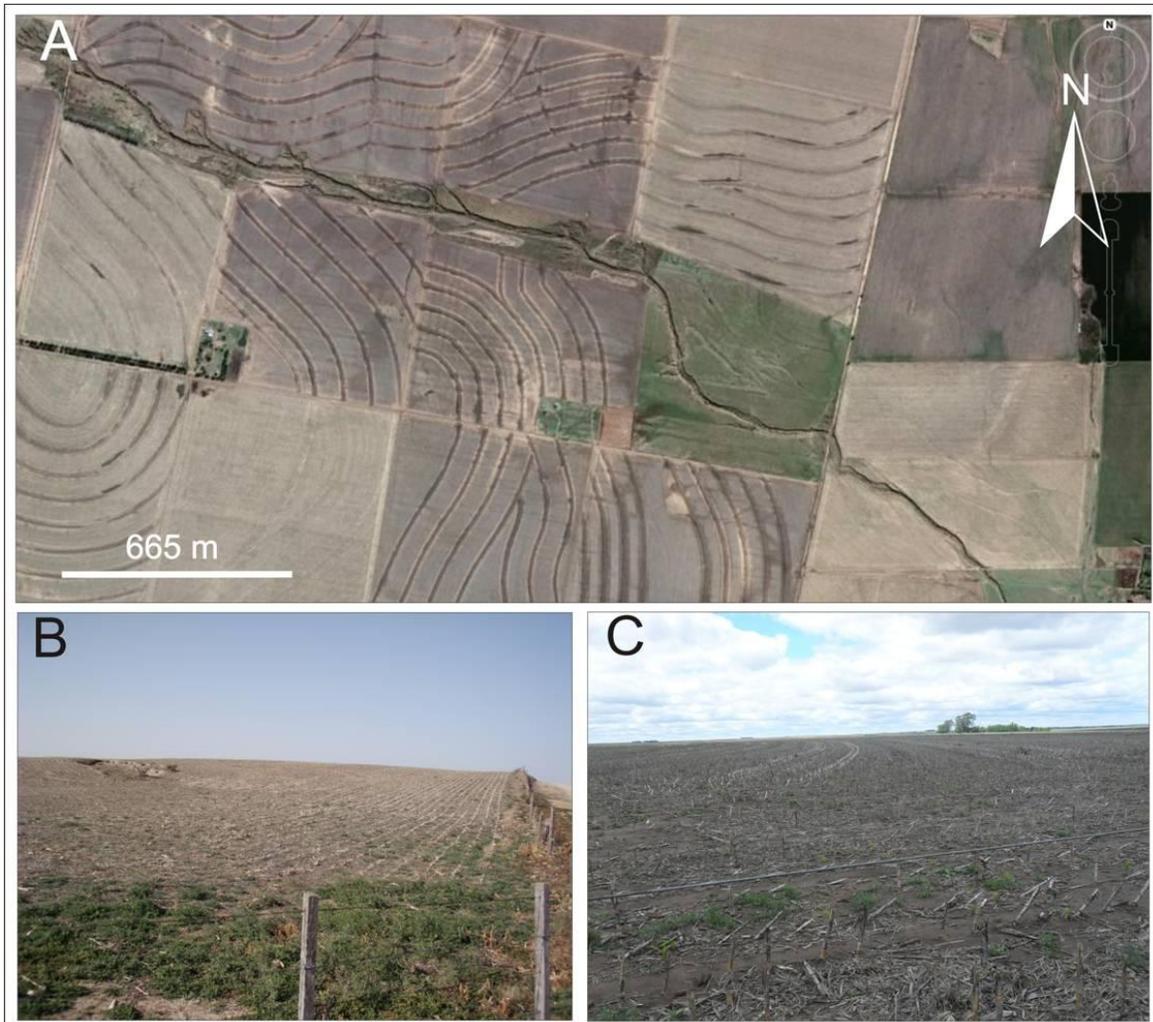


**Figura 3.37:** A- Unidad geomorfológica Llanura fuertemente ondulada de Mosuc Mayú, imagen tomada de Google Earth, 2013. B- Llanura fuertemente ondulada.



**Figura 3.38:** Reinstalación de red fluvial en cárcavas de gran desarrollo. Imagen tomada de Google Earth, 2013.

Si bien puede observarse aflorando sobre las barrancas de las cárcavas a la mayoría de las formaciones descritas para el área, en las lomas afloran principalmente materiales eólicos pertenecientes a la Fm Laguna Oscura (Cantú, 1992); solo en algunos sectores aflora la Fm La Invernada, debido a la erosión de la primera. Los procesos activos dominantes son la erosión hídrica y eólica, por lo que se observa un importante desarrollo de prácticas de manejo de suelo, con labrado en curvas de nivel en los sectores donde la erosión hídrica se encuentra más desarrollada (Fig. 3.39).



**Figura 3.39:** **A-** Cultivo en curvas de nivel, imagen tomada de Google Earth, 2013. **B-** Cárcava incipiente formada sobre una loma cultivada con maíz. **C-** Cultivo de maíz en curvas de nivel.

**B.2: Planicie fluvio-eólica Noroccidental:** corresponde a una planicie suavemente ondulada ubicada al NO de la zona de estudio. Presenta pendientes generales de 1% hacia el SE y se caracteriza por exhibir rasgos fluviales de paleoredes antiguas,

levemente disipados por depósitos eólicos de ciclos áridos que suavizan las pendientes (Fig. 3.40). Presenta altos y bajos de menor envergadura que en la subunidad anterior, donde se instala una red efímera más incipiente la cual colecta las aguas pluviales y las conduce hacia Sureste. Los procesos activos dominantes son la erosión hídrica y eólica, desarrollando sistemas de surcos de importante magnitud y cárcavas menores. Ante esto se observan prácticas de manejo tales como cultivo en curva de nivel y albardones, hacia el Norte de esta subunidad.



**Figura 3.40:** A- Planicie Fluvio-eólica Noroccidental, imagen tomada de Google Earth, 2013. B- Imagen del relieve suavemente ondulado de la unidad.

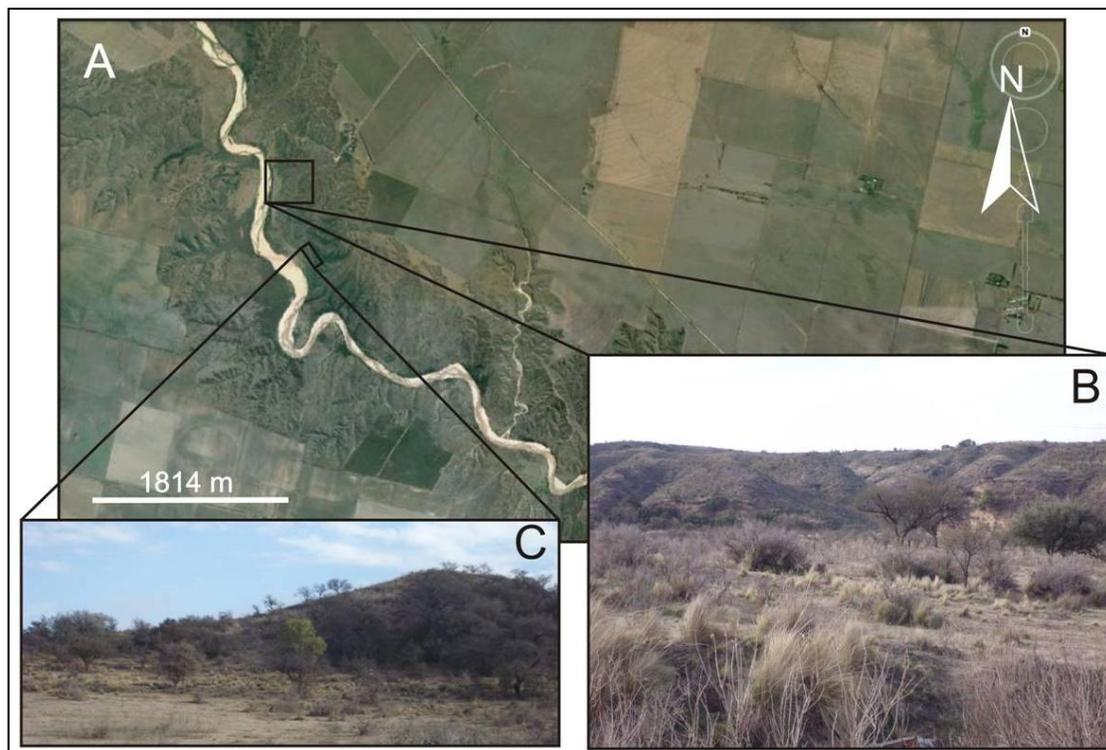
### **C: Llanuras fluviales:**

Esta unidad comprende todas las planicies desarrolladas mediante distintos procesos fluviales asociados a los ríos que caracterizan el área de estudio, dentro de ella se encuentran los sistemas fluviales del río Seco y del río Cuarto, incluyendo los

paleoabanicos desarrollados por el río Seco durante su evolución. En general corresponde a planicies predominantemente areno-gravosas con notables rasgos fluviales. En su totalidad presentan un importante control estructural que se detallará posteriormente.

### C.1: Sistema Fluvial del río Seco

**C.1.a: Pendiente fuertemente incidida:** corresponde a una faja de aproximadamente 2 km de ancho y 6 km de longitud, ubicada al NO de la zona de estudio, extendida a ambos lados de la faja fluvial del río Seco. La misma presenta un relieve muy ondulado, fuertemente quebrado, con cimas redondeadas, y laderas cortas e irregulares que exhiben pendientes locales, entre 3% y 5%, hacia el cauce. Estas morfologías son producto de la alta densidad de cárcavamientos, desarrollado a partir de la incisión del río Seco en su tramo pedemontano (Fig. 3.41).



**Figura 3.41:** A- Unidad de pendiente fuertemente incidida mostrando un denso patrón dendrítico en las cárcavas, imagen tomada de Google Earth, 2013. B y C- Relieve

La alta densidad de drenaje está controlada, no sólo por la topografía, sino que también se vincula a la litología del área. Así se destaca que hay materiales gravo-

arenosos gruesos, aflorantes en la base de las barrancas, cubiertos por potentes espesores de materiales de matriz limo arcillosa (Fig. 3.42). Esto se ve evidenciado por un patrón dendrítico de alta densidad en las cárcavas, especialmente en los tramos medios y de cabecera, donde se afectan las secuencias más finas, mientras que al alcanzarse los niveles más gruesos, los canales se ensanchan y la densidad disminuye.



**Figura 3.42:** **A-** Perfil perteneciente a la unidad denominada Pendiente Fuertemente incidida, ubicada en la barranca del río Seco en el NO de la zona de estudio. **B-** Techo del perfil, compuesto por materiales limo-arcillosos masivos. **C-** Base del perfil,

**C.1.b: Faja fluvial del río Seco:** esta subunidad se compone por la faja labrada por el río Seco desde su bajada serrana hasta su confluencia con el río Cuarto. Corresponde a una faja de aproximadamente 25 Km de longitud y 2,5 km de ancho máximo, la cual comprende los rasgos actuales, que conforman la faja fluvial actual y los anteriormente labrados por el río, en una faja fluvial más antigua (Fig. 3.43). Presenta tres tramos bien diferenciados, uno superior de 10 km de longitud (al Oeste de la zona de estudio), caracterizado por un canal actual incidido de patrón rectilíneo de baja sinuosidad controlado estructuralmente. En este tramo, el río mantiene un régimen permanente, hasta la intersección del canal con una estructura submeridiana del sistema NNE-SSO, donde comienza a perder caudal hasta infiltrar por completo. Exhibe una faja fluvial

actual muy reducida del orden de los 100 m de ancho. Ya dentro del área de trabajo, se encuentra el tramo medio de 9 km de longitud y 2,5 km de ancho máximo. Comprende



**Figura 3.43:** Distintos aspectos que presenta la faja fluvial y el cauce actual del río Seco, desde la salida extraserrana, hasta su confluencia con el río Cuarto. Imagen tomada de Google Earth, 2013 y fotografías tomadas en campo y por Sagripantti en vuelo oblicuo (2012).

una faja fluvial actual y una antigua, ambas dominadas por morfologías derivadas de un canal de diseño meándrico. Se compone de materiales areno-gravosos aflorantes en todo el sector, presentando el canal actual incidido y el río con régimen efímero. Se destaca por exhibir en la faja fluvial más antigua, una sucesión de meandros abandonados, espiras y paleocanales producto de la migración lateral del canal, reconociéndose en la misma entre dos y tres niveles de terrazas, algunas de carácter local, consecuencia de la incisión vertical que demuestra el curso en este sector. Finalmente el tramo inferior corresponde a una faja fluvial de 6 km de

longitud y ancho reducido, la cual se caracteriza por presentar un canal de régimen efímero, incidido sobre su propio abanico aluvial, controlado por una fuerte pendiente la cual le imprime un diseño rectilíneo-entrelazado con la misma orientación N-S y escasa a nula migración lateral.

Como procesos activos, dominan esencialmente procesos de agradación (Fig. 3.44), en los cuales el río durante las crecidas estivales deposita gran cantidad de sedimentos areno-gravosos desarrollando importantes barras centrales. Por otro lado, de forma

subordinada en el margen del canal, se observan formas erosivas en las barras estabilizadas, las cuales conforman sectores de llanuras de inundación aislados erodados lateralmente por los canales que actúan durante las crecidas.



Figura 3.44: A y B Formas de acumulación en el cauce del río Seco.

Dentro de esta subunidad se pueden reconocer diferentes elementos que la componen, los cuales se describen brevemente a continuación:

**Canal actual:** el canal actual del río Seco, como se indicara, se caracteriza por presentar un régimen efímero, cuyos picos de crecida se desarrollan principalmente en verano. Presenta carga predominantemente tractiva, compuesta por arenas medias a gruesas, gravas y clastos de hasta 10 cm de diámetro (Fig. 3.45). Comprende un tramo superior meándrico de alta sinuosidad, el cual presenta formas de acumulación de pequeña y gran escala (Fig. 3.44), dominando la formación de barras centrales y laterales, y escasa formas erosivas como los desarrolladas en algunas de estas barras laterales ya estabilizadas, que forman parte de la llanura de inundación.

El tramo inferior corresponde a un tramo rectilíneo entrelazado, el cual no desarrolla importantes desniveles entre el cauce actual y el entorno aluvial. Presenta elevada disponibilidad de material que se deposita en barras centrales y laterales que reflejan una importante agradación. Sus márgenes se encuentran muy estables y vegetadas hasta el borde del canal activo, destacándose la ausencia de niveles de terrazas (Fig. 3.46).

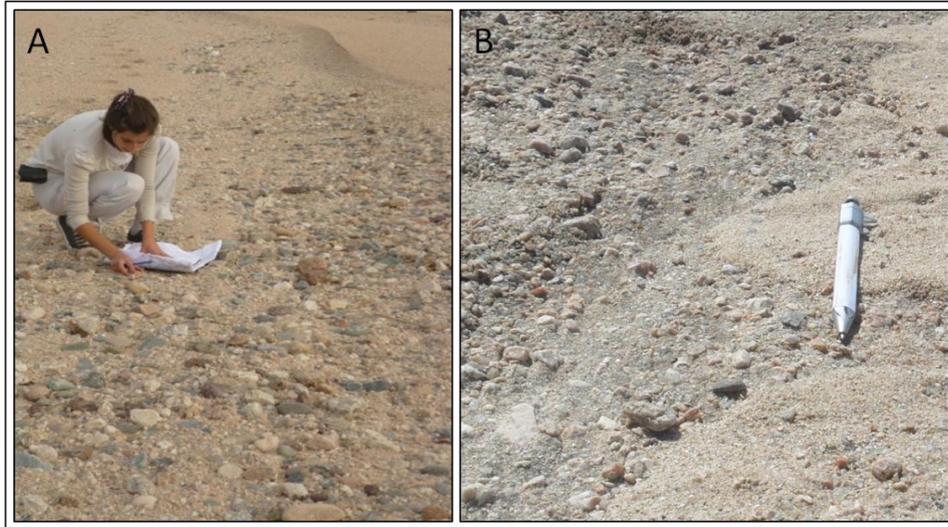


Figura 3.45: A y B- Carga de lecho del cauce del río Seco, con clastos de hasta 10 cm de eie mayor.

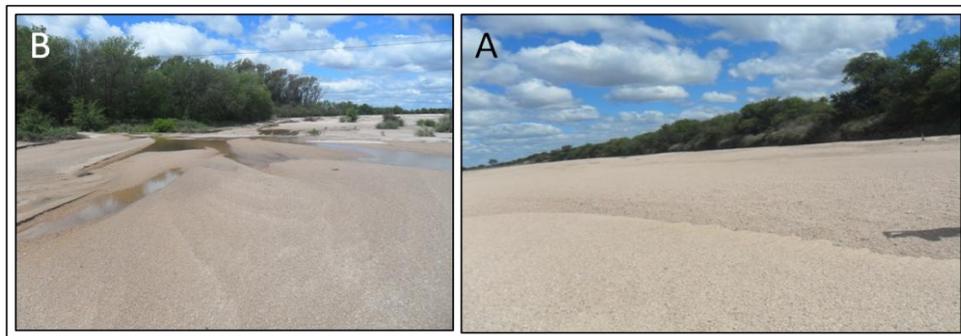


Figura 3.46: A y B- Margen izquierda y derecha respectivamente, con escaso desnivel y vegetadas.

**Paleocanales:** En el sector de faja del tramo meándrico se observan varios paleocauces producto de la migración lateral de los canales, los mismos presentan diseño meándrico y se componen de materiales areno-gravosos (Fig. 3.47).



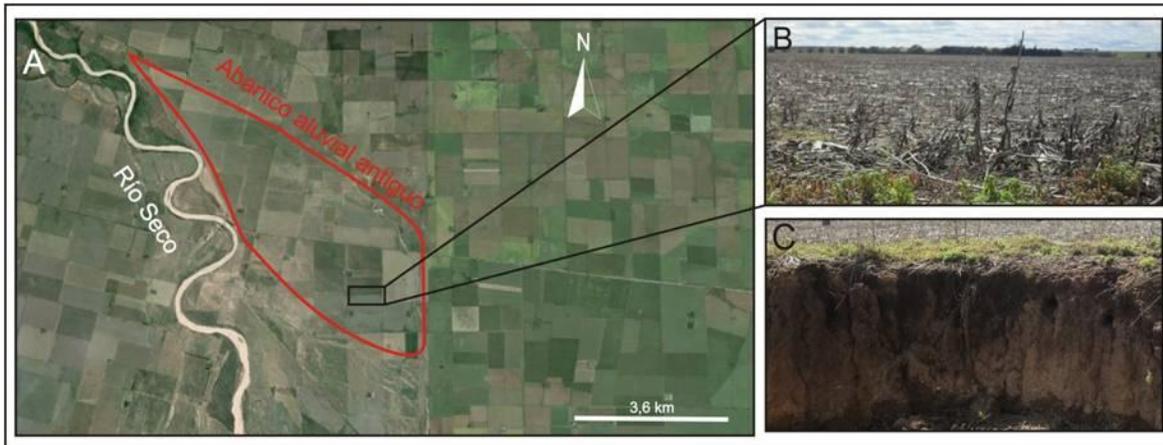
Figura 3.47: Paleocauce del río Seco en su tramo meándrico.

**Planicie aluvial:** la misma corresponde a antiguas llanuras fluviales actualmente sobreelevadas producto de la incisión del río Seco, se encuentran en el tramo meándrico superior conformando entre 2 y 3 niveles de terrazas asimétricas. Algunos niveles se encuentran compuestos por una sucesión de espiras y surcos entre espiras producto de la migración de los meandros, otras incluyen paleocanales y otras simplemente constituyeron antiguas llanuras de inundación del río.

**C.1.c: Paleoabanicos:** Esta subunidad corresponde a dos importantes niveles de abanicos desarrollados por el río Seco en entorno de planicies eólicas y fluvio-eólicas, ambos afectados por un importante control estructural. Dicho sistema presenta un mayor desarrollo hacia el SE, producto del basculamiento del bloque en esta dirección. En conjunto abarcan un área de 80 km<sup>2</sup> aproximadamente y exhiben perfiles transversales típicamente convexos, limitados lateralmente por estructuras meridianas. Su relieve además de ser convexo, presenta leves ondulaciones en los sectores donde los sistemas de derrames y "crevasse" tienen mayor desarrollo, presentando bajos y lomas tendidos en dirección N-S y NO-SE coincidiendo con la orientación de los paleocauces y los ejes de los derrames mayores. Se componen de materiales areno-gravosos (P5 y P8), en los cuales se desarrollan potentes suelos aluviales, muy arcillosos con gravas dispersas (P3, P7 y P14). Actualmente los paleoabanicos se encuentran incididos por en canal actual del río Seco.

**C.1.c.I: Abanico aluvial antiguo:** corresponde a un paleosistema aluvial desarrollado por el río Seco cuyo ápice se localiza en la zona de intersección del curso con la estructura submeridiana que constituye el borde Occidental de dicho paleoabanico. Se encuentra controlado lateralmente por dos estructuras de rumbo submeridiano denominadas Falla Río de los Sauces (Degiovanni y Cantú 1997) y Falla Santa Rita, y por una estructura de rumbo NO-SE denominada Falla Alpa Corral. Refleja un mayor desarrollo en dirección SE producto del basculamiento en esta dirección, que presenta el bloque estructural sobre el cual se sitúa. Presenta una pendiente general 0,8 % en dirección SE, exhibiendo relieve muy suavemente ondulado con sus rasgos típicos de abanico muy disipados, producto de su amplia evolución temporal. Esta evolución ha favorecido el desarrollo de importantes procesos de edafización, generando potentes suelos aluviales, con gran proporción de arcillas y gravas dispersas (Fig. 3.48), tal como el descrito en el perfil P3, los cuales tapizan la totalidad de esta subunidad.

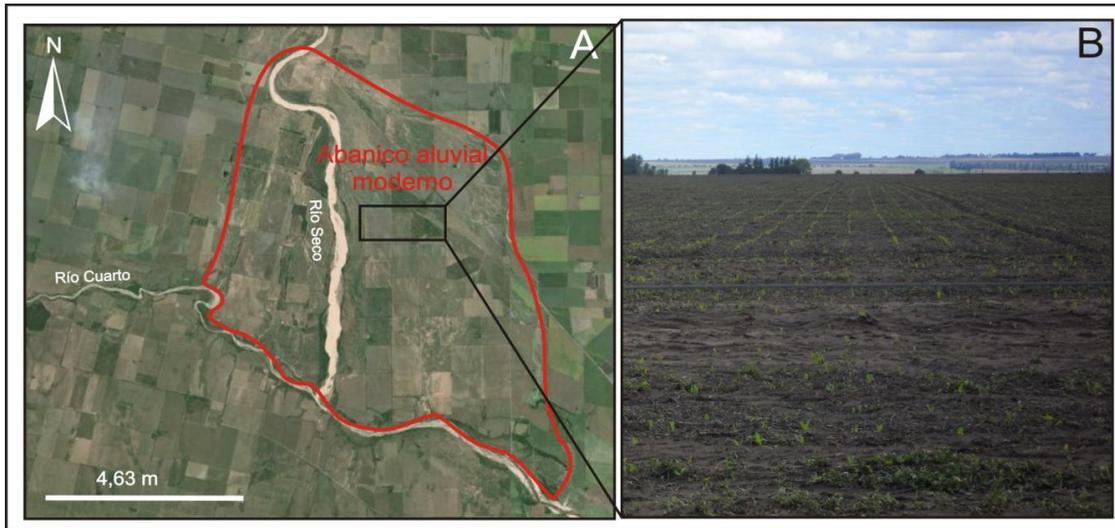
Este abanico se originó en un periodo climático previo al actual, donde el río Seco depositaba su carga aluvial mediante procesos de avulsión generando nuevos cauces en sucesivos eventos, partiendo de un ápice situado a mayor proximidad de la bajada serrana. Dominaban en su dinámica además de la avulsión procesos de "crevasse splay", desarrollando típicas formas de acumulación, actualmente disipadas.



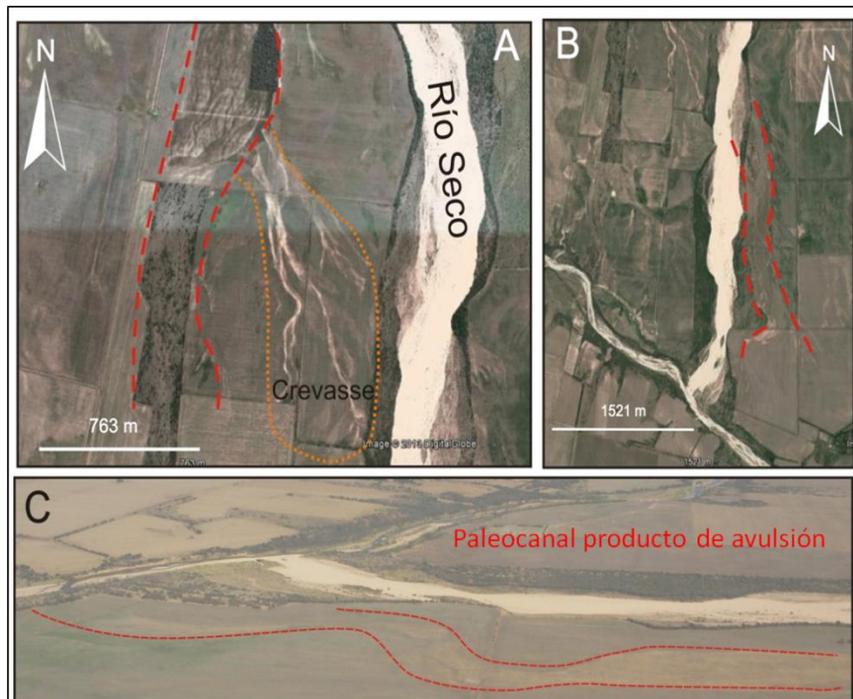
**Figura 3.48:** A- Unidad Abanico aluvial antiguo. Imagen tomada de Google Earth, 2013. B- Relieve suavemente ondulado de la unidad. C- Suelo aluvial, con importante proporción de MO y gravillas dispersas desarrollado sobre la unidad.

**C.1.c.II: Abanico aluvial moderno:** Corresponde a un abanico moderno desarrollado por el río Seco cuya actividad se registra incluso en tiempos históricos. Su ápice se localiza en el sector donde el diseño del canal cambia de meándrico a rectilíneo y refleja un importante control estructural. Lateralmente se encuentra limitado hacia el E por una estructura de dirección N-S (Falla Santa Rita) y hacia el O por la Falla Río de los Sauces (Degiovanni y Cantú, 1997), que son las principales responsables del hundimiento del área donde se desarrolla el abanico. Hacia el S lo limita un sistema de fallas de orientación NO-SE parcialmente desplazadas por estructuras SO-NE (Falla Piedras Blancas), que controlan la traza del río Cuarto y generan un importante desnivel, denominado Alto de Rodeo Viejo, hacia el Sur. Presenta un mayor desarrollo hacia el Este, influenciado por el basculamiento Sur-Sureste del bloque, exhibiendo pendientes generales de 0,9 % en dicha dirección. Presenta relieve ligeramente convexo y muy suavemente ondulado con bajos y lomas tendidas, de orientación submeridiana, acompañadas por suaves resaltos locales, producidos por los derrames aluviales menores (Fig. 3.49). Los rasgos más destacados corresponden a importantes sistemas de derrames, paleocanales distribuidos radialmente, producto de la avulsión del canal principal y sistemas de crevasse splay (Fig. 3.50). Se compone principalmente por

materiales areno-gravosos mal seleccionados con variada proporción de finos conformando la matriz, tal como se observa en la figura 3.51. Sobre estos materiales se desarrollan potentes suelos aluviales de variada evolución, con muy buen drenaje (Fig. 3.52).



**Figura 3.49:** A- Abanico aluvial moderno, imagen tomada de Google Earth, 2013. B- Relieve suavemente ondulado del abanico aluvial, imagen tomada hacia el bloque elevado Santa Rita. (Hacia el Este)



**Figura 3.50:** A- Paleoderrames a partir de un paleocauce del río Seco (crevasse splay). B- Paleocanal producto de la avulsión del canal del río Seco, imagen tomada de Google Earth, 2013. C- Paleocanal producto de la avulsión del río Seco, fotografía oblicua tomada por Sagripantti, 2012.



Figura 3.51: Materiales areno-gravosos que componen el abanico aluvial del río Seco.



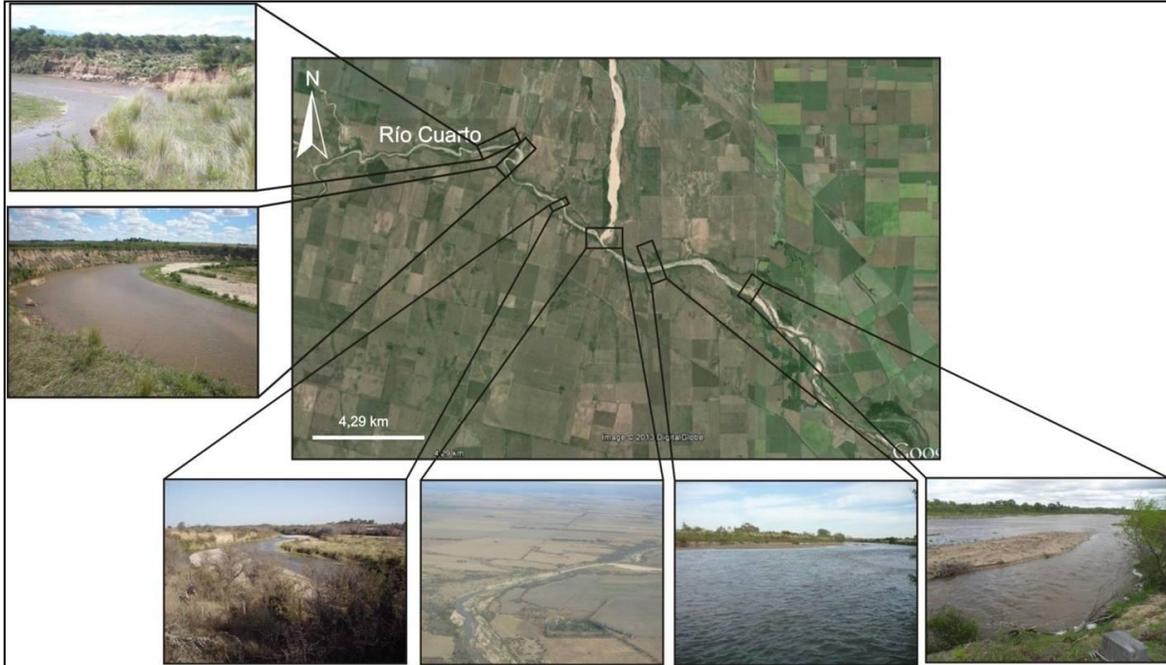
Figura 3.52: Suelos aluviales característicos del ámbito aluvial del río seco.

## C.2: Sistema fluvial del río Cuarto:

### C.2.a: Faja Fluvial del río Cuarto:

Corresponde a un tramo de la faja fluvial que desarrolla el río Cuarto en su cuenca media-alta, incluyendo la confluencia del mismo con el río Seco (Fig. 3.53). Comprende una faja de 30 km de longitud y 1,5 km de ancho máximo, compuesta por un canal actual de régimen permanente y patrón rectilíneo, algo sinuoso, controlado estructuralmente por la Falla Río Cuarto (Degiovanni y Cantú 1997) de orientación O-E y por una estructura inferida perteneciente a la familia de fallas NO-SE características del sistema serrano. Estas le imprimen una orientación SE al cauce del río donde dominan procesos de incisión vertical que provocan el semi-confinamiento del canal en secuencias cohesivas

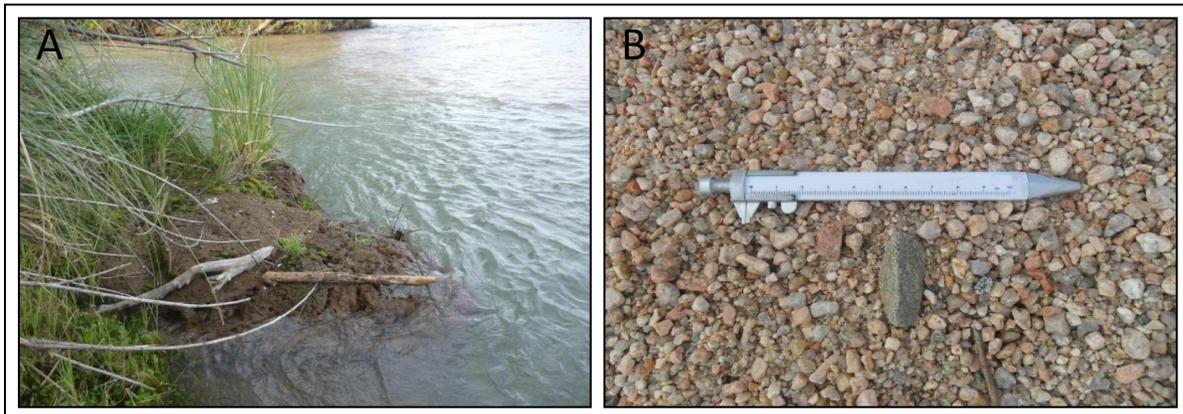
de la formación Pampeano, controlando de esta forma la tasa de migración lateral. Se reconocen entre dos y tres niveles de terrazas, algunas de carácter local, donde dominan materiales areno-gravosos (perfil P6).



**Figura 3.53:** Distintos aspectos que presenta la faja fluvial y el canal actual del río Cuarto.

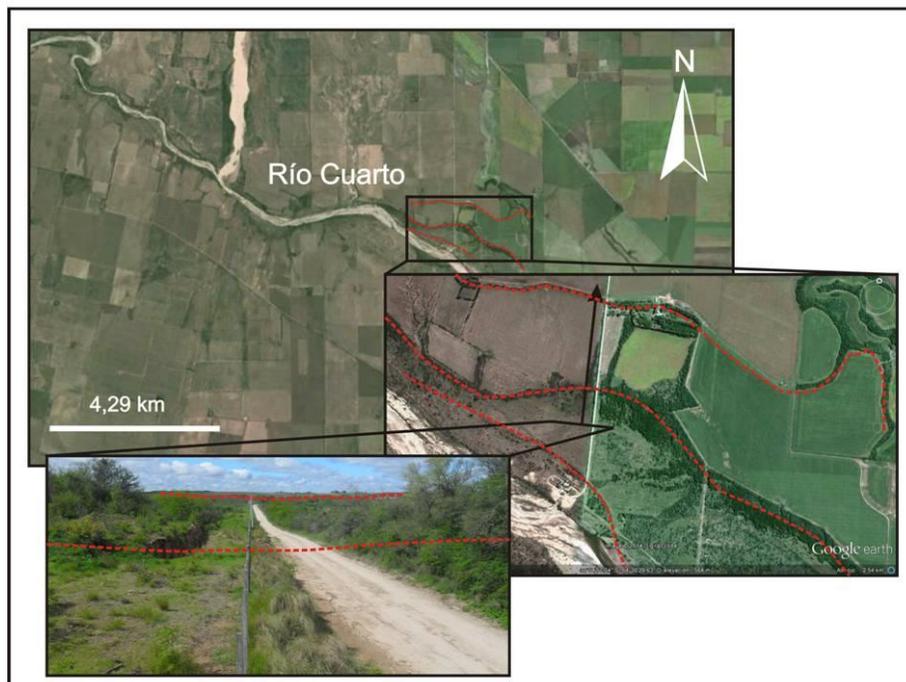
Los diferentes elementos que componen esta subunidad son:

**Canal actual:** Se caracteriza por un diseño de canal rectilíneo con importante control estructural. Refleja un semi-confinamiento en secuencias cohesivas de la Fm Pampeano, presentando un régimen permanente (Fig. 3.54 A). Domina principalmente la carga tractiva, correspondiente a carga aluvial con dominio de facies arenosas gruesas, e incorporación de material psefítico de composiciones muy variadas con bloques de hasta 40 cm de diámetro (Fig. 3.54 B). Es un canal entrelazado con desarrollo de formas de lecho de acumulación como barras centrales y laterales y formas erosivas en algunos sectores (perfil P6).



**Figura 3.54:** A- Materiales cohesivos de la Fm Pampeano, aflorando en el lecho de río Cuarto, reflejando el semi-confinamiento del mismo. B- Carga tractiva de lecho, con clastos de hasta 5 cm

**Niveles de terrazas:** La planicie aluvial de faja del río Cuarto en el tramo ubicado en la zona de estudio presenta escaso desarrollo de niveles de terrazas, debido a su baja tasa de migración lateral, esencialmente en su tramo Occidental, debido a su semi-confinamiento (Ulla, 2008). Aguas abajo de la confluencia con el río Seco se observa una mayor migración del canal sobre materiales aluviales generando hasta 3 niveles de terrazas sobre la margen izquierda (Fig. 3.55). Los bordes de terrazas más antiguos se encuentran muy disipados, producto de la evolución de sus pendientes (P2).



**Figura 3.55:** Niveles de terrazas en la faja fluvial del río Cuarto.

### **3.3- Evolución geológica de la zona de estudio, Paleoabanico del Río Seco en el marco regional**

La llanura Chaco Pampeana donde se enmarca la zona de estudio, forma parte de un gran antepaís, (Chebli et al., 1999) cuyo relleno sedimentario abarca desde sedimentos Paleozoicos Inferiores, hasta materiales actuales, concentrados en diferentes depocentros aislados, separados por altos y dorsales.

Sobre finales del **Paleozoico**, la región se encontraba bajo un régimen tectónico compresivo con subducción Pacífica buzando al Este, generando sobre el basamento que ya mantenía su rigidez actual, la segmentación del mismo en megabloques separados por importantes fracturas, originadas principalmente por los esfuerzos deformantes que actuaban en la faja móvil cordillerana (Gordillo y Lencinas, 1979).

Durante el **Mesozoico** se instala progresivamente un régimen distensivo, el cual llega a su clímax durante el **Cretácico** con la apertura del océano Atlántico. Durante este periodo extensivo se originan extensas cuencas en distintos sectores de la Llanura Chacopampeana, sin embargo en la zona de estudio no se observan materiales de esta edad.

La cuenca Chaco-Paranaense culmina en el **Cenozoico** con la sedimentación correspondiente a depósitos distales de cuencas de antepaís, dominados por materiales fluviales y eólicos controlados finalmente, por las variaciones climáticas Cuaternarias.

A comienzos de este periodo, durante el subciclo Paleógeno del ciclo Ándico (Ramos, 1999) se produce la inversión del régimen tectónico a compresivo. A partir de lo cual se inicia el levantamiento de las sierras hasta alcanzar su configuración actual, de perfil asimétrico, compuestas por megabloques basculados hacia el Este. En este marco tectónico las planicies pedemontanas reciben la sedimentación agradacional proveniente de dicho levantamiento, desarrollando redes fluviales antecedentes y nuevas de alto orden, controladas estructuralmente y afectadas durante el **Cuaternario** por importantes variaciones climáticas.

Durante el **Mioceno-Plioceno**, con la horizontalización de la placa oceánica de Nazca, (Jordan y Almendinger, 1986), se produce la segmentación de los Andes, se reactiva el levantamiento serrano y se da la inversión de las fallas normales a fallas inversas de alto ángulo buzantes al Este.

Hacia el **Mioceno** en el sector Occidental de la provincia de Córdoba se da un ambiente de depositación continental representados por la Fm. Tigre Muerto, cuyos materiales se corresponden con los sedimentos continentales (fluviales, y eólicos), más

antiguos, de edad Neógena-Cuaternario inferior, detectados en las perforaciones más profundas de la zona.

Hacia el límite **Mioceno-Plioceno** se desarrolla un régimen de mayor energía vinculado al último movimiento Ándico, en persistencia de condiciones climáticas húmedas, lo que favoreció el depósito de importantes secuencias fluviales de la Fm. Alpa Corral descrita por Eric (1986), mientras que hacia el Este de Córdoba se depositaron sedimentos fluviales que podrían vincularse temporalmente con la Formación Puelches.

A partir del **Pleistoceno Tardío** hasta el **Holoceno**, transcurrieron una serie de cambios climáticos (Carignano et al., 1999), producto de la alternancia de períodos glaciares e interglaciares. Esto generó como consecuencia periodos alternos marcados por el clima seco y las altas tasas de evapotranspiración, con dominio de procesos eólicos, intercalados con intervalos más húmedos, donde se reinstalaban las redes de drenaje y dominaban los procesos de edafización.

Si bien la mayor parte de los grandes sistemas fluviales presentes en la región, son antecedentes al levantamiento serrano, todos se vieron afectados por estas variaciones climáticas y por el tectonismo, modificando su dinámica, y elaborando geoformas características.

El río Alpa Corral- Barrancas que infiltra a la salida serrana tomando el nombre de río Seco, y el río Cuarto, ambos presentes en la zona de estudio, reflejan esta sucesión de morfologías adaptadas a los diferentes cambios climáticos, siendo de mayor relevancia en este trabajo, aquellos generados por el río Seco.

En la fase inicial del **Pleistoceno Superior** se desarrolla un clima árido, caracterizado por la depositación de importantes secuencias loésicas representadas por la Fm Pampeano (Cantú, 1992), que en la zona de trabajo podría asimilarse a los materiales descritos en la base de los perfiles P4, P6 y P12, cuyas variaciones faciales señalan un cambio transicional a condiciones más áridas hasta alcanzar tal grado que permitió la cementación carbonática de los distintos materiales depositados (Cantú, 1992). Por otro lado, durante este periodo los importantes sistemas fluviales como el río Cuarto y Seco, desarrollaron grandes abanicos aluviales, caracterizados por presentar su ápice muy próximo a la bajada serrana, descargando su carga de forma aluvional y conformando extensos y potentes cuerpos de abanicos, cuyos materiales areno-gravosos afloran en la base de las barrancas de río Alpa Corral-Las Barrancas, al Norte de la zona de trabajo (Eric, 1986) los cuales en base a su contenido fosilífero, han sido datadas como Pleistoceno Superior.

La transición hacia finales del **Pleistoceno Tardío**, estuvo marcada por el inicio de un régimen de clima húmedo, el cual dio lugar a una mayor actividad fluvial, provocando la expansión y la integración de las redes de drenaje, y el desarrollo de zonas palustres en áreas deprimidas del Este provincial (Carignano et al., 1999). Este periodo está representado por secuencias fluviales de distinta energía, pertenecientes a la Formación Chocancharava (Cantú, 1992), la cual se considera equivalente, en la zona de estudio, a los depósitos descritos en la base del perfil P13. Importantes procesos de pedogénesis se produjeron en las áreas de interfluvio, representado por la Fm Suelo Estancia El Cerrito (Cantú, 1992).

Durante el límite **Pleistoceno-Holoceno Temprano**, coincidiendo en parte con el Máximo Glacial, se instaló un clima árido y frío en la región, lo cual resultó en la formación de extensas superficies de erosión y en la depositación, mediante transporte suspensivo, de un manto de loess continuo de gran escala representado por la Fm La Invernada (Cantú, 1992). Los sistemas fluviales menores presentes en la zona se obliteraron, mientras que los sistemas de mayor jerarquía, generaron importantes abanicos en la salida extraserrana, continuando con la sedimentación aluvial en zona de pedemonte, tal como se refleja en los materiales expuestos en las barrancas del río Las Barrancas, aguas arriba del río Seco.

En la zona de estudio la Fm La Invernada es asimilable a los depósitos descritos en los perfiles P10, P11, P12 y en especial el perfil P15, ubicado en la localidad tipo donde fue definida esta Formación, mientras que los materiales de origen aluvial, se corresponderían temporalmente con los afloramientos expuestos al N del límite NO de la zona de trabajo, sobre las barrancas del río Alpa Corral- Las Barrancas.

Entre el **Holoceno Superior** y **Medio** se instalaron en la región condiciones subtropicales húmedas, que desencadenaron un importante desarrollo pedogenético sobre los depósitos de la Fm La Invernada, denominados Suelo Las Tapias (Cantú, 1992), que conforman potentes perfiles con prominentes horizontes Bt. los cuales se ven representados en la zona de estudio en los paleosuelos truncados descritos en los perfiles P10, P11 y P12. En la zona de estudio se describieron suelos similares sobre secuencias fluviales- coluviales coetáneas con la Fm la Invernada. Durante este periodo, también se producen importantes modificaciones en la red de drenaje, las cuales inciden sus abanicos reinstalándose. Dichos depósitos corresponden a secuencias fluviales de mediana a baja energía, granodecrecientes, representados por depósitos equivalentes a la Fm Las Lajas (Cantú, 1992), de amplia distribución en la zona de estudio.

Durante la segunda mitad del **Holoceno Tardío**, las condiciones cálidas y húmedas fueron reemplazadas por un clima semiárido, que desarrolló una amplia depositación de materiales limo-arenosos muy finos, representados por la Fm Laguna Oscura (Cantú, 1992). En la zona de trabajo se observó esta Formación en el perfil P2 y P9, y en varios cortes de caminos rurales.

Durante este periodo, el río Seco desarrolló un importante abanico aluvial, cuyo ápice se localizaba en la intersección del curso con una estructura submeridiana previa que constituye el borde occidental de dicho paleoabanico, cartografiado como "*paleoabanico antiguo*" en la figura 3.30. Se asume que pertenece a este periodo, dada la ausencia de depósitos eólicos sobreimpuestos, con lo cual su edad debe ser al menos coetánea con el periodo de aridez.

En la última parte del **Holoceno Tardío** se instalaron las condiciones climáticas actuales, desarrollando un clima húmedo y templado, que dio inicio a nuevos procesos pedogenéticos y a una nueva reinstalación de la red de drenaje. Estas condiciones fueron interrumpidas por un marcado deterioro climático en tiempos históricos en lo que se denominó La Pequeña Edad de Hielo (800-200 años AP, Iriondo 1999). Este periodo fue marcado por una leve aridización del clima, que favoreció la removilización de los materiales limo-arenosos de la Fm Laguna Oscura, y la formación de dunas parabólicas de orientación predominante SO-NE, las cuales no se observan en la zona de estudio. Por otro lado, el río Seco de carácter efímero, comenzó a desarrollar un abanico, el cual se mantuvo activo incluso en tiempos históricos, derramando su carga de forma aluvional, mediante procesos de avulsión y crevasse, conformando derrames en geometría radial y asimétrica hacia en SE mapeados como "*abanico moderno*" (Fig. 3.30).

Actualmente domina un clima templado subhúmedo en la región, encontrándose suelos de mediano desarrollo (Hapludoles y Haplustoles dominantes) en los interfluvios. Los sedimentos modernos corresponden a la parte superior del Holoceno, desde la instalación del clima Atlántico actual, cubriendo a los depósitos anteriores. Los procesos activos dominantes son eólicos, fluviales e hídricos, desarrollándose a partir de la década del 70' un marcado ciclo húmedo regional, en el cual los escurrimientos se encuentran incidiendo nuevamente, utilizando en algunos casos antiguos cauces, lo que se observa claramente en áreas vecinas. En el área de estudio el río Seco ha iniciado un proceso de encajamiento y exhibe fundamentalmente una dinámica de canal encauzado.

# *CAPÍTULO 4*

## *Uso Actual del Territorio*

---



#### **4.1- Introducción**

En base a la clara influencia que ejerce la actividad del hombre sobre el medio natural, y las modificaciones que introduce en especial en la dinámica, distribución y calidad del agua superficial y subterránea, es de gran importancia desarrollar información acerca de los distintos usos del territorio, suelo y agua, para lograr dimensionar los impactos que esto genera sobre los diferentes recursos.

De este modo, partiendo de que de la relación medio natural/medio socio -económico cultural surgen diversos problemas ambientales, se destaca la importante necesidad de generar un relevamiento de los diferentes usos que el hombre hace sobre el territorio y el recurso hídrico, con el fin de aportar información para un futuro ordenamiento territorial de la región, enmarcado en un plan de desarrollo sustentable.

De este modo, se realizó un recopilado y análisis de las principales actividades productivas que se desarrollan en la zona de trabajo, con el objetivo de determinar la incidencia de las mismas sobre el medio natural, en especial sobre el acuífero libre, con vistas a una proyección de planificación y reorientación de las actividades productivas en esta región agrícola-ganadera.

Degiovanni y Blarasin (2005) realizaron una caracterización general del uso actual del territorio del Sur de la provincia de Córdoba (Fig. 4.1), dentro de la cual se define a la zona de estudio, como perteneciente al sector de **Ganadería Extensiva**, hacia el Norte y **Agrícola con Ganadería Subordinada** hacia el Sur. El sector ganadero se destaca por cría extensiva de ganado, con siembra de maíz y verdeos para alimento del mismo. Mientras la actividad agrícola desarrollada al Sur, se destaca por el dominio de soja, maíz, trigo y forrajeras, en la mayoría de los casos con la práctica de siembra directa, que implica uso intensivo de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes).

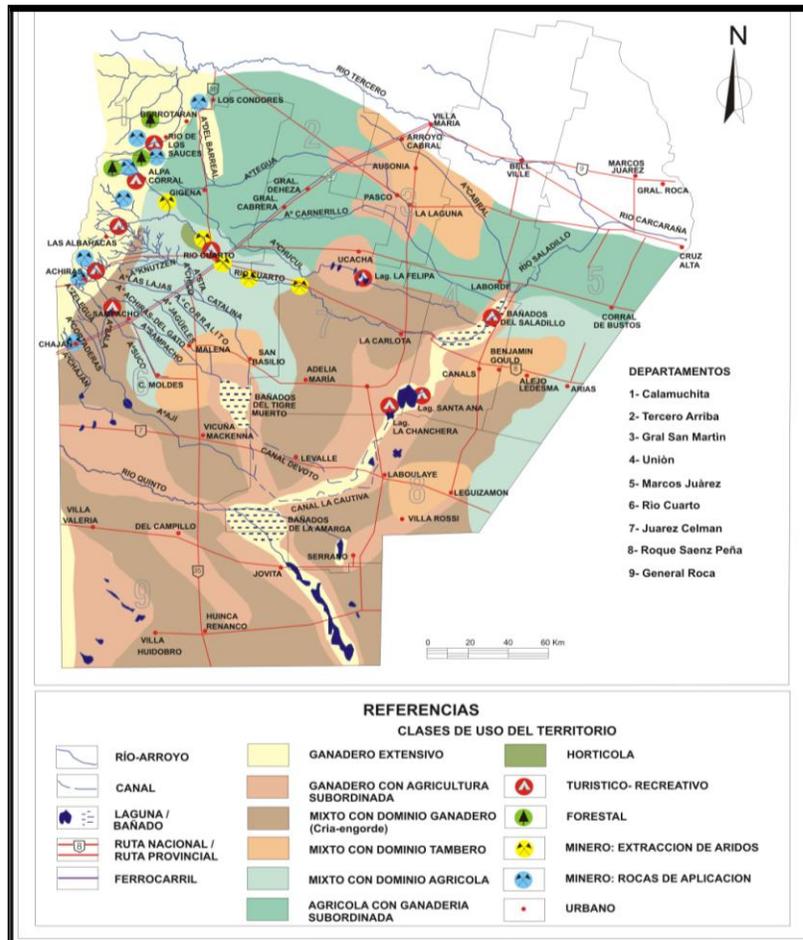
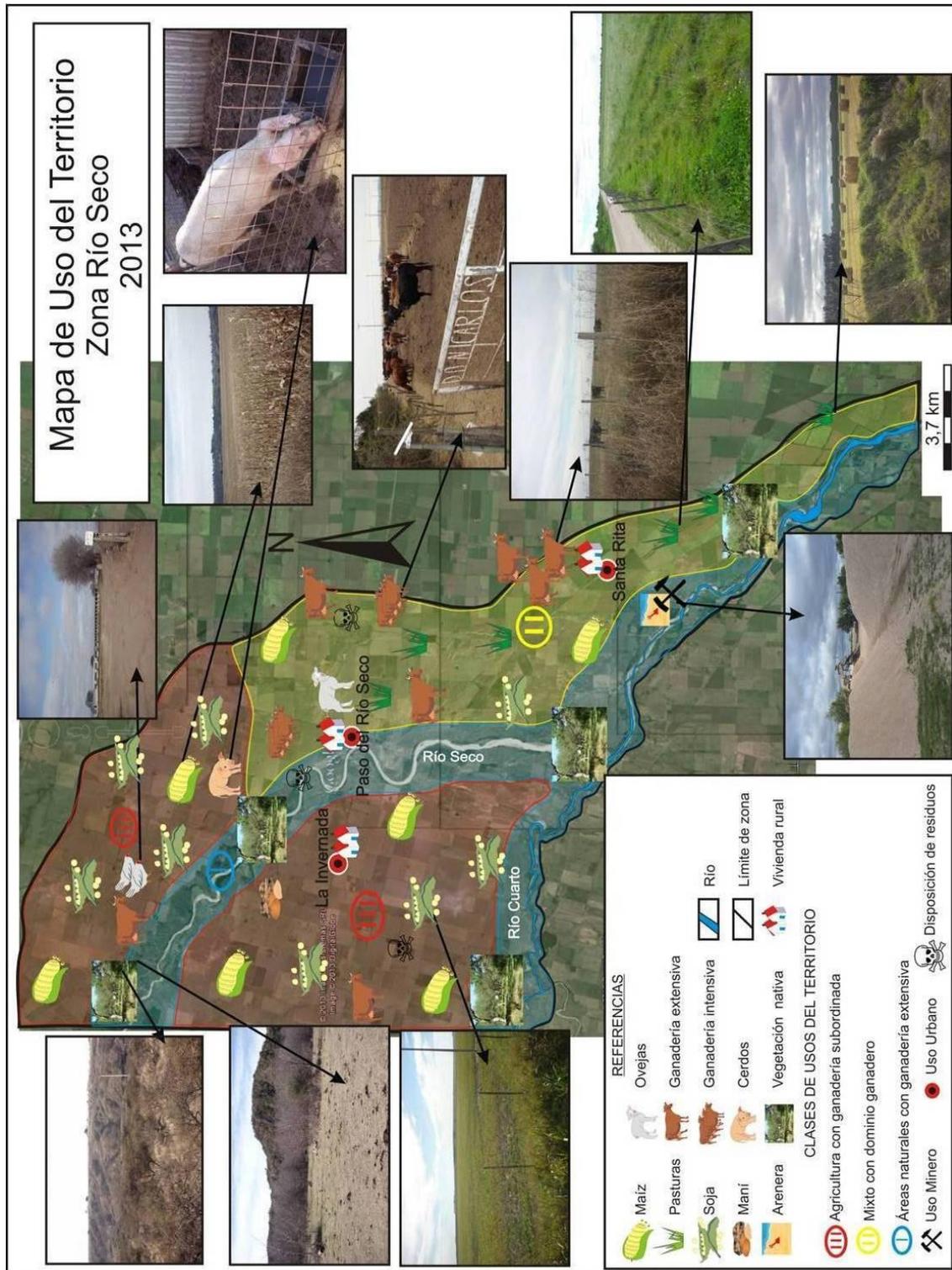


Figura 4.1: Mapa de uso actual del territorio del Sur de la Provincia de Córdoba, Fuente: Degiovanni, 2005.

#### 4.2- Uso del territorio en la zona de estudio

En base al análisis de imágenes provenientes de Google Earth, y al relevamiento de campo, se confeccionó un mapa de uso actual del territorio, (Fig. 4.2), con el fin de identificar y caracterizar los distintos sectores del área de estudio, según se trate de áreas todavía naturales (ecosistemas naturales), áreas parcialmente antropizadas, o antrópicas propiamente dichas (ecosistemas creados).

En base a esto, en general se observó la actividad rural agrícola-ganadera como dominante, encontrándose uso urbano muy localizado en pequeños sectores y un único emprendimiento de uso industrial, también de pequeña envergadura.



**Figura 4.2:** Mapa de uso actual del territorio. Zona Río Seco, 2013.

En el mapa de uso del territorio de la zona de estudio que se muestra en la figura 4.2, se realizó la siguiente zonificación:

- **I. Áreas naturales con ganadería extensiva subordinada:** esta zona corresponde sectores principalmente situados en la faja fluvial de ambos ríos (río Seco y Cuarto), en la zona de pendientes fuertemente incidida por procesos hídricos ubicada al NO del área de estudio, distintos corredores y franjas en ámbito aluvial, además de sitios a orillas de los caminos. Ellos se caracterizan por presentar un importante dominio de la vegetación nativa, típica de ecosistemas del espinal, con ausencia de agricultura. En muchos de ellos se aprovecha la vegetación natural existente para la práctica de ganadería extensiva, siendo común el sobrepastoreo en algunos sectores (Fig. 4.3).

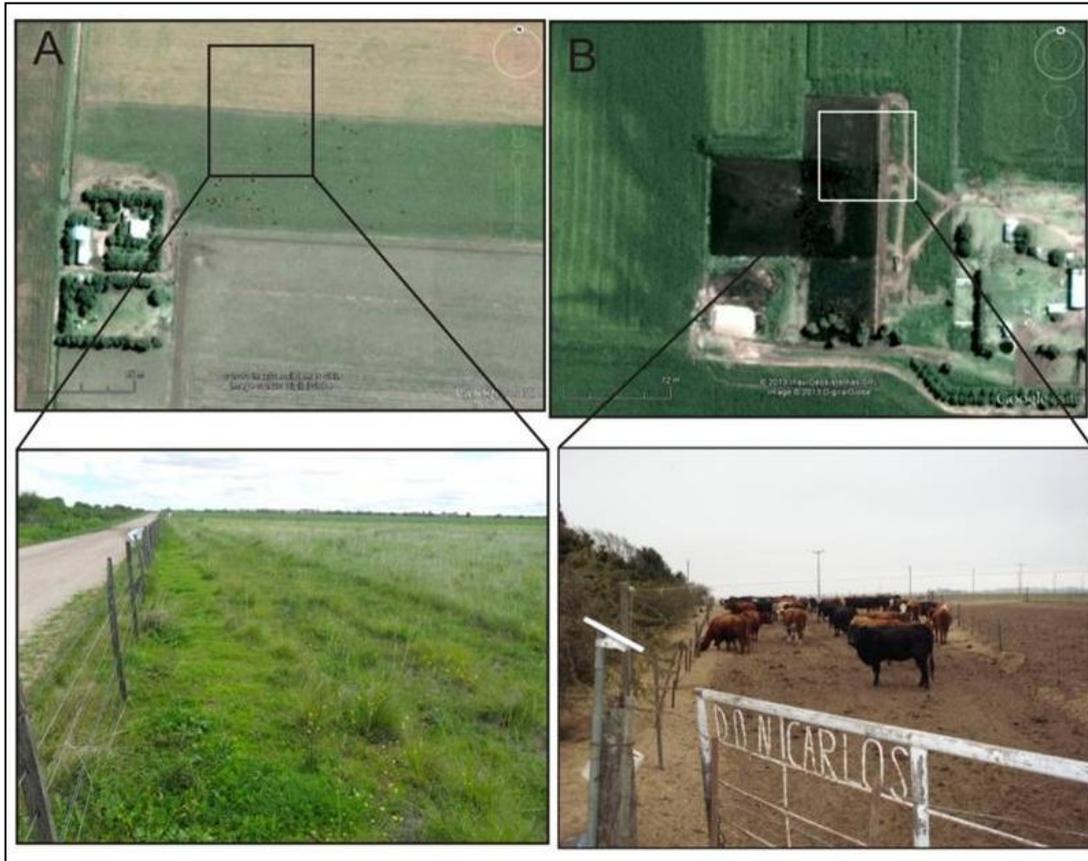


**Figura 4.3:** A- Vegetación nativa, ecosistema del espinal al NO de la zona de estudio. B- Sobrepastoreo en vegetación nativa por ganadería extensiva. C- Ganado en sector natural con vegetación nativa.

- **II. Mixto con dominio ganadero:** corresponde al sector SE de la zona de estudio, y se caracteriza por un dominio de la actividad ganadera, tanto intensiva en feed lot, como extensiva, con cultivo de maíz y forrajeras para alimento del mismo (Fig. 4.4). También se destaca, aunque de forma subordinada, la agricultura de secano, con dominio de soja-maíz, mediante siembra directa, la cual implica uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes y herbicidas) (Fig. 4.5).



**Figura 4.4:** Pasturas, para alimento del ganado.



**Figura 4.5:** A- Ganadería extensiva al SE de la zona de estudio. B- Ganadería intensiva al E de la zona de estudio. Imágenes superiores tomadas de Google Earth, 2013.

- III. **Agricultura con ganadería subordinada:** corresponde a la mayor parte de la zona de estudio, donde la agricultura supera ampliamente a la actividad ganadera. Se encuentra principalmente sobre las áreas que exhiben los suelos de mejor desarrollo, bien drenados y potentes. Se caracteriza por un dominio de la agricultura de secano de maíz-soja con maní y forrajeras de forma subordinada.

Domina principalmente la práctica de siembra directa o labranza cero, la cual requiere de la utilización de forma intensiva de fertilizantes y herbicidas, observándose también, prácticas como siembra en curvas de nivel en sectores de elevadas pendientes próximas a las sierras (Fig.4.6).

En este sector la ganadería se limita a corrales dispersos, principalmente al O de la zona de estudio, también se observa la cría de ovejas, cerdos y aves (Fig. 4.7 y 4.8) en algunos establecimientos rurales, siendo estos escasos en la región estudiada.

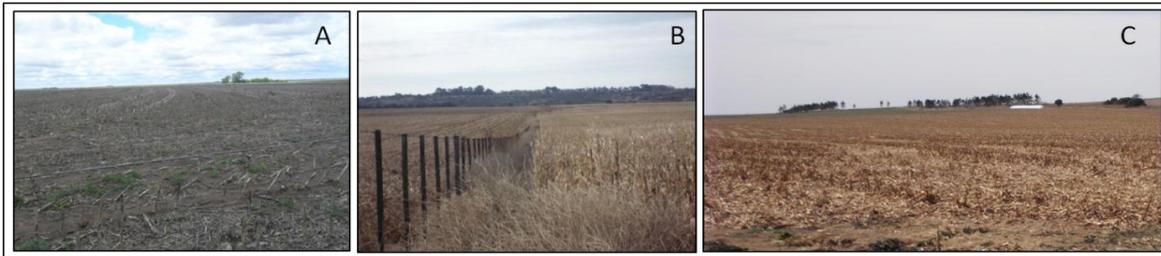


Figura 4.6: A-Cultivos de soja sembrada en curvas de nivel. B y C cultivo y rastraje de maíz.



Figura 4.7: Cría de aves al Norte de la zona de estudio.



Figura 4.8: A y B- Cría intensiva de cerdos. C- pequeños corrales de vacunos en el Oeste de la zona de estudio.

- **IV. Urbano:** el uso urbano en la zona de estudio se encuentra muy limitado, caracterizándose por la presencia de tres pequeños asentamientos rurales, en los cuales se incluye la localidad de La Invernada, Santa Rita y Paso del Río Seco, que entre las tres, no superan los 150 habitantes (Fig. 4.9). Constituyen un grupo de escasa viviendas rurales en y calles de tierra, próximas a escuelas. En la zona, se relevaron un total de tres escuelas rurales a las cuales asisten entre 10 y 20 alumnos de distintas edades.



**Figura 4.9:** Asentamientos rurales. **A-** Paso del Río Seco, **B-** Santa Rita, **C-** La Invernada, presentes en la zona de estudio. Imágenes tomadas de Google Earth, 2013.

**V- Minero:** El uso minero se encuentra representado por una arenera de mediana envergadura (Arenera "Bueno"), la cual presenta moderado grado de mecanización, establecida sobre el cauce del río Cuarto al SE de la zona de estudio, (Fig. 4.10).



**Figura 4.10:** Arenera "Bueno" ubicada sobre el margen Norte del río Cuarto, al SE de la zona de estudio. Imagen Tomada de Google Earth, 2013.

**VI- Sectores de disposición de residuos:** Se encuentran también en la zona de estudio sectores de disposición de residuos y envases de agroquímicos, como fertilizantes y herbicidas. En la mayoría de los casos almacenados al aire libre, próximos a las captaciones de agua e incluso en el cauce del río Seco (Fig.4.11).



**Figura 4.11:** **A-** Residuos en faja fluvial del río Cuarto al Sur de la zona de estudio. **B-** Agroquímicos próximos a una captación. **C-** Residuos en el cauce del río Seco.

# *CAPÍTULO 5*

## *Hidrometeorología Regional y Local*

---



## **5.1- Hidrometeorología Regional**

### **5.1.1- Introducción**

El área de trabajo, debido a su latitud, se encuentra íntegramente dentro de la zona de climas templados de Argentina (Capitanelli, 1979). El clima se encuentra regido por cuatro centros de acción, permanentes o semipermanentes, dos de alta presión (el anticiclón del Atlántico y el del Pacífico) y dos de baja presión (los ciclones de las depresiones del Noroeste y de la extremidad Sur del país).

Si bien, según las variaciones en el relieve, la procedencia de las masas de aire y los distintos procesos meteorológicos, es posible distinguir variaciones en las características climáticas, en general, la región se caracteriza por una gran uniformidad térmica y una concentración estival de las temperaturas, determinando un clima mesotermal, con temperaturas media anuales de 16,5°.

El régimen térmico queda definido por un invierno riguroso (entre junio y mediados de agosto) y un verano medianamente cálido (entre octubre/noviembre), registrándose heladas importantes desde mayo a septiembre (Capitanelli, 1979). Las excepciones corresponden a las mayores altitudes (sectores de sierra y altiplanicie).

### **5.1.2- Temperatura**

La distribución de temperatura media, máxima y mínima en la llanura del Sur de Córdoba (Fig. 5.1), proporciona un comportamiento en general homogéneo, siendo los valores inferiores a los 17 °C, 25 °C y 10 °C respectivamente.

En las sierras, las temperaturas medias son del orden de 16 °C, las máximas de 20 °C y las mínimas de 9 °C, y decrecen hacia el nivel de las altiplanicies (2.200 m aprox.) a 10 °C, 14 °C y 5 °C respectivamente.

En todo el Sur de la provincia, según Capitanelli (1979), el verano térmico en la región (temperatura media de más de 20 °C en verano) se inicia entre el 20 de Octubre y el 20 de Noviembre y culmina entre el 25 de Marzo y el 10 de Abril y el invierno térmico (temperatura media inferior a 10 °C en invierno) comienza del 1 al 15 de Junio y termina del 1 al 15 de Agosto. En general, en ambientes de llanura se suelen registrar heladas desde Mayo hasta Septiembre, mientras que en las sierras se extiende desde Marzo/Abril hasta Octubre/Noviembre.

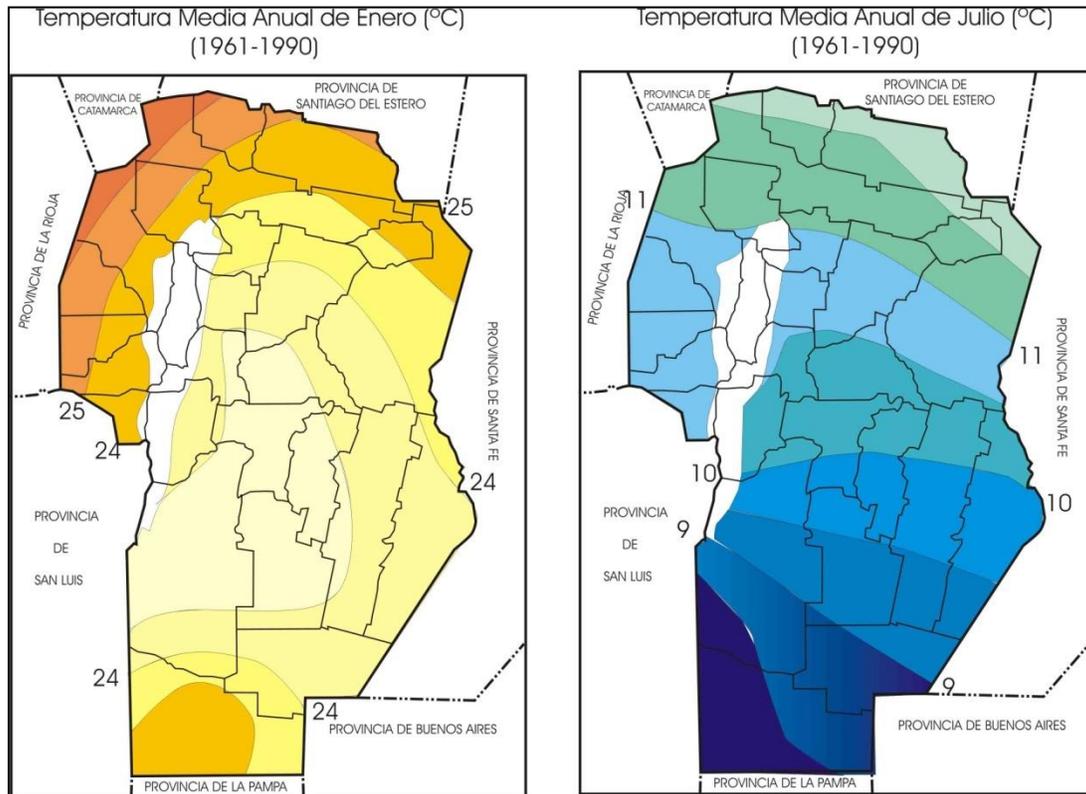


Figura 5.1: Temperaturas medias de los meses de Enero y Julio. Fuente: Gorgas et al. 2003

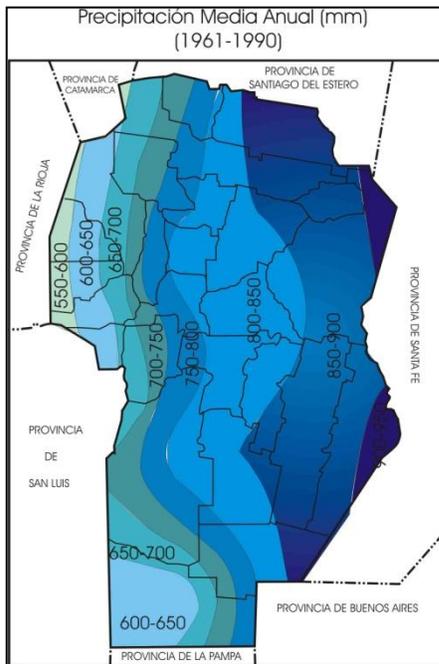
### 5.1.3- Vientos

En la región, más del 80% de los días son ventosos con una concentración máxima a fines de invierno-primavera. Los vientos predominantes proceden de los cuadrantes N/NE-SSE con velocidades medias que, en la mayoría de los meses, superan los 10 km/h, alcanzando los 16 Km/h, pudiendo ocurrir ráfagas de más de 100 km/h.

En la región el viento se transforma en un elemento importante, principalmente en los meses de Agosto, Septiembre y parte de Octubre. Debido el incremento de las intensidades de los vientos en coincidencia con el período de mayor sequía, se generan altas tasas de evapotranspiración y una importante erosión eólica en aquellos sectores desprotegidos de vegetación.

### 5.1.4- Precipitaciones

Según Capitanelli (1979), las precipitaciones en la provincia de Córdoba provienen principalmente del Anticiclón del Atlántico, correspondiendo el 70 % de la precipitación media anual de la provincia a los procesos donde interviene más de una masa de aire (Fig. 5.2). El proceso frontal que más agua produce es el de frente caliente y le sigue el de frente frío, los procesos afectados por el relieve producen los porcentajes más bajos.

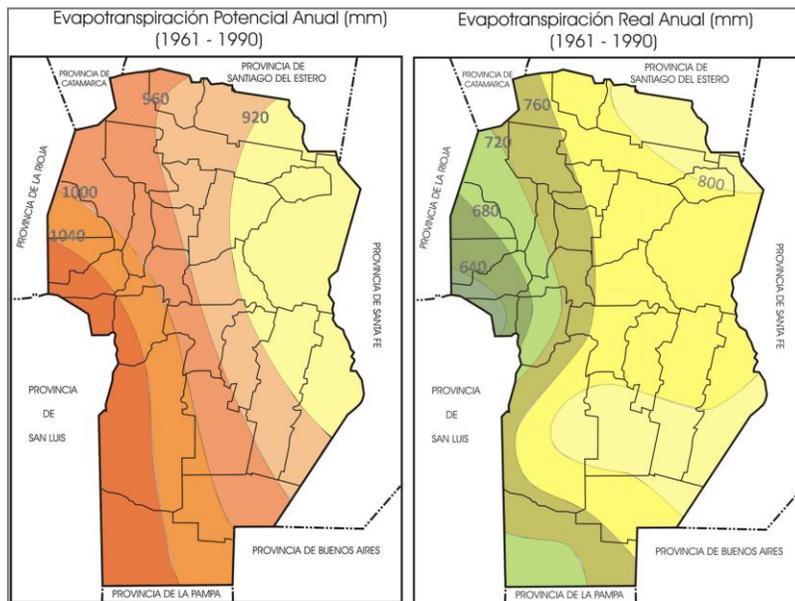


**Figura 5.2:** Precipitaciones medias anuales. Fuente: Gorgas et al. 2003

Como valor promedio para la región, este mismo autor establece que del total de lluvia anual, el 82 % se concentra en primavera-verano, mientras que en otoño-invierno sólo precipita el 18 % restante. Blarasin (2003), luego de analizar series representativas de las distintas condiciones climáticas de la región, determina la existencia de un notorio incremento de las precipitaciones en la segunda mitad del siglo pasado en relación al período anterior, fundamentalmente a partir de la década del '70.

### 5.1.5- Evapotranspiración Potencial

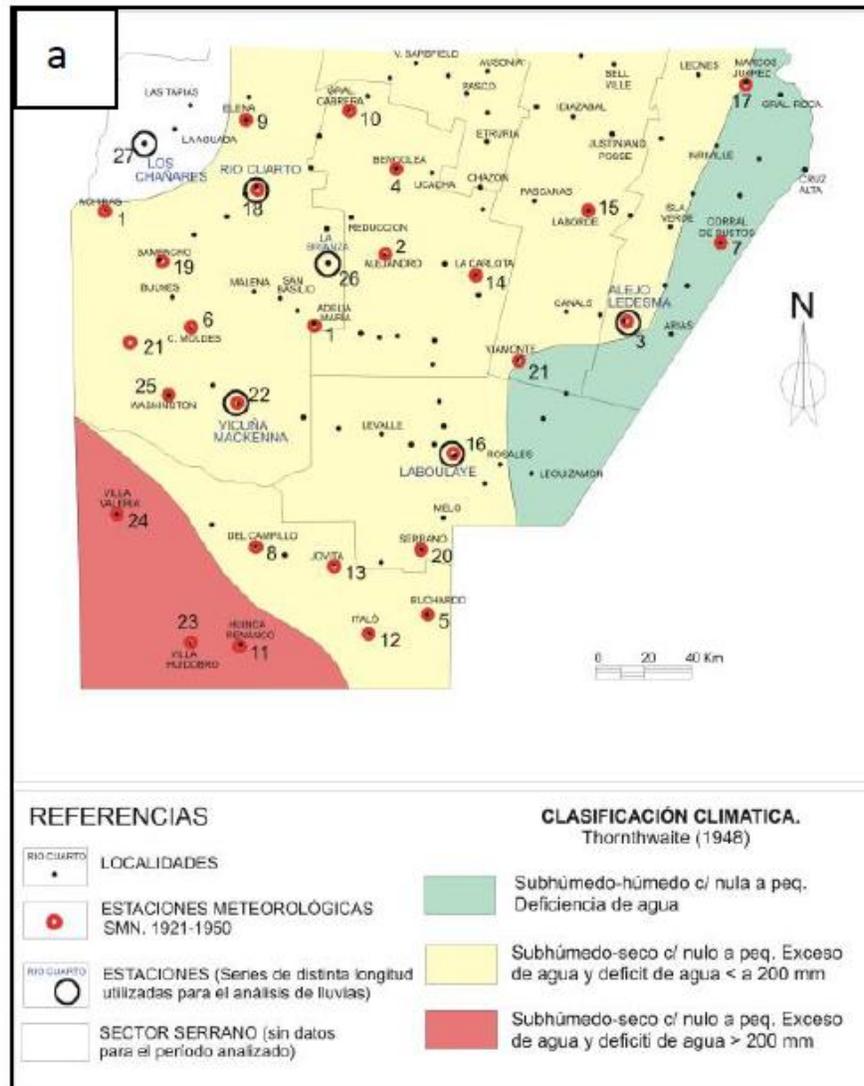
La evapotranspiración potencial media anual para toda la llanura y piedemonte del Sur provincial es del orden de 820 mm (Capitanelli, 1979), excepto en la porción Sudoeste en donde las necesidades de agua superan los 850 mm (Fig. 5.3) En las sierras, los valores obtenidos en función de las temperaturas registradas y de la variabilidad de factores geomorfológicos, de altitud y exposición, varía entre 688 y 794 mm observándose, en general, una disminución de dichos valores hacia las cumbres y altiplanicie.



**Figura 5.3:** Evapotranspiración anual de la provincia de Córdoba. Fuente Gorga et al. (2003).

### 5.1.6- Clasificación climática

Efectuando el balance hídrico modular y determinando los distintos índices para la serie de precipitaciones del Servicio Meteorológico Nacional (1921-1950), Blarasin (2003) propone una clasificación climática según (Thornthwaite, 1948), determinando que el clima en el sector central y occidental de la llanura y en el piedemonte, es subhúmedo-seco con un déficit variable de agua que aumenta gradualmente hacia el SO (Fig. 5.4).



**Figura 5.4:** Clasificación climática del Sur de la provincia de Córdoba. Serie 1921-1950. Fuente Blarasin (2003).

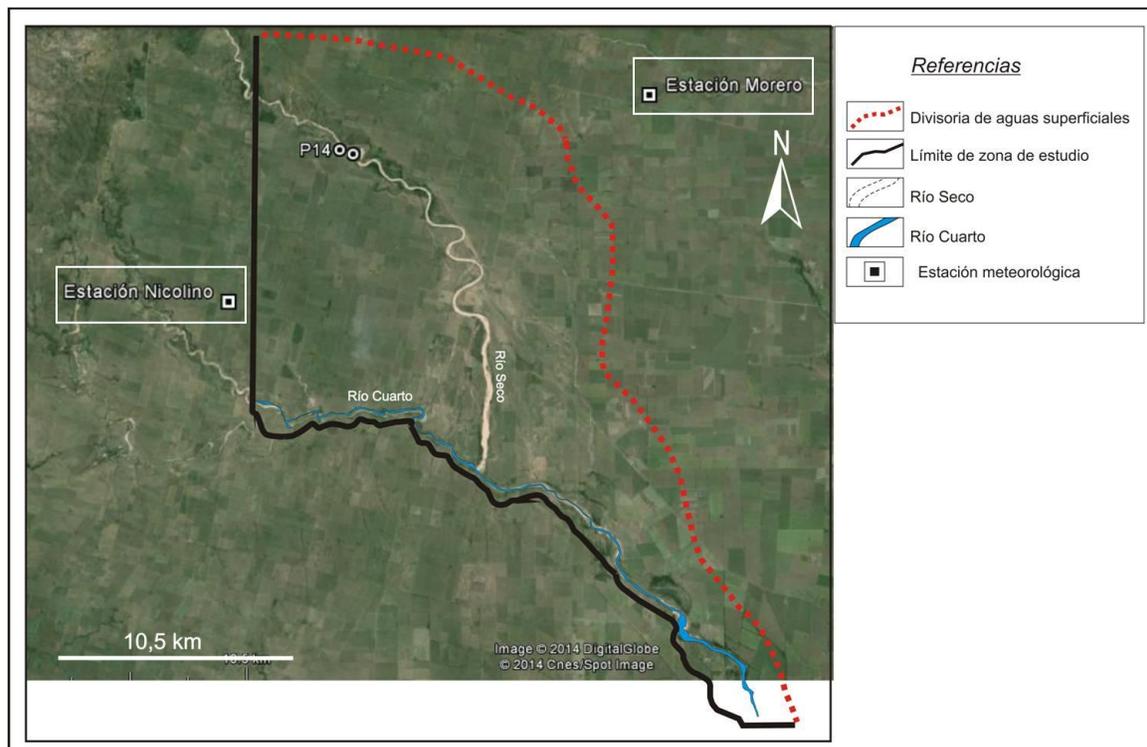
## 5.2- Hidrometeorología Local

### 5.2.1- Datos Hidrometeorológicos

Para el área de estudio se recopiló la información hidrometeorológica de dos estaciones: Nicolino (1980-2012) y Morero (1988-2011) (Tabla 5.1), ambas corresponden a montos de precipitaciones diarias y/o mensuales, tomadas por particulares de la zona. A pesar de encontrarse las dos estaciones fuera de la zona de estudio, la estación Nicolino (1980-2012) es la que se ubica más próxima a la misma, a 2 km del límite Occidental de ésta (Fig. 5.5).

**Tabla 5.1:** Series de las estaciones utilizadas.

<i>Serie</i>	<i>Período</i>	<i>Precipitación anual</i>
Morero	1988-2011	853
Nicolino	1980-2012	953



**Figura 5.5:** Ubicación de las estaciones utilizadas. Imagen tomada de Google Earth 2013.

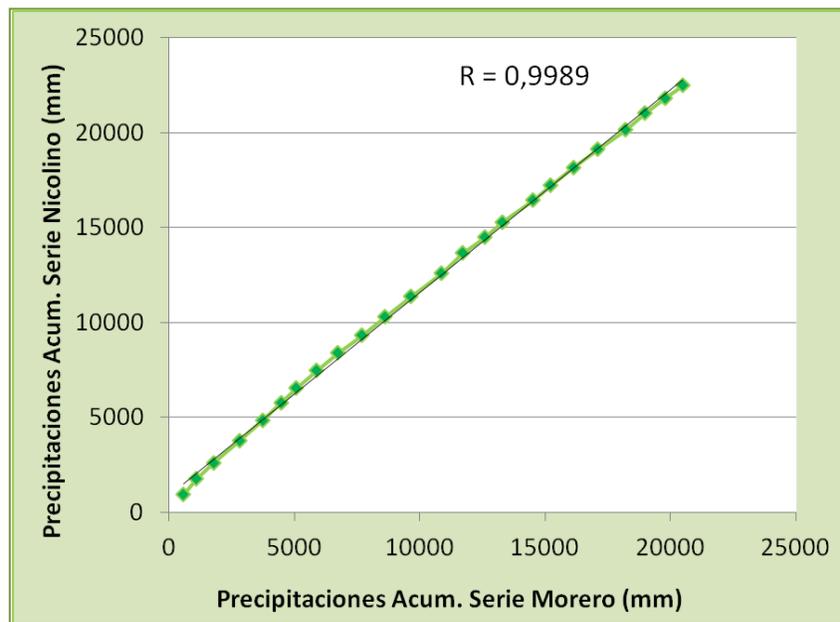
Dada la uniformidad de las temperaturas medias en la región (Gorgas et al., 2003), se usaron los datos de temperaturas de la Estación Río Cuarto para el análisis hidroclimático.

### 5.2.2- Análisis de Precipitaciones

Para comparar la proporcionalidad entre las series de las 2 estaciones, se utilizó el método de "Doble Masas". En este método se confrontan periodos similares de dos series (Tabla 5.2), pertenecientes a estaciones sujetas al mismo régimen hidrológico, mediante un gráfico de regresión, utilizando las precipitaciones acumuladas de las mismas. Si se observa proporcionalidad en el gráfico, se puede asumir que el régimen de precipitaciones es homogéneo en toda el área analizada.

**Tabla 5.2:** Periodos tomados de las series para realizar el balance de "Doble Masa".

<i>Serie</i>	<i>Período</i>	<i>Precipitación anual</i>
<i>Morero</i>	1988-2011	853
<i>Nicolino</i>	1988-2011	965



**Figura 5.6:** Contraste entre estaciones pluviométricas Nicolino Vs Morero.

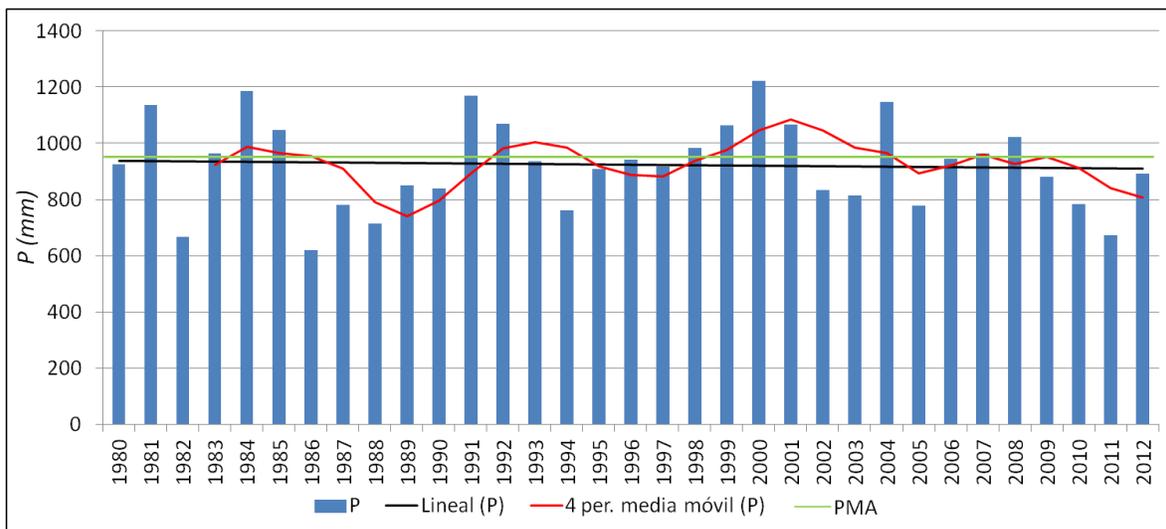
El contraste entre series que se observa en la figura 5.6, reflejó un buen ajuste, con un coeficiente de correlación de 0,99 y alta proporcionalidad. Sin embargo para el análisis hidroclimático sólo se usará Nicolino dado que se trata de la serie más larga.

#### **Serie Nicolino (1980-2011)**

En base al análisis de precipitaciones realizado sobre la serie Nicolino (1980-2012), se obtuvo para el periodo registrado (Fig. 5.7), una precipitación media anual (PMA) de 953 mm, observándose en general una sucesión de ciclos secos y húmedos muy notorios en

toda la serie. Comienza con un primer año seco (1980), con una precipitación anual de 926 mm, sucedida por un año húmedo (1981), cuya precipitación supera la PMA, registrando 1136 mm y un ciclo seco corto de dos años que no superan la PMA. A partir de este año comienza una sucesión de ciclos húmedos bien marcados, seguidos de sus respectivos ciclos secos. Se destacan como periodos más húmedos, los del '84 al '85, del '91 al '93, del '98 al '01, el año '04 y los años del '07 al '08, en los cuales las precipitaciones variaron entre 964 mm y 1170 mm superando el PMA y alcanzando en el año 2000 el valor más alto de la serie con una precipitación anual de 1223 mm.

Los años de mayor sequía está representados por los periodos del '86 al '90, los cuales constituyen un prolongado ciclo de 5 años secos, que no superan los 850 mm de precipitación anual, destacándose en el año 1986 donde se registra la precipitación más baja de la serie con 620 mm. Además de éste, se observan los periodos del '94 al '97, del '02 al '03 y desde '09 a la actualidad donde las precipitaciones registradas no logran superar la PMA, variando entre 672 mm y 881 mm.



**Figura 5.7:** Gráfico Cronológico de precipitaciones medias anuales. Serie Nicolino 1980-2012. Río Seco

La línea de tendencia es muy ligeramente descendente, lo que se interpreta como resultado de los últimos años.

Al analizar la distribución de las precipitaciones medias mensuales (Fig. 5.8), en el año hidrológico, se observa la mayor concentración de las mismas en los meses de primavera-verano desde Octubre a Marzo, acumulando un total del 75% de las precipitaciones, mientras que en los meses de otoño-invierno, de Abril a Septiembre, solo se concentra el 25% de las mismas. El mes de Diciembre es el que registra el mayor

monto de precipitación media con 164,5 mm, mientras que el mes de Junio presenta el menor registro con 8,8 mm de precipitación media mensual.

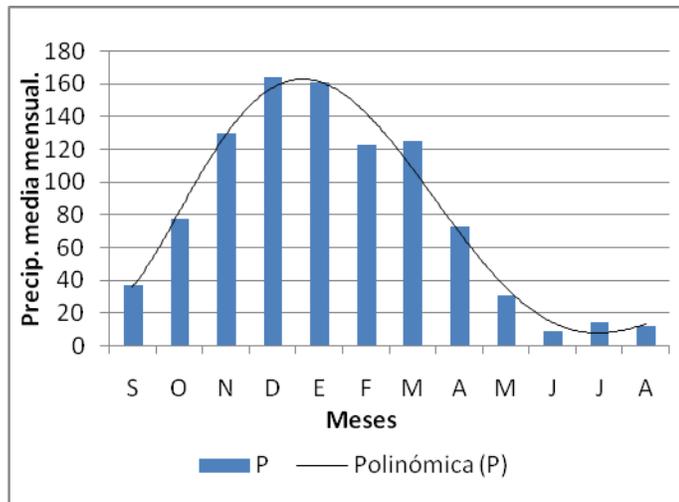


Figura 5.8: Precipitaciones medias mensuales. Serie 1980-2012 Río Seco.

### Balance Hídrico Seriado

Se realizó para la serie Nicolino (1980-2012), el balance hídrico seriado de paso mensual (Fig. 5.9, 5.10 y 5.11), mediante el programa PDIMES (Ravelo, 1990). El mismo utiliza como datos, las precipitaciones mensuales de cada año, para confeccionar el balance de agua anual a nivel del suelo, considerando la humedad antecedente del mismo. Para ello se tiene en cuenta el contenido de agua útil en el suelo, estimado en 150 mm, para suelos franco-arenosos finos y cultivos con pleno desarrollo, con profundidad de enraizamiento del orden de 1 m, datos procedentes de cátedras de Suelo y Climatología y Fenología Agrícola de la UNRC.

El balance hídrico realizado para la zona de trabajo exhibe la presencia de periodos secos, donde las precipitaciones son escasas, y la evapotranspiración elevada, generando déficit hídrico, y periodos más húmedos, donde las precipitaciones superan la evapotranspiración, generando excesos. Estos son de gran importancia ya que conforman el aporte hacia los sistemas superficiales, y hacia el acuífero, mediante la infiltración eficaz. En general se observa que dominan los excesos hídricos, encontrándose concentrados en los meses de primavera verano, mientras que los periodos de déficit, de menor magnitud en la serie analizada, se concentran en los meses de otoño-invierno.

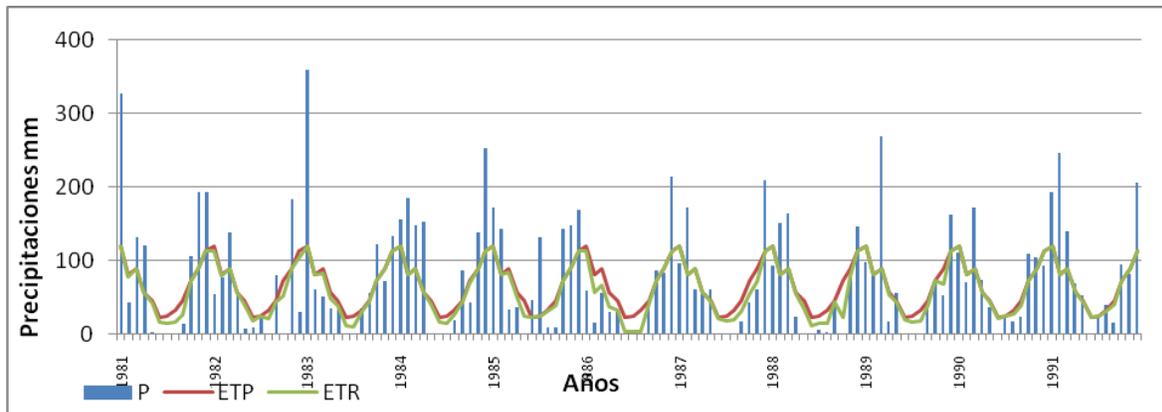


Figura 5.9: Balance hídrico seriado periodo 1980-1991, serie Nicolino. Zona Río Seco

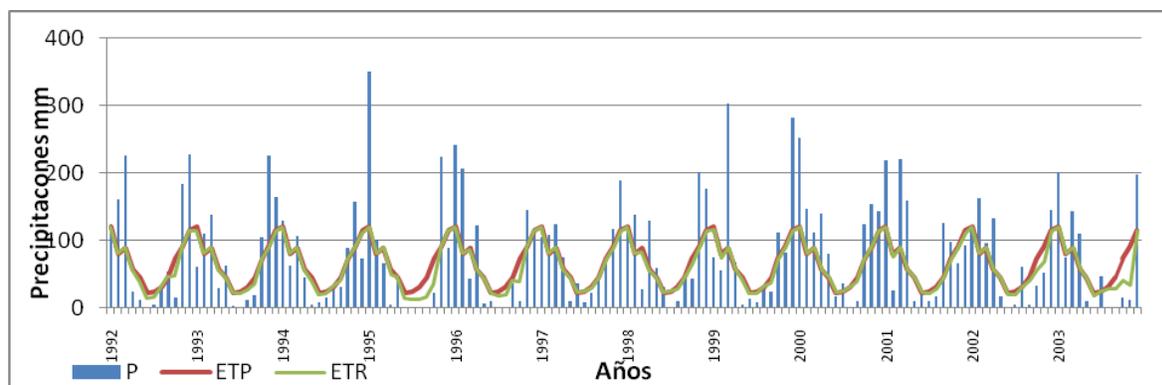


Figura 5.10: Balance hídrico seriado periodo 1992-2003, serie Nicolino. Zona Río Seco

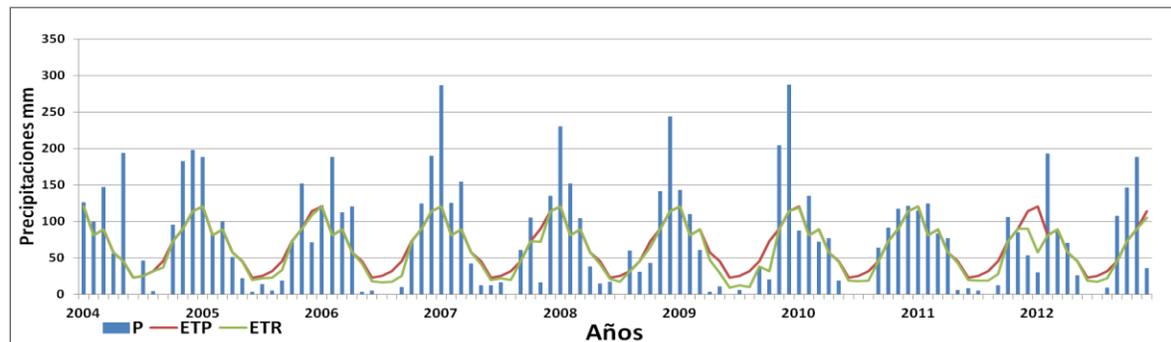


Figura 5.11: Balance hídrico seriado 2004-2012, serie Nicolino. Zona Río Seco

En la grafica de excesos (Fig. 5.12), se observan importantes periodos de excedentes hídricos, en gran cantidad de los años que componen la serie. Los periodos donde los excesos hídricos son más significativos e importantes por contribuir a la recarga del acuífero, abarcan desde 1983 a 1985, de 1991 a 1996, de 1999 a 2001, el año 2004 y de 2007 a 2010, principalmente concentrados en los meses de primavera-verano. El periodo comprendido entre el año 1999 y 2001, es coincidente con un ascenso generalizado del

nivel freático, registrado en campo, mediante el testimonio de los pobladores y el agua encontrada en los antepozos de varios de los molinos censadas.

Cabe destacar que en el último año de registro, se observa un aumento en los excesos que responden al paulatino incremento de las precipitaciones en los últimos años.

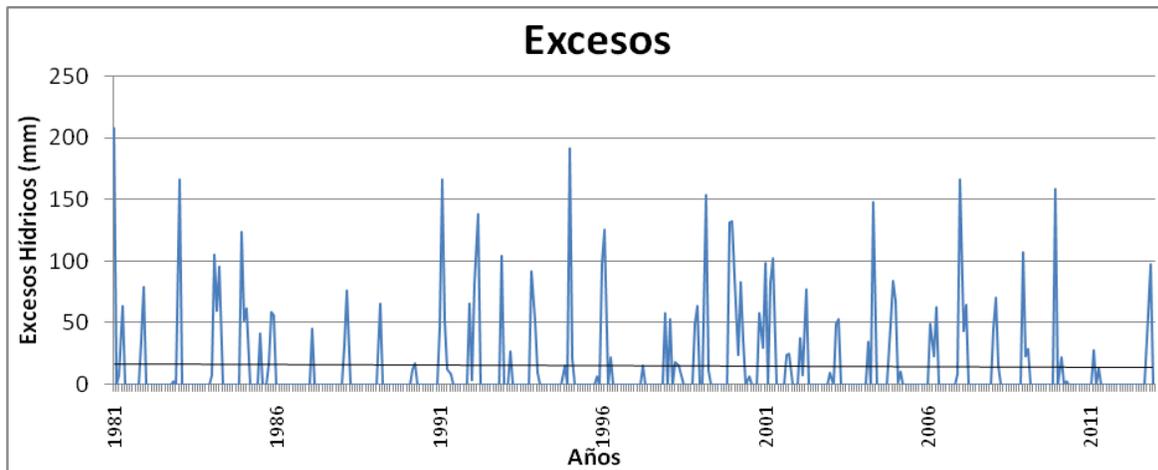


Figura 5.12: Excesos hídricos de la serie Nicolino (1980-2012).

La línea de tendencia refleja una notable horizontalidad, la cual no es coincidente con los datos observados en otros sitios de la región, (Blarasin et al., 2011) de tendencias ascendentes. La misma puede explicarse por la ocurrencia de precipitaciones anuales poco variables con respecto a la media anual, ocurridas en alternancia de ciclos húmedos importantes y secos de menores magnitudes, reflejando tendencias constantes en los excesos hídricos.

# *CAPÍTULO 6*

## *Hidrología Superficial y Subterránea*

---



## **6.1- Hidrología Regional**

### **6.1.1-.Hidrología Superficial**

Según Degiovanni y Blarasin (2005), en el Sur de la provincia de Córdoba, pueden diferenciarse dos grandes ambientes hidrológicos interconectados: I) al O correspondiente a la región periserrana y llanuras onduladas, caracterizado por la presencia de redes de drenaje organizadas, de importante jerarquía, en general de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo y II) el asociado a las áreas planas o deprimidas del Este provincial, donde el drenaje es anárquico, el nivel freático se encuentra a poca profundidad o aflorando y proliferan los cuerpos lagunares o de bañados.

Una característica muy importante de estos sistemas es el marcado carácter endorreico que en general, posee el funcionamiento hidrológico de la región, y que el proceso natural tiende a mantenerse, a pesar que el hombre se ha empeñado en imponerle un carácter exorreico desde hace varias décadas, a través de canalizaciones.

En la figura 6.1 (tomada de Degiovanni y Blarasin, 2005) se presenta la red de drenaje regional y se demarcan seis grandes cuencas teniendo en cuenta las principales depresiones que actúan como colectoras, aún cuando algunas de ellas están integradas artificialmente.

Dentro de estas seis grandes cuencas, la zona de trabajo integra el sector superior de la Cuenca de la Depresión del Saldillo. La misma es la más importante de la región ya que es la receptora de todos los sistemas de drenaje desarrollados entre los ríos Tercero y Quinto, integrándose a la cuenca del Plata a través del río Saladillo- Carcarañá.

Las precipitaciones, concentradas en los meses de primavera-verano, y la ocurrencia de tormentas de alta intensidad, generan que la mayor parte de los sistemas fluviales posean régimen torrencial lo cual se ve favorecido por las características geológicas y el modo de ocupación del territorio en los distintos ambientes (Blarasin et al., 2003).



escurrimientos rápidos, concentrados en cortos períodos de tiempo, los cuales generan importantes crecidas, en cuenca media desarrollan una relación de efluencia con el nivel freático, tornándose de carácter permanente, manteniendo su torrencialidad. Sin embargo algunos cursos se infiltran a la salida de las sierras aportando al sistema subterráneo. El más típico ejemplo es el río Alpa Corral-Las Barrancas, que luego de infiltrarse adquiere el nombre de río Seco, objeto de este estudio. Otros sistemas nacen en área de llanura por afloramiento del acuífero freático en sectores deprimidos, en general de origen tectónico (Degiovanni, 2005).

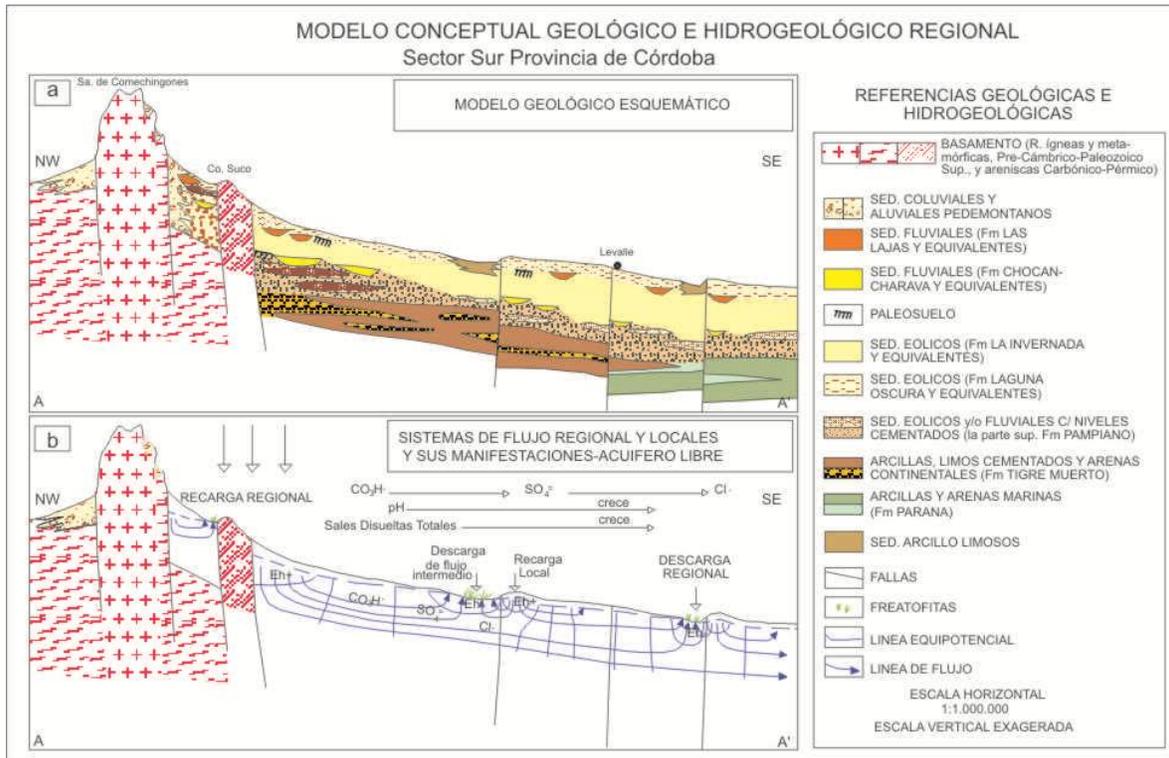
Respecto a la calidad del agua de los ríos y arroyos del Sur de la provincia de Córdoba, la mayoría presentan buena calidad, con tenores salinos que varían entre 200 mg/L (sector serrano) y 1.500 mg/L (en áreas de desembocadura). Se trata en general de aguas bicarbonatadas desde sus nacientes a sus desembocaduras, aunque en cuencas medias y bajas aumentan los contenidos de sulfatos y cloruros, debido también a que reciben el aporte del agua freática, sin que por ello se produzcan cambios en el carácter geoquímico. En el área serrana son del tipo cálcicas haciéndose sódicas hacia los sectores más bajos de la llanura (Blarasin, 2003).

### **6.1.2- Hidrología Subterránea**

Las estructuras geológicas de carácter regional, por haber sido un condicionante fundamental en la evolución geológica Cuaternaria y pre-Cuaternaria y en la sedimentación tanto marina como continental de la región, han influido en la actual disposición del agua superficial y subterránea (Blarasin, 2003). El modelo conceptual hidrogeológico a nivel regional, del sur de la provincia de Córdoba (Blarasin, 2003) se muestra en la figura 6.2.

En el esquema hidroestratigráfico regional (Fig. 6.2), se observa que el acuífero freático se aloja en los materiales Cuaternarios eólicos y fluviales de origen continental. Encontrándose por debajo, en algunos sectores, acuíferos semiconfinados. Los materiales de mejor aptitud acuífera, con alta conductividad hidráulica y transmisividad, (Formación Chocancharava, Formación Las Lajas y otros de granulometrías gruesas sepultados a diversas profundidades), están fundamentalmente vinculados a las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos, mientras que el resto de los materiales, eólicos y aluviales finos, alojan un acuífero freático de características pobres (Formación La Invernada, Formación Laguna Oscura, etc.).

A mayor profundidad pueden distinguirse dos ambientes diferentes de sedimentación, de origen marino y continental, para el sector Oriental y Occidental de la provincia respectivamente, cuyos sedimentos de edad Terciaria, alojan los principales acuíferos confinados de la región (Formación Tigre Muerto y Formación Paraná) (Blarasin, 2003).



**Figura 6.2:** Modelo Conceptual Geológico e Hidrogeológico Regional del Sur de la Provincia de Córdoba. Fuente: Blarasin y Cabrera (2005).

De acuerdo con esta información, el hidroapoyo en áreas pedemontanas y hasta aproximadamente 20-30 km hacia el Este, es directamente el basamento, ubicado a profundidades muy variables como consecuencia del control estructural que lo afecta (Blarasin, 2003). Más hacia el Este la base del acuífero es una formación acuicluda de materiales arcillosos o acuitardos de diferentes características, yacentes también a profundidades variables (50 -100 m).

### 6.1.2.1- Caracterización del Acuífero Libre

#### - Acuífero libre en zona serrana

**Acuífero en medio fracturado:** El sistema de fracturas y diaclasas que poseen las rocas del basamento aflorante en las sierras, da origen a un sistema acuífero con permeabilidad secundaria, libre (con niveles freáticos virtuales), de poca capacidad para

conducir el fluido, pero de gran importancia en la dinámica hidrológica regional y local. El agua, en general es dulce y bicarbonatada cálcica y alimenta los ríos o arroyos de la región, en muy pocos casos es aprovechada para uso humano, aunque es de excelente calidad (Blarasin y Cabrera, 2005).

**Acuífero en medio clástico:** Está constituido por los sedimentos limo-arenosos, arenosos y areno-gravosos de edad cuaternaria, de espesores variables (entre 1 y 20 m), los cuales presentan conductividades hidráulicas medias a altas (1-10 m/día). Se alimenta de la infiltración de lluvias locales y del aporte de agua de las rocas circundantes (Blarasin y Cabrera, 2005).

#### **- Acuífero libre en zona de llanura**

Teniendo en cuenta los materiales que conforman el acuífero libre y sus potencialidades y restricciones de explotación pueden considerarse dos grandes zonas (Blarasin y Cabrera, 2005):

**Acuífero en fajas fluviales más importantes:** Se trata de sectores que bordean el río Cuarto y algunos tramos del sector medio del sistema Santa Catalina-del Gato. Allí, el acuífero se aloja en materiales en general gruesos como arenas finas, gruesas y gravas, vinculados a paleocauces. Este acuífero presenta excelente rendimiento y calidad, encontrándose en sectores anisotropías y heterogeneidades producto de los cambios granulométricos presentes.

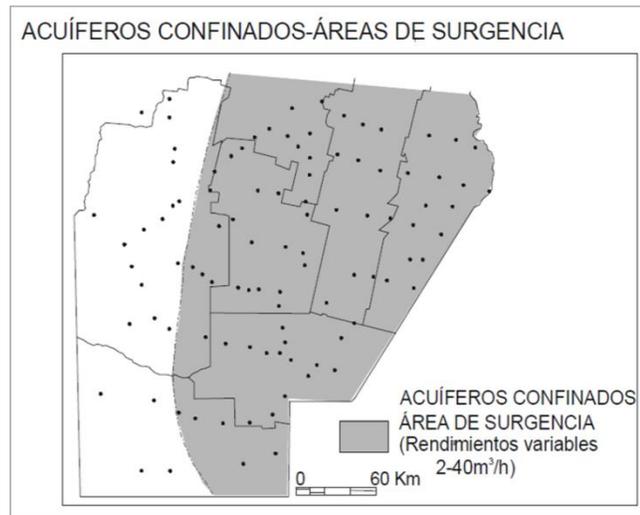
Numerosos sectores del área pedemontana y llanuras onduladas, en donde se han atravesado depósitos pertenecientes a antiguos paleocauces, muestran también muy interesante potencialidad acuífera (Blarasin y Cabrera, 2005).

**Acuífero en el resto de la llanura cordobesa:** corresponde a sedimentos fluviales en posiciones medias y distales y todas aquellas planicies intermedias, deprimidas y mal drenadas compuestas por materiales eólicos. En esta amplia zona, el acuífero es bastante homogéneo, está compuesto por materiales predominantemente arenosos finos, limosos y limo arcillosos, con abundantes niveles de cementaciones con carbonatos (calcretos o "toscas") de espesores variables y ubicados a distintas profundidades.

Las conductividades hidráulicas son bajas (10-3 hasta 1m/día, localmente hasta 5 m/día), pero son en sectores compensadas con espesores potentes en los materiales lo que genera importantes transmisividades (Blarasin y Cabrera, 2005).

### -Acuíferos confinados

Los acuíferos confinados yacen a diferentes profundidades, en general por debajo de los 120 metros, y poseen características hidráulicas y químicas muy variables, condicionadas por la historia geológica de la región, (Blarasin, 2003), encontrándose las áreas de surgencia, principalmente hacia el Este provincial, tal como se observa en la figura 6.3.



**Figura 6.3:** Mapa de acuíferos confinados y áreas de surgencia del Sur de la Provincia de Córdoba.

#### 6.1.2.2-Hidrodinámica Subterránea Regional

En la región estudiada, la configuración geológico-geomorfológica en bloques que basculan al Este-Sudeste, es el principal condicionante de los flujos intermedios y regionales del agua subterránea, definiendo las principales áreas de recarga y descarga y los principales procesos hidroquímicos (Blarasin y Cabrera, 2005).

En general el acuífero libre del Sur de la provincia de Córdoba circula con una dirección NW-SE (Fig. 6.4), presenta relieve ondulado, observándose una jerarquización de los flujos, desarrollando morfologías freáticas locales que pueden variar de tipo radial en sectores de ondulaciones más marcadas, hasta tipo plana, correspondientes a aquellas típicas de planicies loésicas.

Presenta gradientes hídricos más elevados en el sector Occidental, próximos a las sierras y bajos en el sector Oriental en las planicies deprimidas, con una velocidad efectiva estimada de 1,5 m/día para los materiales muy gruesos de las fajas fluviales, hasta  $2,5 \times 10^{-3}$  m/día para los sedimentos eólicos (Blarasin y Cabrera, 2005).

La profundidad a la que se puede encontrar el nivel freático está fundamentalmente condicionada por el relieve y fluctúa en respuesta a las lluvias estacionales y/o años más húmedos.

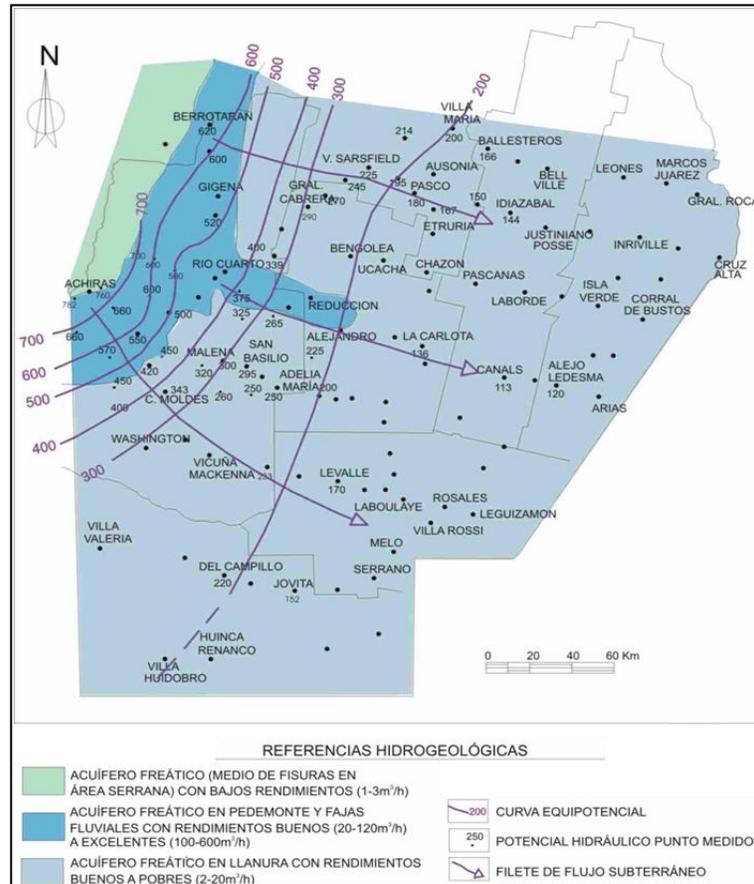


Figura 6.4: Mapa equipotencial para el Sur de la Provincia de Córdoba. Fuente: Blarasin, 2003.

## 6.2-Hidrología Local

### 6.2.1- Hidrografía e Hidrodinámica Superficial

Debido a la importancia que presentan los escurrimientos superficiales, en su relación con procesos geológicos-geomorfológicos y específicamente con el sistema subterráneo, se realizó para el área de trabajo un análisis de la hidrografía superficial, reconociendo aquellos cursos de importante jerarquía que contribuyen a las grandes cuencas regionales, además de la red de bajos topográficos interconectados que conducen las aguas pluviales, desaguando las mismas sobre los principales colectores.

Para ello mediante análisis topográficos previos y relevamientos de campo, se logró confeccionar el mapa hidrográfico de la zona de estudio (Fig. 6.5), en el cual se ve reflejada la dinámica superficial del sector.

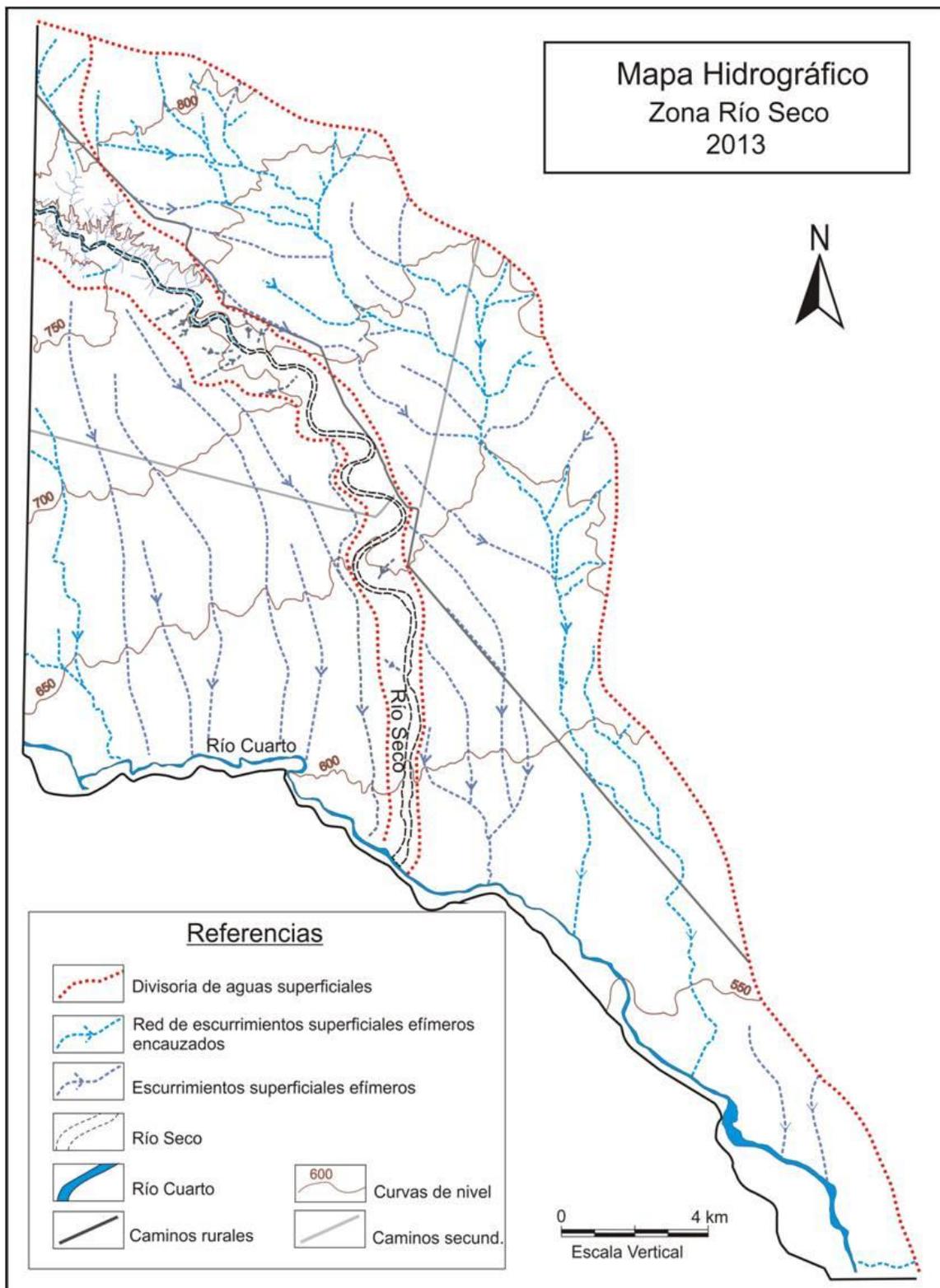


Figura 6.5: Mapa de escurrimientos superficiales. Zona Río Seco, 2013.

En el área se encuentran dos cursos importantes, el río Seco y el río Cuarto.

El **río Cuarto** tiene sus nacientes en las sierra de Comechingones, en la unión de los ríos Piedras Blancas y Las Cañitas y recibe el aporte de los ríos La Invernada y Alpa Corral-Barrancas-Seco (Fig. 6.6), es de régimen permanente (Fig. 6.7), comportamiento estacional marcado y fluye en sentido NNO–SSE. En su recorrido de más de 300 km de longitud, drena una cuenca de 2.200 km<sup>2</sup>. Su principal aporte proviene de las precipitaciones en primavera-verano y del aporte subterráneo, responde al funcionamiento tipo torrencial, con crecientes en áreas medias y bajas resultantes de precipitaciones muy intensas en las sierras (Degiovanni y Blarasin, 2005).

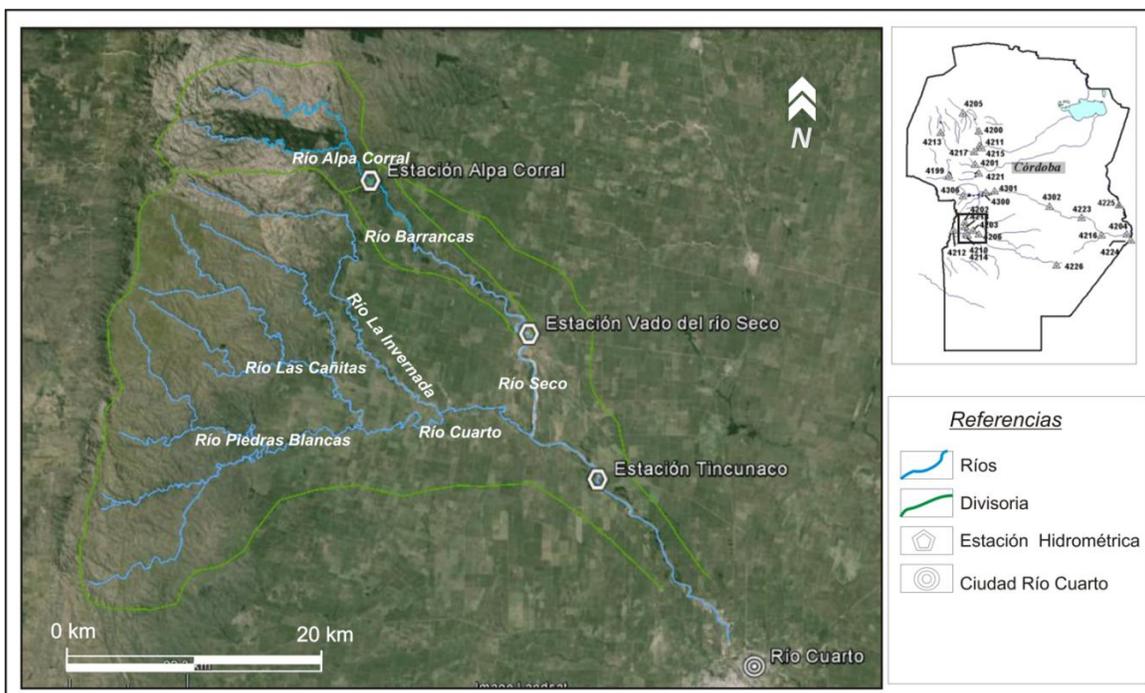


Figura 6.6: Cuenca alta y media-alta del río Cuarto, con ubicación de la estaciones



Figura 6.7: Río Cuarto, mostrando su carácter permanente en distintos puntos de su cuenca alta.

Conforma una red de drenaje de tipo angular sub-dendrítica, controlada estructuralmente, presentando relación ortogonal en la mayoría de sus confluencias.

Su caudal sólido está compuesto por materiales principalmente arenosos y gravosos como carga de fondo en cuenca alta, aumentando su carga suspensiva hacia cuenca media y baja.

El caudal líquido del río fue analizado a partir de los datos obtenidos de los anuarios estadísticos de EVARSA (1997 y 2008/2009), donde se encuentran los registros de la estación hidrométrica de Tincunaco. Dichos registros comienzan en el año hidrológico 1960-61 y se extienden hasta el año hidrológico 1980-1981 y sólo se cuenta con datos de caudales medios mensuales y medios diarios.

La estación Tincunaco, se ubicaba al SE de la zona de estudio, sobre el río Cuarto y se encuentra actualmente inactiva. La misma recibía aportes de una cuenca de 1.533 km<sup>2</sup>, la cual se señala en la figura 6.8.

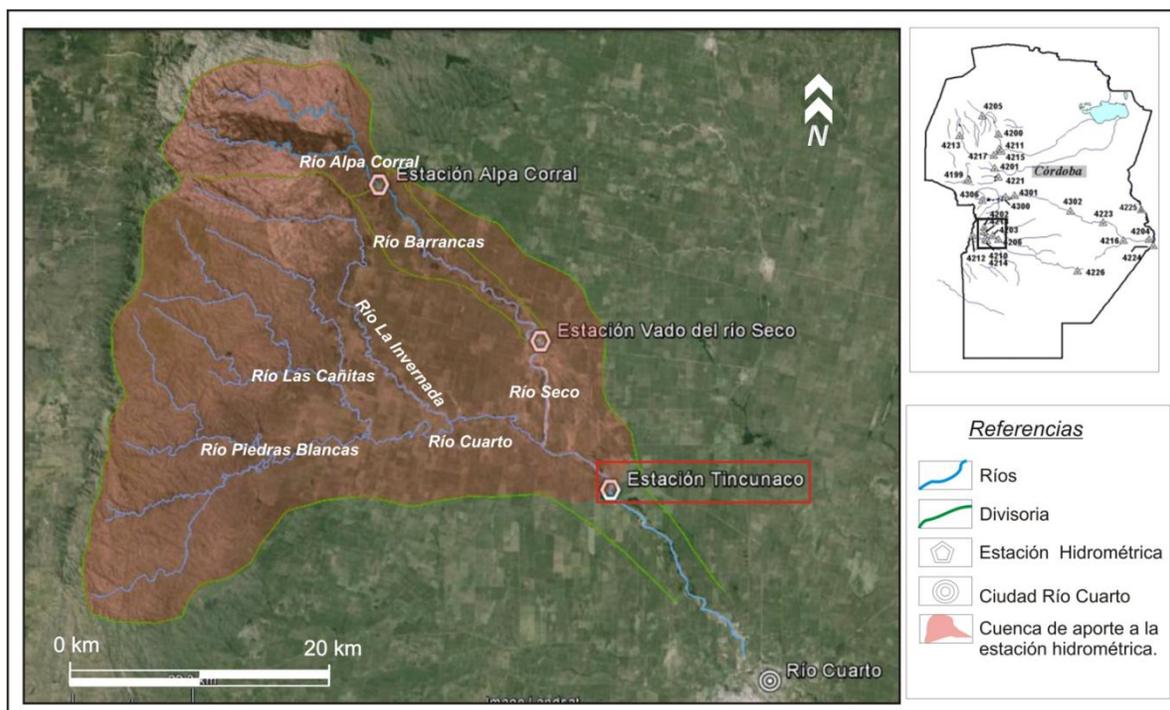
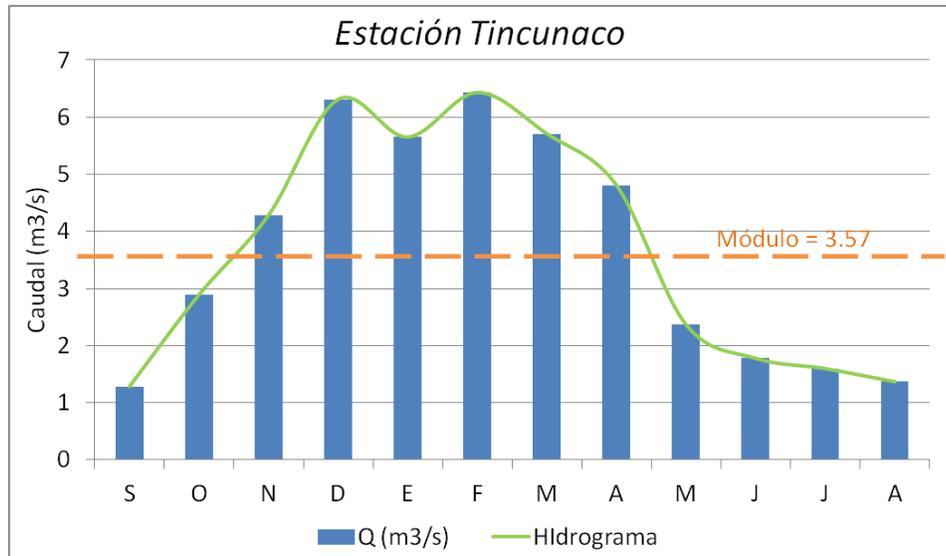


Figura 6.8: Cuenca de aporte a la Estación hidrométrica Tincunaco.

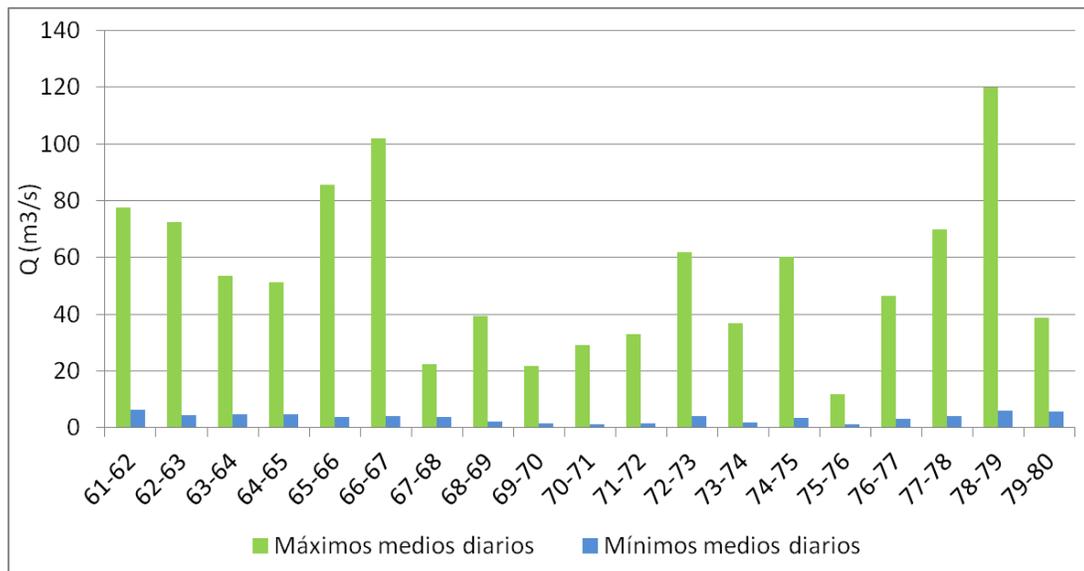
En el gráfico de caudales medios mensuales para la serie 1960-1981 (Fig. 6.9), se observa que los máximos caudales se concentran en las estaciones de primavera-verano coincidiendo con las estaciones más lluviosas, mientras que los mínimos se concentran en otoño-Invierno, observándose un módulo, para dicha serie, de 3,57 m<sup>3</sup>/s.

De los máximos medios diarios registrados, se puede inferir que los picos de crecidas podrían superar los 120 m<sup>3</sup>/s en este sector (Fig. 6.10), mientras que los mínimos medios

diarios, nos permiten confirmar el carácter permanente del río ya que se registra caudal permanente distinto de cero, con lo cual en ningún momento el río se encuentra sin agua.



**Figura 6.9:** Caudales medios mensuales para la serie Tincunaco 1960-1981, hidrograma y módulo.



**Figura 6.10:** Caudales máximos y mínimos medios diarios para la serie Tincunaco 1960-1981.

El río **Seco**, es la continuación extraserrana del río Alpa Corral-Las Barrancas con nacientes serranas, que luego de infiltrarse adquiere dicho nombre. Corresponde a un curso típicamente efímero, cuyo cauce permanece seco durante la mayor parte del año.

Desarrolla eventos torrenciales durante las precipitaciones estivales, cuando recibe grandes volúmenes de agua desde las sierras, generando importantes picos de crecidas que perduran sólo algunos días, luego de ello el río infiltra a la salida serrana, aportando al sistema subterráneo, tal como se observa en la figura 6.11.



**Figura 6.11:** A- Río Barrancas-Seco con lecho rocoso y régimen permanente. B y C- Río Seco infiltrando en la bajada serrana. C- Río Seco con lecho aluvial y régimen efímero.

Su caudal sólido está compuesto por materiales arenosos y areno-gravosos como carga de fondo, cuyo análisis textural se observa en la figura 3.18 del capítulo 3.

El caudal líquido fue analizado a partir de los datos obtenidos de los anuarios estadísticos de EVARSA (1997 y 2008/2009), donde se encuentran los registros de dos estaciones hidrométricas de interés en el funcionamiento hidrológico del sistema: la estación Alpa Corral y Vado del Río Seco. Los registros de la estación Alpa Corral comienza en el año hidrológico 1937-38 y se extienden hasta el año hidrológico 1980-1981, mientras que los de la estación Vado del Río Seco, comienzan en el mismo año,

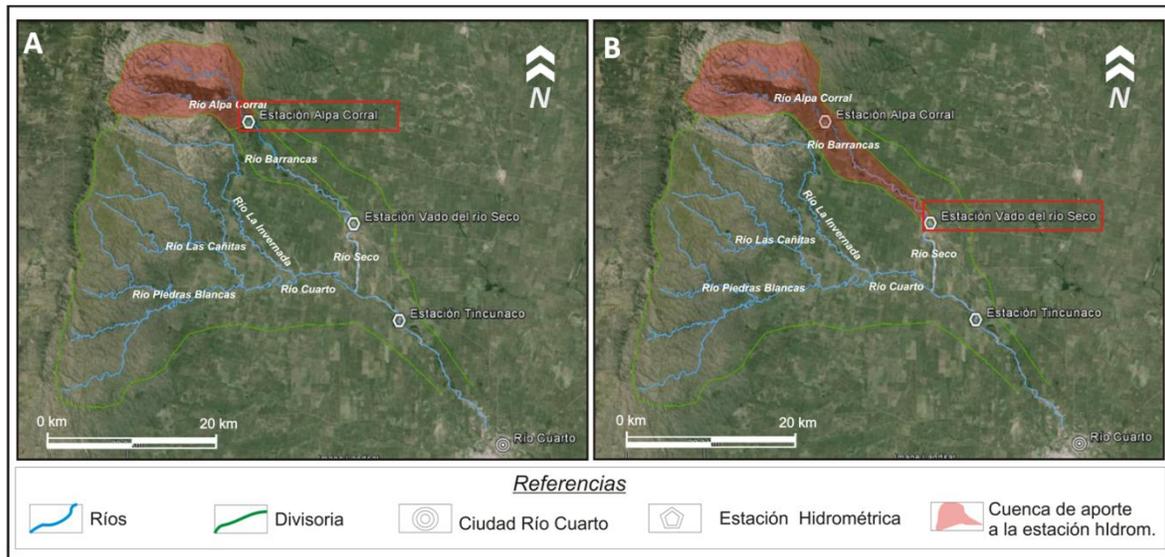
pero se extienden hasta el año 1961-1962. De ambas, sólo se cuenta con datos de caudales medios mensuales y medios diarios.

La estación *Alpa Corral* se ubicaba a unos 4 km de la confluencia de los ríos Talita y Las Moras que dan inicio al río homónimo, en cercanías de la localidad turística del mismo nombre y a unos 9 km hacia el NO del límite Occidental de la zona de estudio.

Actualmente inactiva, registraba caudales aportados por una cuenca de unos 180 km<sup>2</sup> (Fig. 6.12 A).

La estación *Vado del Río Seco* se ubicaba sobre el vado situado sobre el río homónimo hacia el centro de la zona de estudio, a unos 21 km aguas abajo de la estación Alpa Corral.

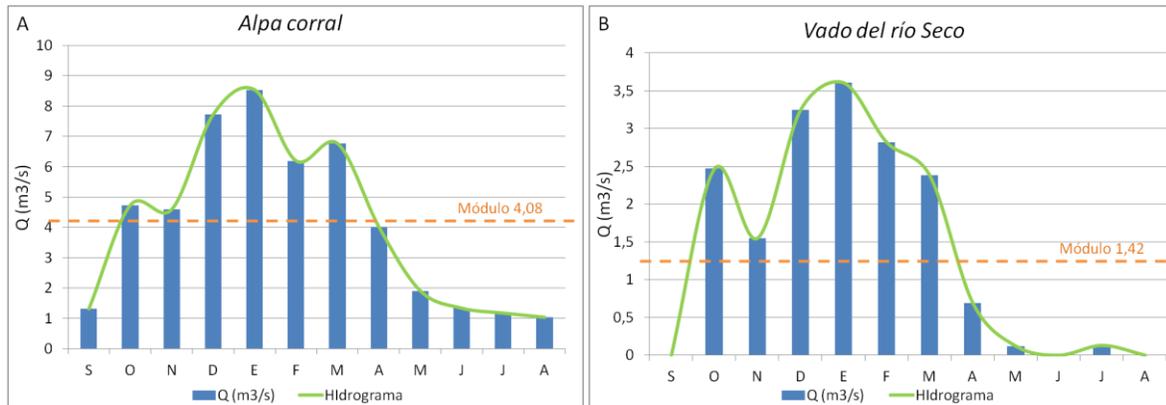
Actualmente también inactiva, drenaba una cuenca de 256 km<sup>2</sup> (Fig.6.12 B). A pesar de representar mayor área, los caudales registrados por esta estación son muy inferiores a los registrados por la estación Alpa Corral, debido a que, como se menciona anteriormente, el río Alpa Corral-Barrancas infiltra a la salida de las serranías, aportando al sistema subterráneo y tomando un régimen efímero.



**Figura 6.12:** A- Cuenca de aporte a la Estación hidrométrica Alpa Corral. B- Cuenca de aporte a la estación Vado del Río Seco.

En el gráfico de caudales medios mensuales para la serie 1937-1981 de la estación Alpa Corral (Fig. 6.13 A), se observa que los máximos caudales se concentran en las estaciones de primavera-verano coincidiendo con las estaciones más lluviosas, mientras que los mínimos se concentran en otoño-invierno, observándose un módulo, para dicha serie, de 4,08 m<sup>3</sup>/s. Para la serie 1937-1962 de la estación Vado del Río Seco, si bien se observa la misma coincidencia de meses lluviosos con los máximos caudales, el gráfico

(Fig. 6.13 B) no exhibe registros de caudales en tres de los meses de las estaciones de otoño-invierno, presentando un módulo para dicha serie de  $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 6.13:** A- Caudales medios mensuales para la serie Alpa Corral 1937-1981, hidrograma y módulo. B- Caudales medios mensuales para la serie Vado del Río Seco 1937-1962, hidrograma y módulo.

De los máximos medios diarios registrados en la serie de la estación Alpa Corral, se puede inferir que los picos de crecidas podrían superar los  $410 \text{ m}^3/\text{s}$  en este sector (Fig. 6.14), mientras que si se analizan los mínimos medios diarios, podemos observar que el río presenta carácter permanente, ya que se registra caudal distinto de cero en todos los años.

Si se analiza la serie en su totalidad, comparando los caudales máximos y mínimos medios diarios, podemos observar dos periodos bien marcados, los primeros 20 años, donde se representan los mayores valores de caudales máximos medios diarios de la serie, observándose también los menores caudales mínimos medios diarios y últimos 20 años de la misma, donde se representan los menores valores de caudales máximos medios diarios y los mayores valores de caudales mínimos. A partir de ello se interpreta que en los primeros 20 años, de 1938 a 1958, las precipitaciones se produjeron de manera intensa, generando mayores picos de crecidas. Por otro lado en los últimos 20 años, de 1959 a 1979, las precipitaciones ocurrieron de forma más repartida durante el año, con lluvias menos intensas, reflejadas en menores picos de crecida, pero de aporte muy significativo al caudal de estiaje, que en estos 20 años presentó los mayores caudales mínimos.

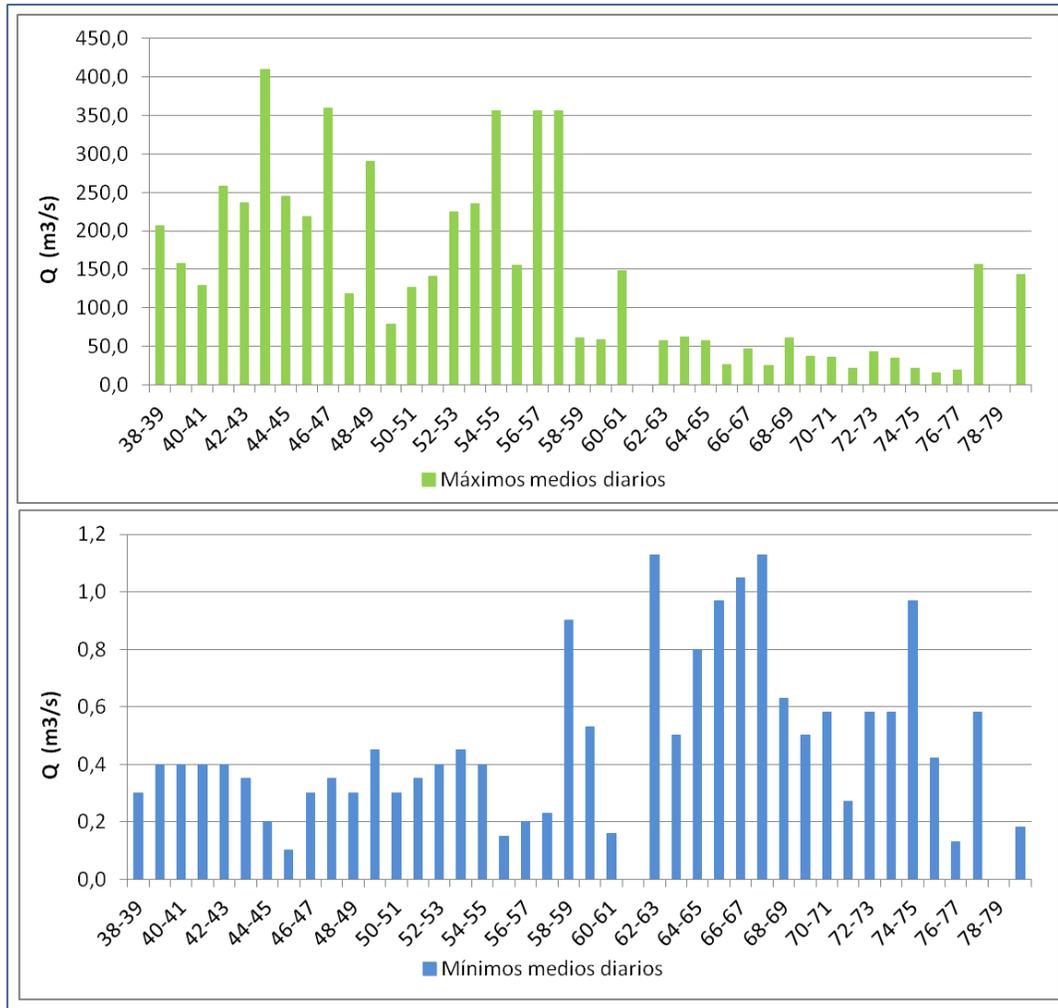
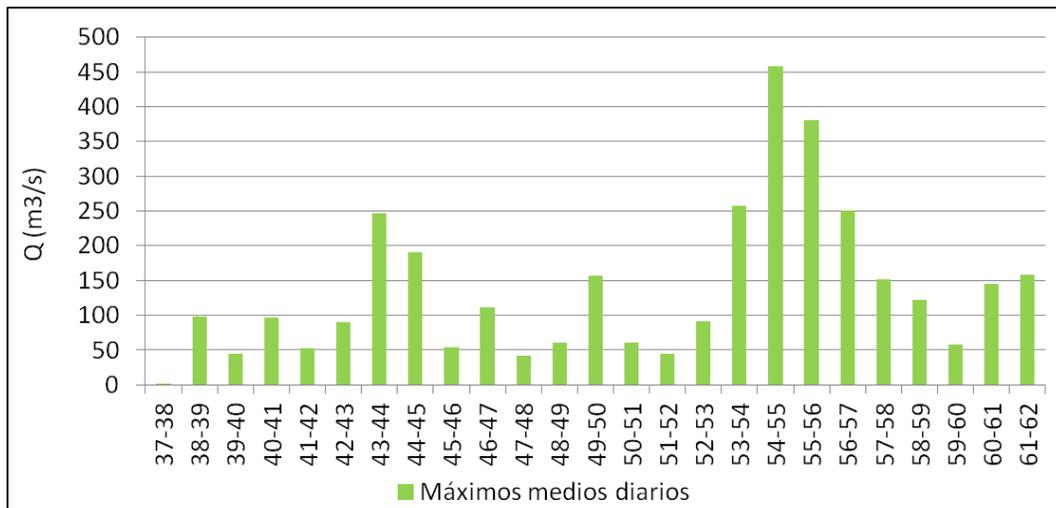


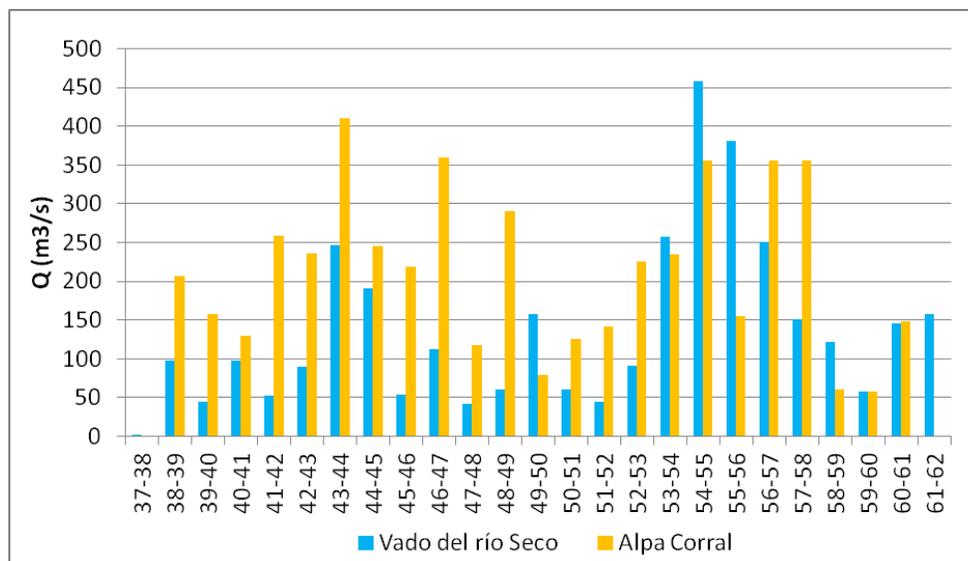
Figura 6.14: Caudales máximos y mínimos medios diarios para la serie Alpa Corral 1938-1979.

En cuanto a la estación Vado del Río Seco, se puede inferir que los picos de crecidas podrían superar los 458 m<sup>3</sup>/s (Fig. 6.15). Por otro lado, si se analizan los mínimos medios diarios para cada año de la serie, en todos los casos es 0 m<sup>3</sup>/s, lo cual nos confirma el carácter efímero que presenta el río en este tramo, registrando solo caudales en cortos periodos de tiempo, durante crecidas.



**Figura 6.15:** Caudales máximos medios diarios para la serie Vado del Río Seco 1937-1962.

Si comparamos los caudales máximos (Fig. 6.16) y mínimos (Fig. 6.17) medios diarios de ambas series para el mismo periodo de tiempo, podemos observar que, en la mayoría de los casos, los máximos de la estación Alpa Corral sobrepasan a los máximos de la serie Vado del Río Seco, lo cual indicaría que el agua infiltra en su recorrido entre las estaciones, perdiendo caudal. Esto se observa con mayor claridad en la gráfica que compara los mínimos medios diarios de ambas series, dado que en la serie Alpa Corral se registra caudal constante, mientras que en la serie Vado de río Seco el caudal mínimo medio diario para cada año registrado es cero.



**Figura 6.16:** Caudales máximos medios diarios para las series Alpa Corral y Vado del Río Seco 1937-1962.

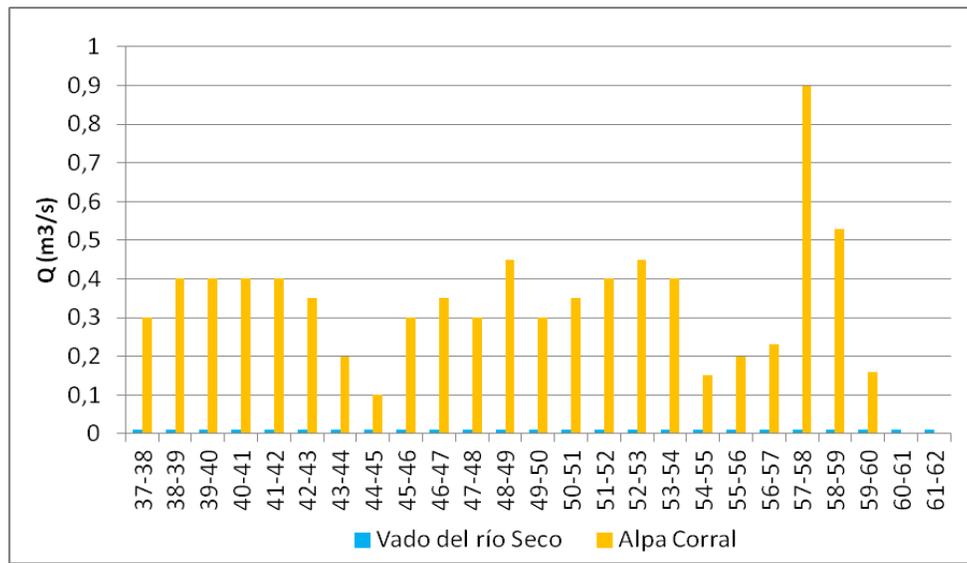


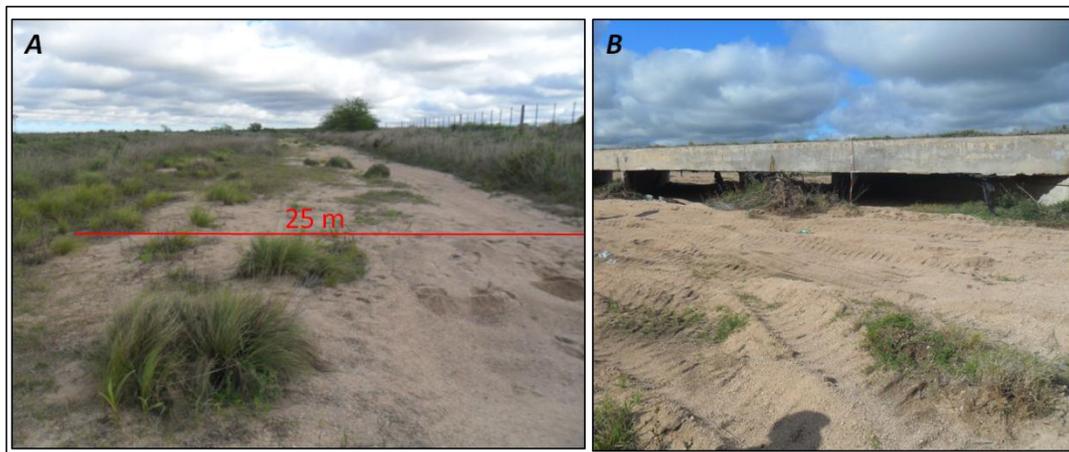
Figura 6.17: Caudales mínimos medios diarios para las series Alpa Corral y Vado del Río Seco 1937-1962.

Los **escurrimientos superficiales efímeros secundarios** desarrollan patrones diferentes en el sector Este y Oeste de la zona de estudio. Al Oeste del río Seco, se observan los cursos superficiales efímeros conformando un patrón de escurrimiento subparalelo, en el cual las aguas pluviales circulan sobre bajos elongados de dirección NNO-SSE, paralelos entre sí, hasta desaguar en el río Cuarto. La erosión hídrica en este sector es moderada, observándose surcos y cárcavas concentrados sobre las barrancas del río Cuarto, siendo escasas en el área restante.

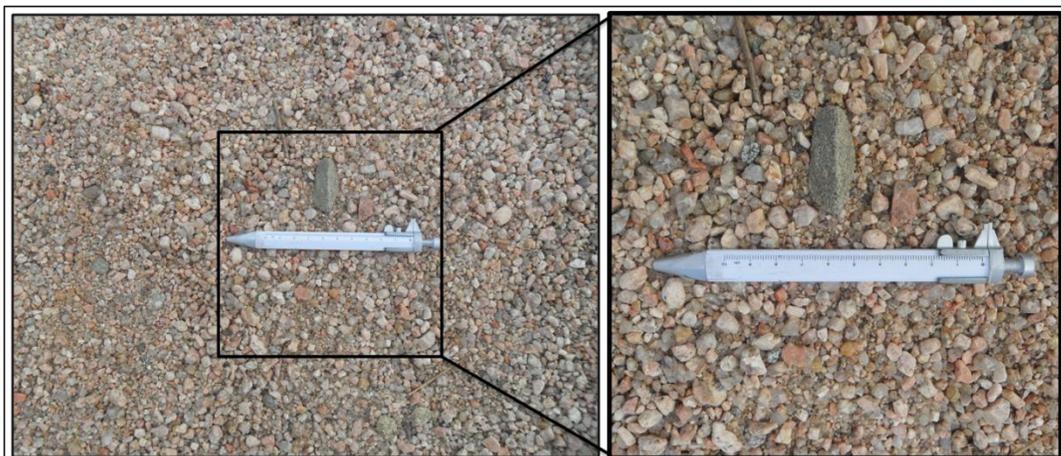
Al Este de la zona de trabajo, los escurrimientos superficiales efímeros conforman una red jerarquizada, con un prominente desarrollo de cárcavas e importantes sectores de captura que las conectan (Fig.6.18). Esto da lugar a una erosión hídrica dominante, que concentra las aguas pluviales en un único colector rectilíneo de dirección N-S, denominado Santa Rita, el cual presenta importantes dimensiones, alcanzando los 25-30 m de ancho, en la intersección de este con la Ruta Provincial N° 11 (Fig. 6.19). Durante las tormentas conduce las aguas hacia el Sur desaguando sobre el río Cuarto, transportando materiales areno-gravosos como carga de fondo (Fig. 6.20). En ocasiones, durante crecidas importantes, el agua sobrepasa el vado ubicado próximo al puesto Santa Rita sobre la Ruta Provincial.



**Figura 6.18:** Procesos de erosión retrocedente en cárcavas en la conformación de una red jerarquizada de escurrimientos superficiales efímeros al NE de la zona de estudio.



**Figura 6.19:** A-colector principal de la red de escurrimientos superficiales efímeros, el Este del río Seco. B- Vado ubicado sobre la Ruta Provincial N° 11, próximo al puesto Santa Rita.



**Figura 6.20:** Materiales areno-gravosos transportados por el colector efímero Santa Rita.

## **6.2.2- Hidrología e hidrodinámica Subterránea**

En la zona de estudio, en base a la gran necesidad que implica conocer la disponibilidad de agua subterránea como recurso para las actividades humanas, se analizó el comportamiento hidrodinámico y calidad del acuífero libre, con el objetivo de establecer las diferentes aptitudes de uso del agua subterránea para esa región, e incorporar información útil sobre la zona de trabajo

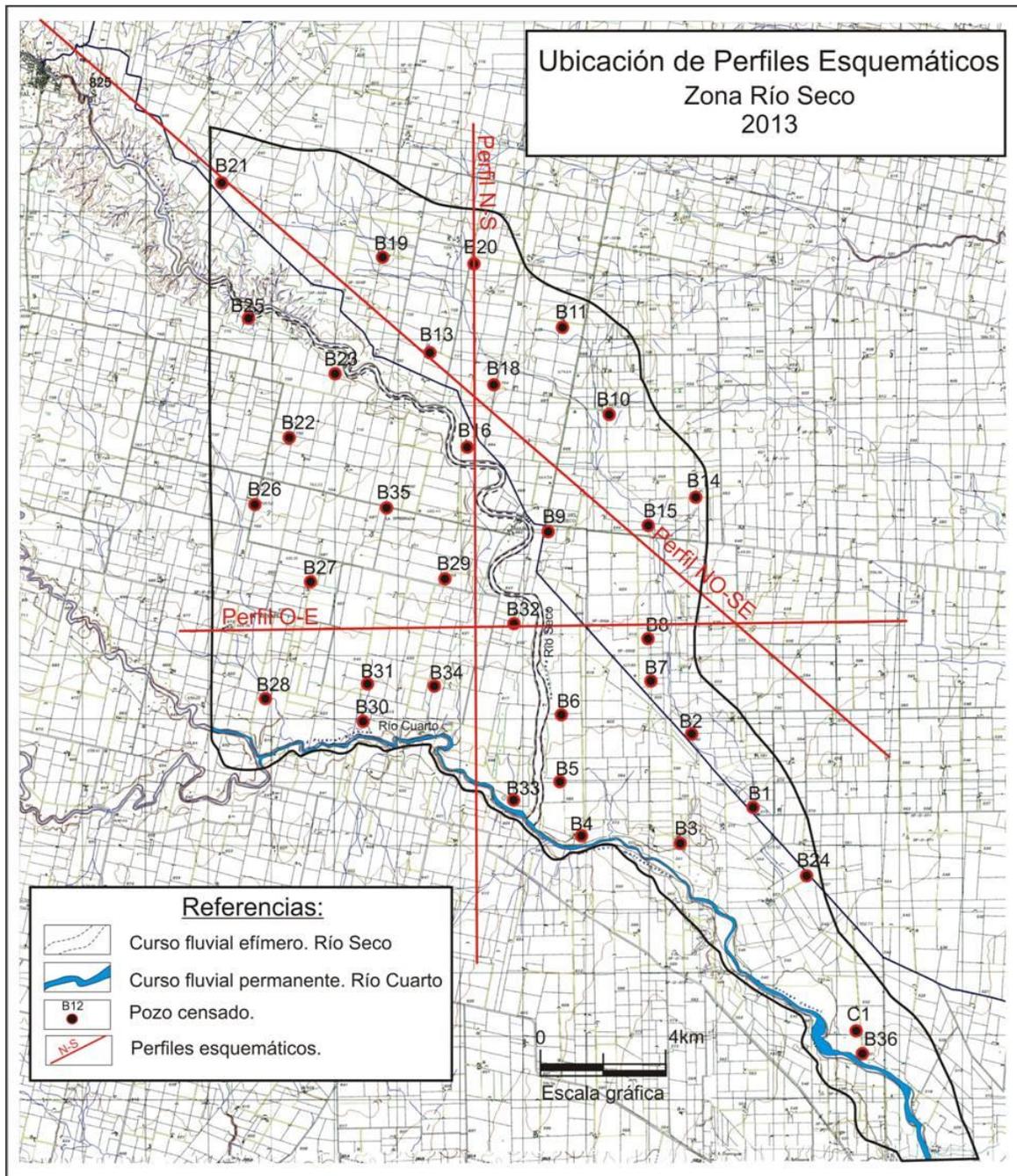
### **6.2.2.1- Acuífero Libre Zona Río Seco**

#### **6.2.2.1.1-Hidrolitología e Hidroestratigrafía Local**

En base a la información obtenida se lograron confeccionar tres perfiles hidrolitológicos, con el objetivo de determinar las relaciones existentes entre la topografía, el acuífero freático y las litologías que componen el subsuelo. Cabe destacar que serían de gran utilidad mayor cantidad de datos de subsuelo para lograr hacer una mejor interpretación del mismo.

En general, se observa que en el acuífero libre o freático en el área estudiada abundan litologías clásticas de origen fluvial y eólico, representadas por materiales de diferentes granulometrías, principalmente psamo-psefíticas, con limos y arcillas subordinadas. En los ámbitos predominantemente eólicos, que bordean la zona de estudio, dominan las arenas muy finas-limosas cuyas conductividades hidráulicas, según Custodio y Lamas (1993), se estiman entre 0,5 y 1 m/d (Tabla. 6.2 y 6.3). En el ambiente fluvial de los ríos Seco y Cuarto y, sobre todo, en el ámbito aluvial central, dominan materiales areno-gravosos de alta permeabilidad, de excelente comportamiento hidráulico, con conductividades de hasta 50 m/d que incluso, alcanzan los 100 m/d en algunos sectores.

En el mapa de la figura 6.21, se observa la ubicación de los tres perfiles hidrolitológicos confeccionados para la zona de estudio.



**Figura 6.21:** Mapa de ubicación de perfiles hidrolitológicos y censo de pozos.

### Perfil NO-SE

En este perfil ya descrito (Fig. 6.22), el hidroapoyo del acuífero libre, solo se logra identificar hacia el NO del área, representado por el basamento cristalino que fue alumbrado por dos perforaciones de la zona. En el sector SE no se cuenta con la información suficiente que permita su identificación, presumiendo que se trata de una

formación arcillosa impermeable, presente en otros sectores a más de 140 m de profundidad, por debajo de la cual existe una formación que alberga al menos un acuífero confinado, detectado en una perforación, nombrada como C1 en el censo de pozos, situada al Sureste de la zona de estudio, cuya ubicación se muestra en el mapa de la figura 6.21.

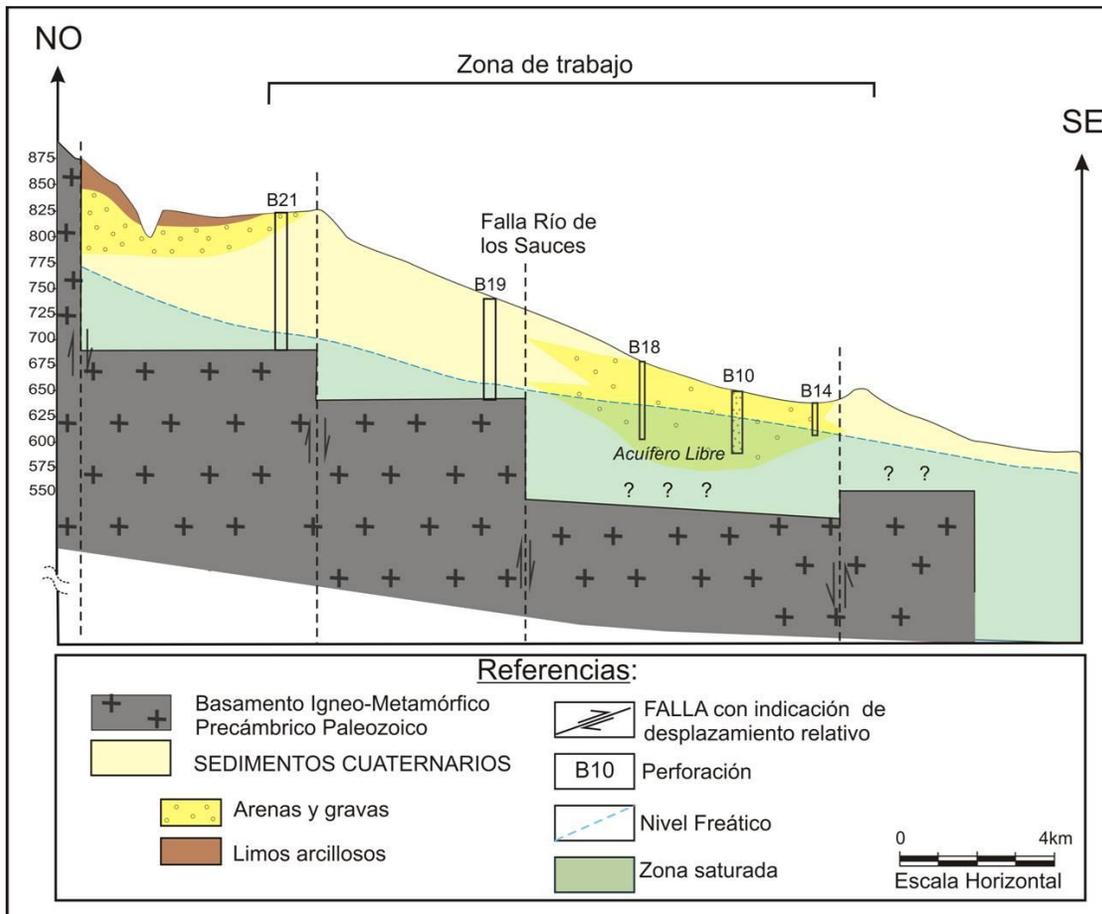


Figura 6.22: Perfil hidrolitológico rumbo NO-SE. Zona de Río Seco, 2013.

### Perfil N-S

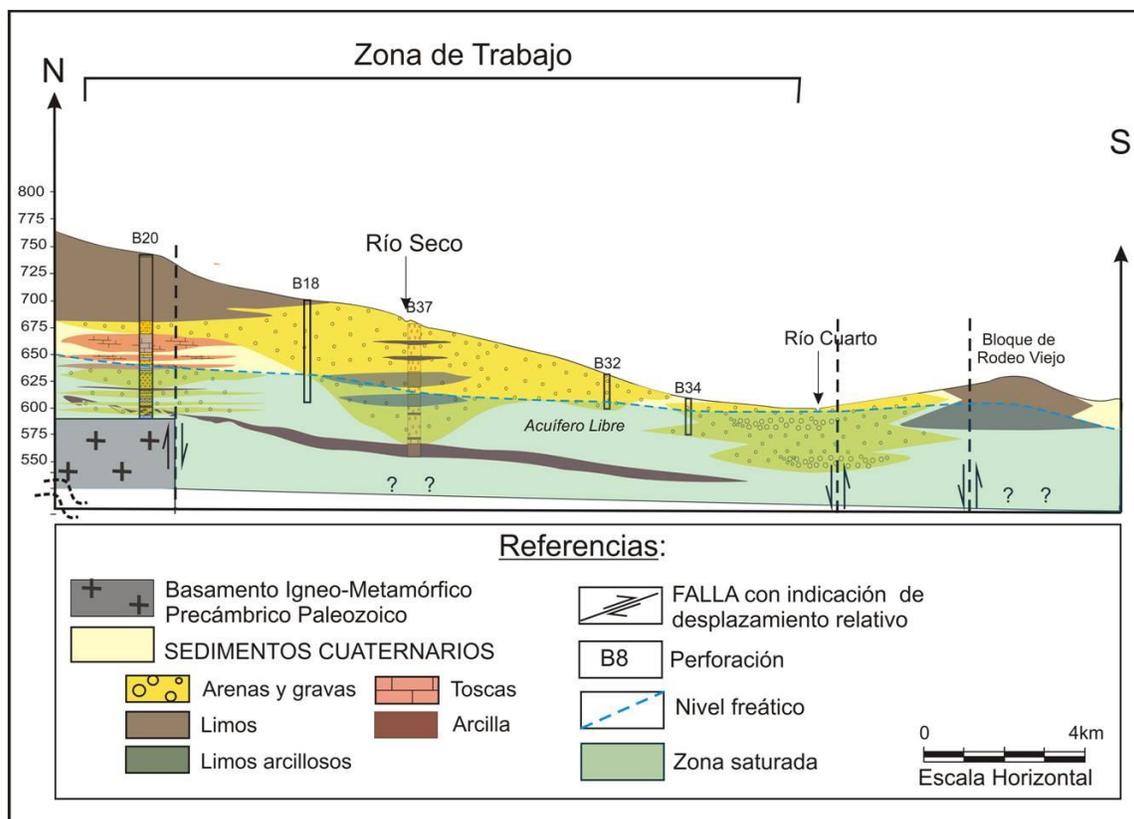
Este perfil de rumbo N-S (Fig. 6.23), permite visualizar, además de las diferentes litologías que dominan en el subsuelo de la zona de estudio, las relaciones entre los sistemas superficial y subterráneo.

El basamento, como apoyo del acuífero libre, se alumbro en el N de la zona de estudio, mediante una perforación a 160 m de profundidad en la cual no fue informado el nivel freático, por lo que se estimo según las características del entorno, una profundidad de nivel estático de 110 m.

Hacia el Sur se identifica una potente formación impermeable de 12 m de arcillas, que se interpreta como base del acuífero libre, a más de 140 m de profundidad, lo cual proporciona un potente espesor acuífero.

Se corrobora el carácter efímero del río Seco, debido a la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en ese sector. En cuanto al río Cuarto, presenta carácter permanente con relación de efluencia con el acuífero freático, que mantiene su caudal de base.

El nivel freático, refleja la morfología ondulada de la superficie freática, similar a la topografía.



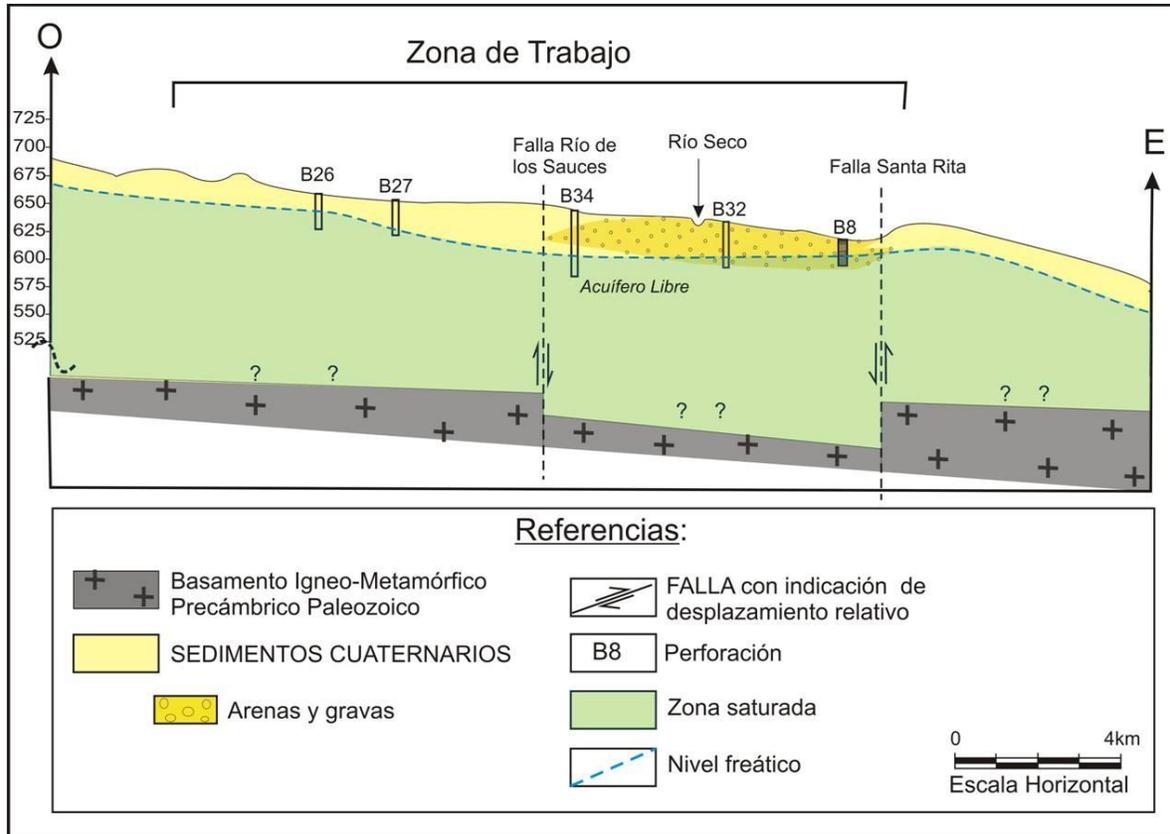
**Figura 2.23:** Perfil hidrolitológico de rumbo N-S. Zona de Río Seco, 2013.

### Perfil E-O

En este perfil (Fig. 6.24) se cuentan con escasos datos de la litología que compone el subsuelo, sin embargo es de gran utilidad para determinar el comportamiento del acuífero libre.

Como litología dominante en el centro de la zona de estudio se encuentran los materiales areno-gravosos de origen aluvial, de elevadas conductividades hidráulicas.

Se observa el carácter efímero del río Seco, el cual se encuentra desconectado del acuífero libre ubicado a más de 10 m debajo de él, corroborando la existencia de un bajo freático en ese sector.



**Figura 6.24:** Perfil hidrolitológico de rumbo O-E. Zona de Río Seco, 2013.

### 6.2.2.1.2-Hidrodinámica

Para analizar la hidrodinámica del acuífero libre de la zona de trabajo, se realizó el censo de pozos, a una escala 1:50.000, logrando una densidad de muestreo de un pozo cada 4 km<sup>2</sup> aproximadamente, adquiriendo información de 29 puntos cuya ubicación se muestra en la figura 6.21. Estos corresponden en su mayoría a molinos con antepozo, y perforaciones con bombas electro-sumergibles (Fig. 6.25). En campo se adquirieron datos de profundidad de niveles estáticos del acuífero libre, mediante la utilización de sondas piezométricas de señal lumínica y sonora (Fig. 6.26)



**Figura 6.25:** A- Molino con antepozo calzado. B- Antepozo de molino calzado en la parte superior con chapas en mal estado, y descalzado en la parte inferior. C- Antepozo de molino calzado con calzadas de cemento. D- Bomba manual. E- Perforación con bombeador. F y G- Perforación con electrobomba sumergible



**Figura 6.26:** A- Medición de nivel freático con sonda de señal lumínica y sonora de 30 m de longitud. B y C- Medición de nivel freático con sonda de señal lumínica y sonora de 100 m de longitud.

### Profundidad del nivel freático

Las diferentes profundidades a las que se encuentra el nivel freático en la zona de estudio, se encuentran en el mapa de la figura 6.27 en el cual se reflejan las relaciones entre el nivel freático y la topografía, demostrando las variaciones de espesor de la zona de aireación.

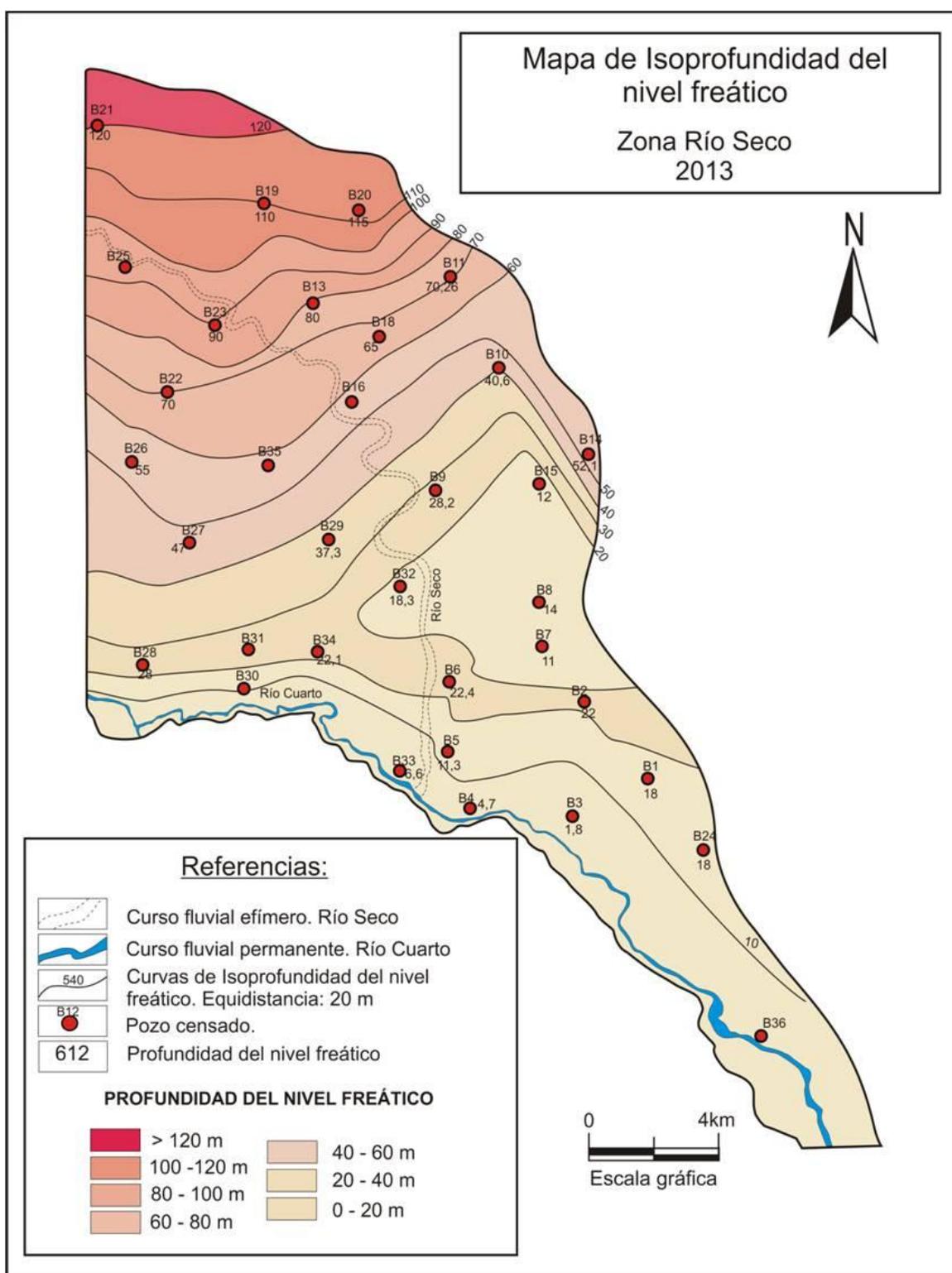


Figura 6.27: Mapa de isopropfundidad del nivel freático. Zona de Río Seco, 2013.

En el mapa se observa que las profundidades del nivel freático disminuyen gradualmente hacia el SE de la zona de estudio, encontrándose los mayores valores al NO de la misma. Las profundidades varían desde 120 m hasta 1,8 m en proximidades del río Cuarto en el SE del área.

Esta disminución gradual en la profundidad hacia el SE, se interpreta como resultado de control estructural regional que los bloques de basamento basculados, ejercen sobre la misma.

En el sector Oeste de la zona de estudio, aguas arriba de la confluencia del río Cuarto con el río Seco, se observa barrancas de gran altura que varían entre 6 y 20 m, encontrándose el lecho del río por debajo del nivel freático presentando así carácter permanente.

### **Potenciales hidráulicos del acuífero libre**

El mapa de potenciales hidráulicos del acuífero libre de la zona de estudio (Fig. 6.28) muestra una dirección general de circulación de NO hacia el SE, destacándose una divisoria de aguas subterráneas, hacia el Este, que se encuentra desplazada con respecto a la divisoria de aguas superficiales. La misma se corresponde con el límite Oriental del sistema aluvial del río Seco, interpretándose dicho desplazamiento como de origen estructural. Localmente se observan importantes variaciones, donde los filetes de flujo divergen y convergen indicando la presencia de bajos y altos freáticos.

Se observa una morfología de la superficie freática ondulada, con gradientes que varían entre 0,2% en los sectores más tendidos a 1,5% en los más abruptos, lo cual se debe al condicionamiento topográfico y a los cambios litológicos. Se observa un marcado bajo freático, indicado por la convergencia de los filetes de flujo, en el eje del valle que conforma el sistema fluvial del río Seco, al NO de la zona de estudio, donde el acuífero no mantiene conexión con el curso fluvial efímero, por encontrarse a más de 90 m de profundidad.

El río Cuarto, de carácter permanente, mantiene una relación de efluencia con el acuífero libre, el cual le aporta su caudal de base. Los filetes de flujo reflejan en su convergencia, la descarga local del agua subterránea sobre el cauce.

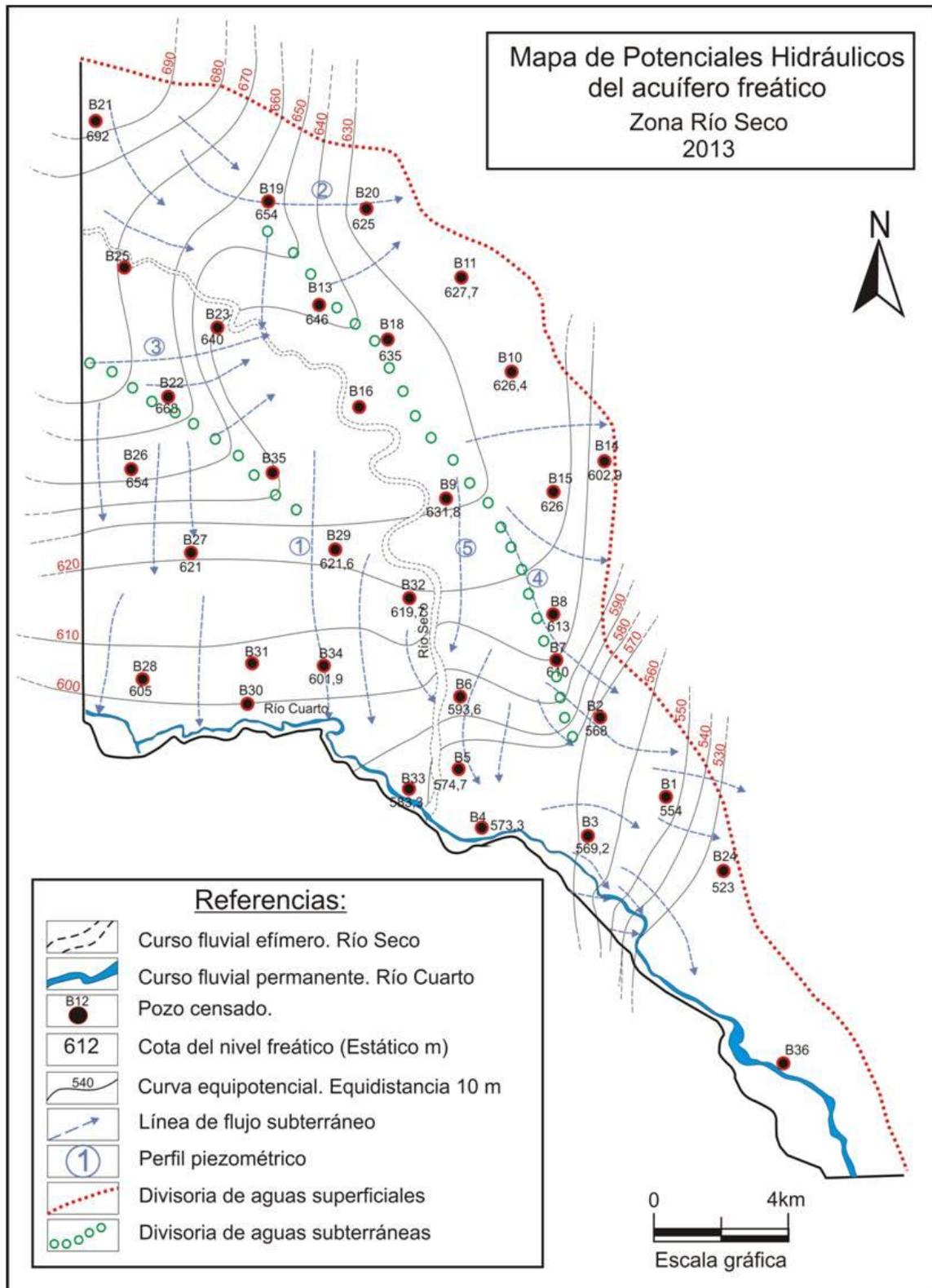
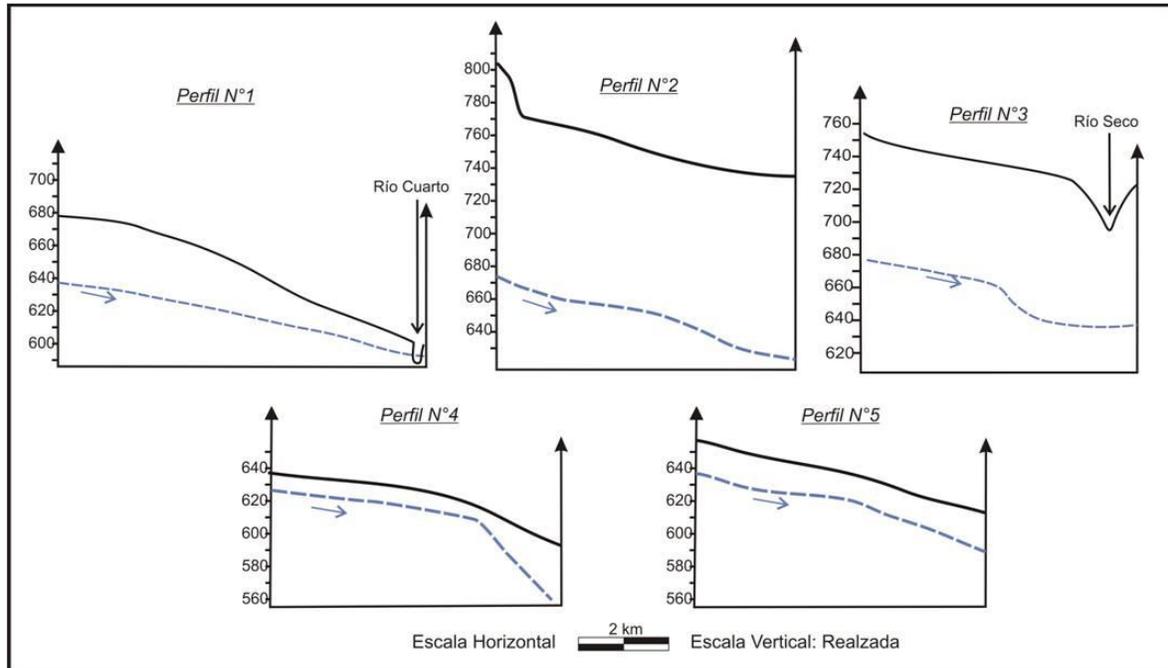


Figura 6.28: Mapa de potenciales hidráulicos del acuífero freático. Zona de Río Seco, 2013.

### Perfiles de depresión

Se realizaron sobre cuatro filetes de flujo estratégicos indicados como P1, P2, P3, P4 y P5 en el Mapa de potenciales hidráulicos, distintos perfiles de depresión (Fig. 6.29), en los cuales se observa claramente el comportamiento del acuífero libre, en diferentes sectores.



**Figura 6.29:** Perfiles de depresión realizados sobre los filetes de flujo 1, 2, 3 y 4, del Mapa de Equipotenciales. Zona de Río Seco, 2013.

En el perfil N°1, ubicado en el centro de la zona de estudio, sobre un filete de flujo de orientación submeridiana, se observa una disminución en el espesor de zona no saturada, hacia el Sur de la zona de estudio. En él se observa que el acuífero libre descarga sobre el río Cuarto, aportándole su caudal de base.

El perfil N°2, se encuentra ubicado sobre un filete de flujo de dirección O-E, al NE de la zona de estudio. En él se observan los mayores espesores de zona no saturada, encontrándose el acuífero a más de 100 m de profundidad, observándose la morfología ondulada de la superficie freática.

En el perfil N°3, ubicado al NO de la zona de estudio, de dirección SO-NE, se observa una importante desconexión entre el acuífero libre y el río Seco, encontrándose el nivel freático a más de 90 m de profundidad. También se puede observar un importante bajo freático debajo del cauce efímero del río Seco.

El perfil N°4 se ubica en el Este de la zona de estudio, sobre un filete de flujo de orientación NO-SE. En él se observan variaciones en el gradiente, encontrándose

planchado hacia el centro de la zona de estudio, aumentando significativamente hacia el Sureste de la misma. Esto se debe, en parte a la topografía, pero mayormente, al cambio de litologías, dominando materiales areno-gravosos en el ámbito fluvial, hacia el centro de la zona de estudio y materiales más finos de origen eólico al Este de la misma.

El perfil N°5 se ubica en el centro de la zona de estudio, en ámbito puramente fluvial, y refleja el bajo gradiente que caracteriza a este sector, donde la superficie freática copia la topografía, encontrándose en nivel freático a menos de 25 m de profundidad.

Los perfiles de depresión fueron de gran utilidad para el cálculo de gradientes precisos para ser utilizados en el cálculo de la velocidad real efectiva del acuífero libre.

### Cálculo de gradientes hidráulicos

En general se observa una importante variación en los gradientes hidráulicos, ocasionados por la morfología ondulada de la superficie freática, observándose en el centro de la zona de estudio los menores valores entre 0,2 y 0,5% y hacia el SE de la misma los más elevados, alcanzando gradientes de hasta 1,5%.

Para realizar el cálculo de la velocidad real efectiva del agua en el acuífero, se utilizaron los gradientes hidráulicos calculados sobre tres filetes de flujo, ubicados en diferentes ambientes definidos para la zona de estudio.

Fueron seleccionados P1, P2 y P5, utilizando para cada una de ellas las diferencias de profundidades del nivel freático en función de la longitud de la línea de flujo seleccionada y se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 6.1) mediante la ecuación:

$$i = \Delta h / \Delta l$$

**Tabla 6.1:** Gradientes hidráulicos, de los filetes de flujo 1, 2 y 5.

Líneas de Flujo	$\Delta h$ (m)	$\Delta l$ (m)	i	i (%)
1	30	4910	0,006	0,6
2	50	5141	0,009	0,9
5	20	3710	0,005	0,5

### Cálculo de velocidad real efectiva del acuífero freático

Para el cálculo de la velocidad real efectiva del agua subterránea en distintos sectores de la zona de estudio, teniendo en cuenta la variación de los materiales que componen el subsuelo de la misma, se utilizó la fórmula de velocidad de Darcy modificada.

$$V_{re} = K \cdot i / pe$$

Donde

**V<sub>re</sub>**: velocidad real efectiva (m/d)

**K**: conductividad hidráulica (m/d)

**i**: gradiente hidráulico.

**pe**: porosidad efectiva.

Los valores de conductividad hidráulica (**K**) y porosidad efectiva (**pe**), fueron calculados, por medio de tablas (tablas 6.2 y 6.3), como un valor ponderado, a partir del cálculo de cada estrato que compone la columna estratigráfica del acuífero libre

**Tabla 6.3:** Valores de porosidad en acuíferos (Brassington, 2007).

Material	Porosity (%)	Specific yield (%)	Fraction of porosity producing specific yield
Coarse gravel	28	23	0.80
Medium gravel	32	24	0.75
Fine gravel	34	25	0.73
Coarse sand	39	27	0.69
Medium sand	39	28	0.7
Fine sand	43	23	0.53
Silt	46	8	0.17
Clay	42	3	0.07
Dune sand	45	38	-
Loess	49	18	0.37
Peat	92	44	0.48
Till (mainly silt)	34	6	-
Till (mainly sand)	31	16	-
Till (mainly gravel)	-	16	-
Fine-grained sandstone	33	21	0.54
Medium-grained sandstone	37	27	0.64
Limestone	30	14	0.47
Dolomite	26	-	-
Siltstone	35	12	-
Mudstone	43	-	-
Shale	6	-	-
Basalt	17	-	-
Tuff	41	21	0.51
Schist	38	26	-
Gabbro (weathered)	43	-	-
Granite (weathered)	45	-	0.80

**Tabla 6.2:** Valores de k según el tipo de material (Custodio y Llamas, 1983).

Material	K [cm/seg]	K [m/día]
Grava limpia	>1	>1.000
Arena gruesa limpia	1 a 0,001	1.000 a 10
Mezcla de arena	10 <sup>-2</sup> a 5*10 <sup>-3</sup>	10 a 5
Arena fina	5*10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-3</sup>	5 a 1
Arena limosa	2*10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-4</sup>	2 a 0,1
Limo	5*10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	0,5 a 0,001
Arcilla	<10 <sup>-6</sup>	<0,001

En base a estos valores de conductividad y porosidad efectiva, se llevo a cabo cálculo de velocidades en sectores específicos, donde se contaba no solo con la información de la litología, procedente de los perfiles de subsuelo, sino también con valores de gradientes hidráulicos calculados para ese sector.

Los gradientes hidráulicos, tal como se mencionó anteriormente, fueron calculados sobre filetes de flujo estratégicos, situados en los sectores considerados de interés, uno en ambiente eólico (Filete de flujo N°1), otro en ambiente fluvio-eólico (Filete de flujo N°2) y el último en ambiente fluvial (Filete de flujo N°5).

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Tabla 6.4).

**Tabla 6.4:** Velocidad real efectiva calculadas para los filetes de flujo 1, 2 y 5.

Líneas de Flujo	K (m/d)	I (%)	pe	Vre(m/d)
1	4,65	0,6	14,4	0,19
2	35	0,9	20,4	1,5
5	50	0,5	25,5	0,98

Las velocidades calculadas reflejan una importante variación de un sector a otro, exhibiendo en el ambiente eólico de La Invernada una velocidad de 0,19 m/d, en el ambiente fluvio-eólico al NE de la zona de estudio de 1,5 m/d y en el ambiente fluvial 0,9 m/d.

El principal factor que influye en la variación de las velocidades entre el ambiente eólico y el fluvial, las cuales presentan gradientes similares, corresponde a la conductividad hidráulica. La misma, en ambiente fluvial, es del orden de 40 m/d, mientras que en la planicie eólica de La Invernada no supera los 5 m/d. Por otro lado, entre el ambiente fluvio-eólico y fluvial, que presentan similares granulometrías, se observa una importante variación en el gradiente, siendo mayor en la "planicie fluvio-eólica fuertemente ondulada", ubicada al NE de la zona de estudio, donde se realizó el cálculo de la velocidad, sobre el filete de flujo N° 2.

#### 6.2.2.2-Acuífero confinado

Si bien no se cuenta con detalles de las litologías del subsuelo en numerosos sectores del área de estudio, en uno de los campos se pudo censar una perforación surgente. Se desconoce su profundidad y litología atravesada. Dada la surgencia (1,5 m) (Fig. 6.30) se interpreta el confinamiento de la capa acuífera explotada. Puede destacarse que de acuerdo a los antecedentes, es el pozo surgente más occidental detectado en el Sur de Córdoba (Blarasin et al., 2014).



**Figura 6.30:** Pozo de carácter surgente, ubicado al SE de la zona de estudio, muy próximo a la fluvial del río Cuarto.

# *CAPÍTULO 7*

## *Hidroquímica Regional y Local*

---



## 7.1- Introducción:

Los cuerpos de agua presentan distintas especies químicas en solución y su salinidad total está determinada por la presencia de las mismas.

Los constituyentes que se encuentran en el agua subterránea, tienen su origen en el contacto que se produce en el trayecto entre el área de recarga hasta la de descarga, entre el agua y los diversos sólidos, líquidos y gases presentes en el medio. Así, los constituyentes del agua son un reflejo de la composición química de las aguas de infiltración, del tiempo de tránsito, de la litología de los materiales atravesados y de diversas sustancias que pudieran incorporarse al medio.

Los constituyentes considerados mayoritarios en la composición de las aguas subterráneas son:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{CO}_3^{-2}$ ),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^+$ . Los elementos minoritarios incluyen a:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , y los traza a: As, Sb, Cr, Cu, Ni, Zn, entre otros.

Dado que los constituyentes presentes en el agua, están sujetos a procesos y reacciones que tiene lugar durante el flujo de las aguas subterráneas y que estos están influenciados por factores endógenos y exógenos al sistema (Díaz Delgado et al., 2005), cada ión esta sujeto a las posibilidades de sufrir procesos de intercambio, precipitación, oxidación, etc., variando de forma significativa su concentración en el agua, modificando así, sus aptitudes de uso.

En general, el agua subterránea a medida que circula a través de los materiales que componen el subsuelo, interacciona con él incorporando diferentes iones, aumentando su mineralización, variando su carácter geoquímico desde aguas bicarbonatadas, a sulfatadas y finalmente cloruradas, en función del  $K_{ps}$  de las sales de estos aniones.

La incorporación de los diferentes iones que determina la composición química del agua, se encuentra controlada por importantes factores geológicos, tales como la litología, porosidad de los materiales, el relieve, tipo de suelo, vegetación, entre otros. Estos factores controlan las facies hidroquímicas dominantes en una región, es decir, el tipo de agua.

### ❖ **Ión Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )**

El ión cloruro en aguas subterráneas procede fundamentalmente del aporte atmosférico a través de precipitaciones. Las sales de este ión se caracterizan por presentar  **$K_{ps}$**  muy elevados, con lo cual es un elemento muy estable formando

soluciones y no precipita en los acuíferos. Se lo considera un ión conservativo por excelencia, debido a que tampoco se oxida, ni se reduce en aguas naturales.

#### ❖ **Ión Sulfato ( $SO_4^{-2}$ )**

El ión sulfato procede fundamentalmente del aporte por disolución de sales sulfatadas (principalmente yeso y anhidrita). Es un ión muy estable, forma sales moderadamente solubles a muy solubles y precipita químicamente en aguas naturales con mayor dificultad, encontrándose también sujeto a procesos de reducción, en presencia de bacterias y MO.

#### ❖ **Ión Bicarbonato y Carbonato ( $HCO_3^-$ y $CO_3^{-2}$ )**

La concentración en aguas subterráneas de ambos elementos, está sujeta a los valores de pH y presiones del agua. Procede principalmente de la disolución del  $CO_2$  de la atmósfera, que reacciona con el agua para formar carbonatos y bicarbonatos. Además puede derivar del aporte de la disolución e hidrólisis de los carbonatos presente en los materiales que componen la fase sólida del acuífero. No son oxidables o reducibles en las aguas naturales, pero pueden precipitar con facilidad como  $CaCO_3$ , debido a sus **Kps** muy bajos (iones muy poco solubles).

#### ❖ **Ión Calcio ( $Ca^{+2}$ )**

Es un elemento que forma sales moderadamente solubles a muy solubles. Ante cambios de pH o presión parcial de  $CO_2$  se puede disolver con facilidad o precipitar como  $CaCO_3$ . Su presencia en aguas subterráneas se debe principalmente al aporte de los materiales de subsuelo, debido a procesos de disolución de  $CaCO_3$  e hidrólisis de silicatos.

#### ❖ **Ión Magnesio ( $Mg^{+2}$ )**

Este ión, forma principalmente sales moderadamente solubles a muy solubles, por lo que es difícil de precipitar. Es menos abundante que el calcio pero presentan características y comportamientos químicos similares. Procede fundamentalmente de la disolución de rocas carbonatadas, como dolomías y calizas magnesianas, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos.

#### ❖ **Ión Sodio (Na<sup>+</sup>)**

El ión sodio, se caracteriza por ser un elemento que forma sales de elevada solubilidad, con lo cual difícilmente precipita, viéndose afectado fácilmente por el intercambio de bases. Procede fundamentalmente del aporte de la hidrólisis de silicatos sódicos y del proceso de intercambio catiónico (CIC), principalmente de arcillas como illita, las cuales retiene el calcio en sus estructuras cristalinas liberando Na<sup>+</sup>.

#### ❖ **Ión Potasio (K<sup>+</sup>)**

Forma sales muy solubles, por lo tanto es un ión difícil de precipitar. Al igual que el sodio, se ve fácilmente afectado por el intercambio de bases. Procede principalmente de la meteorización de los feldespatos y tiende a ser fijadas en la formación de arcillas de forma poco reversible, además de sufrir la adsorción en la superficie de algunos minerales o MO.

La presencia y concentración de cada uno de estos elementos constituyentes, depende en principio del factor atmosférico, que aporta un escaso contenido iónico. Luego de su infiltración, comienzan a regir las reacciones biogeoquímicas, entre las fases sólida y gaseosa en la zona no saturada, y finalmente las interacciones agua-roca o agua-sedimento y las características de la zona saturada (Díaz Delgado et al., 2005).

Dado que el conocimiento de los procesos físicos, químicos y microbiológicos que ocurren en los distintos niveles de un acuífero, es de gran interés para conocer y solucionar los problemas relacionados con la protección y uso de las aguas subterráneas, se realizará para la zona de estudio, un análisis detallado de las características hidroquímicas del acuífero libre, su carácter geoquímico y los factores que determinaron su evolución, y su relación con el entorno geomorfológico y litológico del área.

### **7.2- Hidroquímica Regional**

El acuífero libre analizado, para todo el Sur de la provincia de Córdoba, exhibe una evolución natural del agua desde aquellas zonas más altas, ubicadas en la Sierra de Comechingones hasta las más deprimidas situadas al Este provincial (Blarasin y Cabrera, 2005). En su transporte a través de diferentes litologías y ambientes, el agua desarrolla una evolución hidrogeoquímica, aumentando progresivamente su contenido salino. Según Blarasin y Cabrera (2005), esto ocasiona un cambio gradual del tipo geoquímico desde



**Tabla 7.1:** Análisis físico-químico del agua superficial de la zona de estudio.

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	As	F-	NO3-
Muestra		[ $\mu$ S/cm]	[mg/L]	[ $\mu$ g/L]	[mg/L]	[mg/L]								
ARc1	7,6	268	187,6	0	125	22,4	22,9	24,3	0,4	24,8	4,9	4	0,3	0
ARs1	8,8	144	100,8	2,4	67,5	22,4	5,7	14,2	1,0	16,8	6,8	3	0,8	0

El agua del río Alpa Corral-Barrancas-Seco, presenta un agua dulce de 100,8 mg/L de SDT, clasificada como bicarbonatada cálcica-sódica, según el criterio de Custodio (1993), que clasifica el agua según los iones dominantes, donde se nomina al grupo del anión o catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas, y cuando superan este porcentaje se nombran las dos mas abundantes.

El agua perteneciente al río Cuarto, presenta también un agua dulce, de 187,6 mg/L de SDT, clasificada como bicarbonatada cálcica-sódica, según Custodio (1993).

## 7.3.2- Hidroquímica subterránea

### 7.3.2.1- Acuífero Libre

#### 7.3.2.1.1- introducción

Para la caracterización hidroquímica del acuífero libre de la zona de estudio se tomaron un total de 29 muestras de agua subterránea, sobre las cuales se efectuaron mediciones in situ de CE (conductividad eléctrica), pH, T°, OD (oxígeno disuelto) y ORP (potencial redox), mediante sonda multiparamétrica (Fig. 7.2). En laboratorio se analizaron los componentes mayoritarios, además de la concentración de Arsénico, Flúor y Nitratos de cada una de ellas, mediante diferentes técnicas específicas (Fig. 7.3).

Los datos obtenidos en campo y laboratorio, presentes en la tabla 7.2, permitieron analizar parámetros de interés y confeccionar mapas para su interpretación.



**Figura 7.2:** A, C y D- medición in-situ de parámetros físico-químicos. B- Extracción de muestra para posterior tratamiento en laboratorio

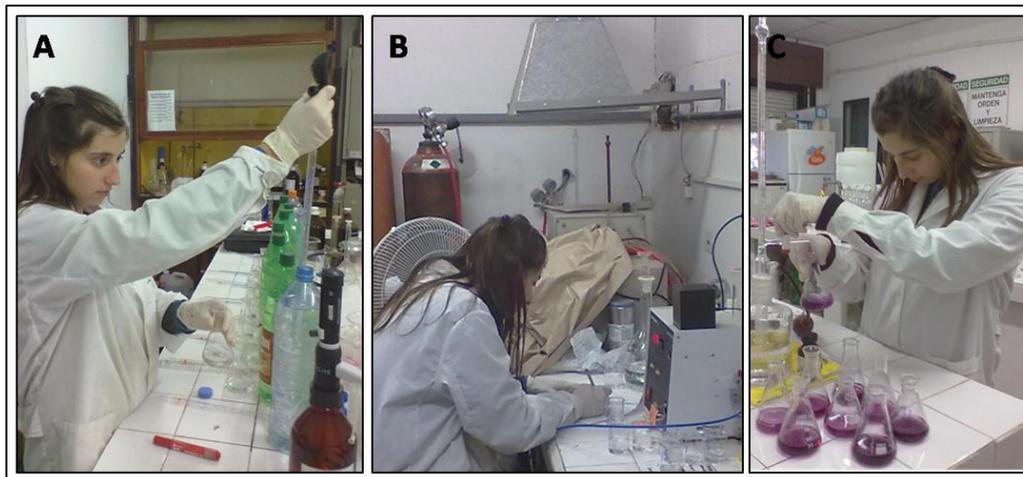


Figura 7.3: A- Extracción de muestra para posterior análisis químico. B- Medición de Na y K. C- Medición de Ca y Mg, realizadas en el laboratorio

Tabla 7.2: Análisis físico-químico del agua subterránea. Acuífero libre (29 muestras).

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	As	F-	NO3-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]											
B1	8,0	407	284,9	0	247,5	22,4	11,4	35,4	5,4	51,2	12,2	10	0,3	14
B3	7,2	176	123,2	0	90,0	20,8	11,4	12,4	3,4	19,2	7,3	5	0,4	7
B4	7,7	208	145,6	0	110,0	12,2	8,6	22,2	3,8	23,2	8,8	8	0,5	7
B8	8,0	249	174,3	0	155,0	19,7	7,1	29,5	7,3	21,6	8,8	20	0,7	4,5
B9	7,4	166	116,2	0	80,0	7,9	8,6	6,1	3,1	25,6	1,5	2	0,3	5
B10	8,1	318	222,6	0	90,0	61,9	14,3	30,3	5,0	44,0	0,5	5	0,4	1,9
B11	8,0	2420	1694	0	180,0	1117,4	31,4	500,5	17,7	145,6	5,4	15	0,6	11
B13	8,0	909	636,3	0	100,0	314,3	38,6	117,3	12,2	110,4	3,4	15	0,4	6
B14	7,7	2597	1817,9	0	470,0	1029,7	54,3	673,4	18,8	104,0	1,5	40	1,0	115
B15	8,4	333	233,1	0	146,3	21,2	8,6	39,4	4,7	13,6	2,9	20	0,4	1
B16	7,8	148	103,6	0	85,0	13,0	5,7	10,1	3,5	19,2	3,9	1	0,3	0
B18	8,1	872	610,4	0	140,0	328,6	17,1	197,2	8,2	35,2	12,7	17	0,7	0
B19	7,7	2347	1642,9	0	115,0	1287,3	102,9	239,6	16,7	326,0	24,4	4	0,3	4
B20	7,8	4450	3115	0	193,8	2495,1	137,1	962,6	18,5	410,0	74,4	10	0,4	21
B21	7,9	1626	1138,2	0	570,0	309,5	61,4	307,4	5,1	70,4	24,9	4	0,8	23
B22	8,1	289	202,3	0	82,5	60,8	11,4	18,2	4,4	37,6	7,8	3	0,5	0
B23	8,1	375	262,5	0	152,5	26,7	11,4	20,2	6,0	34,4	13,7	5	0,4	2
B24	8,3	525	367,5	0	292,5	32,6	11,4	96,1	4,2	33,6	9,3	35	0,6	10
B25	7,2	76,8	53,76	0	32,5	8,3	2,9	5,6	1,2	8,0	2,4	2	0,5	2
B26	7,9	841	588,7	0	192,5	238,7	25,7	141,6	7,6	62,4	12,7	8	0,5	12
B27	8,0	741	518,7	0	255,0	152,1	14,3	129,4	7,5	35,2	4,9	12	0,5	4
B28	8,0	274	191,8	0	167,5	14,6	11,4	32,4	3,8	26,4	2,9	5	0,7	4
B29	8,2	375	262,5	0	165,0	25,6	11,4	44,5	5,1	33,6	2,9	8	0,6	5
B30	7,9	740	518	0	212,5	143,2	22,9	81,9	7,0	72,8	8,3	4	0,6	14
B32	8,2	129	90,3	0	67,5	20,5	5,7	7,6	3,4	17,6	2,0	4	0,3	6
B33	7,9	555	388,5	0	250,0	41,7	12,9	43,5	6,6	67,2	9,3	5	0,3	23
B34	8,0	579	405,3	0	252,5	64,9	11,4	101,1	6,7	36,8	5,9	12	0,6	22
B35	8,0	1380	966	0	185	595,9	40,0	182,0	1,5	140,0	5,4	9	0,3	0
B36	7,0	232	162	0	127,5	21,6	1,4	17,2	5,0	28,0	4,4	2	0,5	4,6

### **7.3.2.1.2- Conductividad Eléctrica**

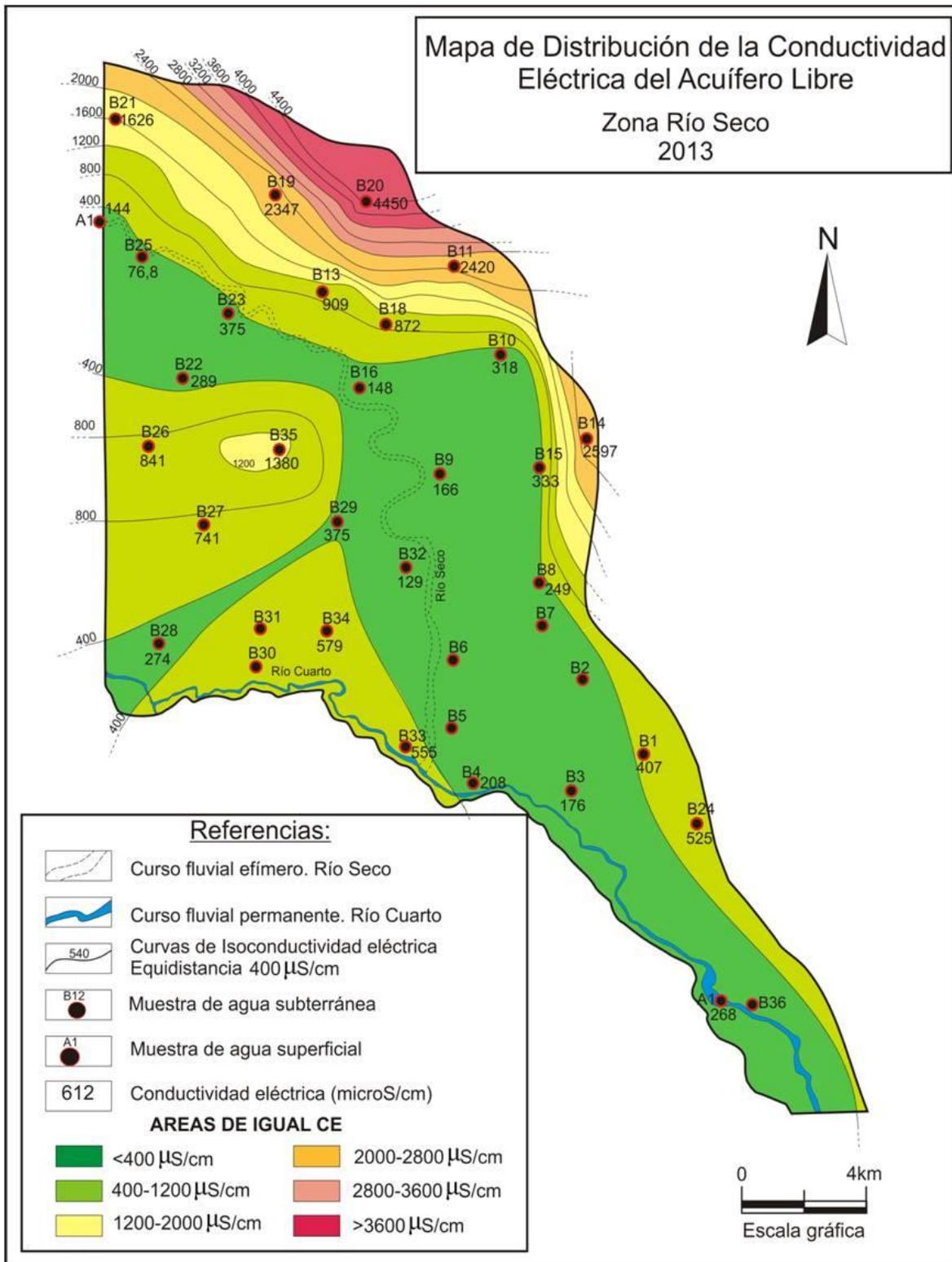
Se trataron los datos de CE, como parámetro indicativo de la salinidad del agua, con el fin de elaborar e interpretar un mapa de distribución de la misma en el acuífero libre (Fig. 7.4).

Los datos obtenidos reflejan que el 97% de las muestras corresponden a aguas dulces, encontrándose valores entre 76,8 y 2.597  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE, destacándose una única muestra con valor muy superior al resto (4.450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), correspondiente a aguas saladas. En el mapa se puede observar que los valores más bajos de CE se concentran en el centro de la zona de estudio y en una importante franja al Sur de la misma, aumentando hacia los bordes.

Dado que no se observa en la distribución de CE, una típica evolución en el sentido del flujo, se interpreta que dicha distribución areal, se podría vincular a las diferentes unidades geomorfológicas definidas y a los materiales que componen las mismas, coincidiendo los valores más bajos de CE con las unidades de origen fluvial, los intermedios a las unidades eólicas y fluvio-eólicas, y los más elevados a los sectores estructuralmente ascendidos, y con cubiertas eólicas potentes.

Al analizar detalladamente la relación entre la distribución de CE y las unidades geomorfológicas descritas para la zona, se observa un notorio cambio de conductividades al ingresar a las unidades estructuralmente elevadas al NE de la zona de estudio, donde los espesores de zona no saturada sobrepasan los 100 m de profundidad, encontrándose conformados por potentes espesores de materiales limo-arenosos de origen eólico.

Por otro lado, se destacan las fajas fluviales de ambos ríos y el abanico aluvial del río Seco, por encontrarse allí los menores valores de CE, presentando valores extremadamente bajos, que no superan los 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esto podría deberse a la gran velocidad real efectiva que presenta el acuífero en este sector, disminuyendo notoriamente el tiempo de contacto agua-sedimento e impidiendo que los constituyentes mayoritarios entren en solución con el agua.



**Figura 7.4:** Mapa de distribución de las Conductividades Eléctricas. Zona de Río Seco, 2013.

### **7.3.2.1.3- Clasificación Geoquímica**

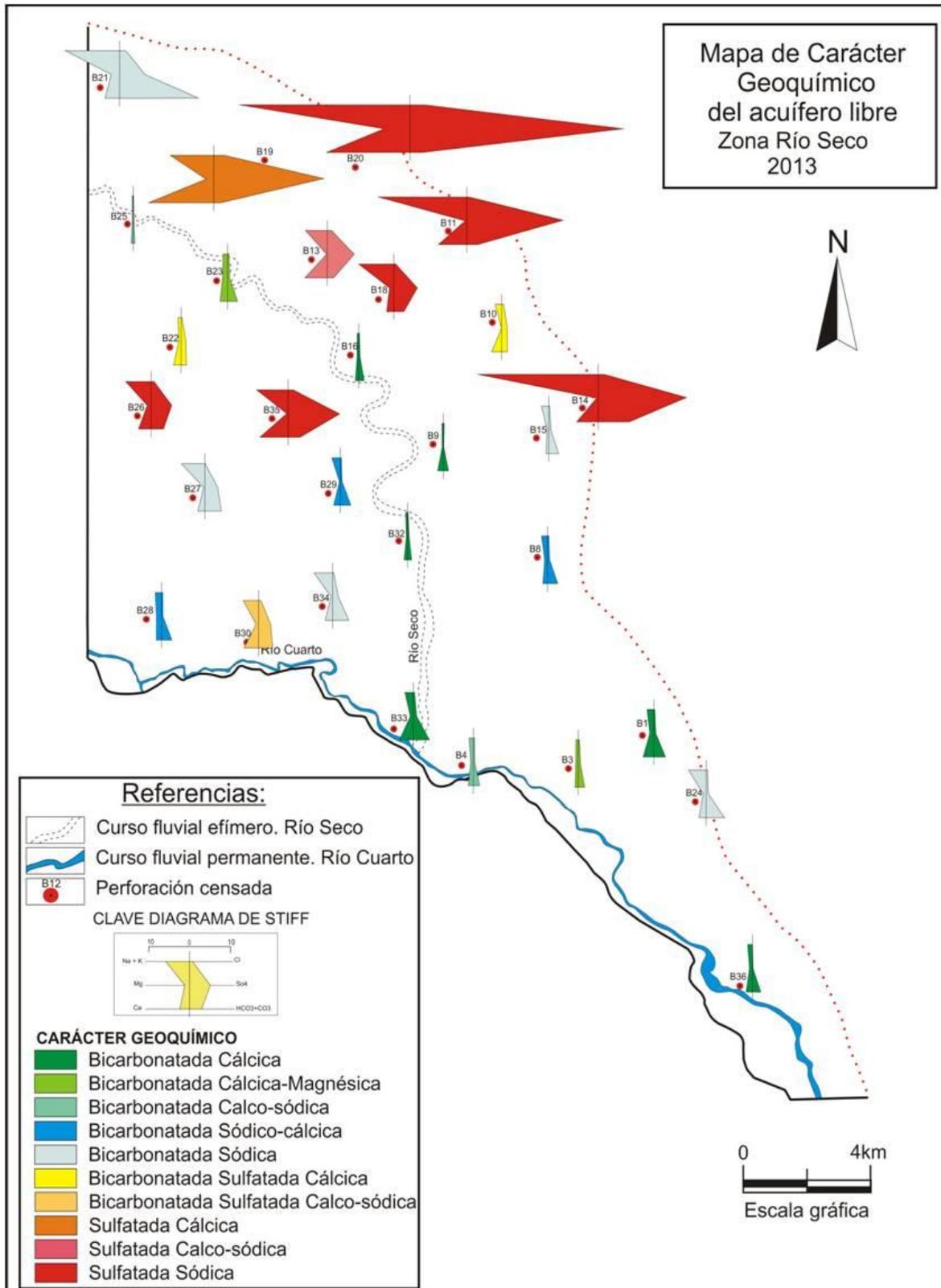
En base a los datos obtenidos en laboratorio, se realizaron los diagramas de Stiff modificados, compuestos por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Se colocan todos los cationes ( $K^+ + Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ) a la izquierda del eje vertical y todos los aniones ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^- + CO_3^{-2}$ ) a la derecha del mismo. Los ejes horizontales que constituyen cada ión, se encuentran en la misma escala, y representan las concentraciones dadas en meq/L. El conjunto de diagramas, se expresan en el mapa de la zona (Fig. 7.5), con el objetivo de visualizar rápidamente la variación espacial del carácter geoquímico del agua del acuífero libre, y la distribución de la salinidad del agua.

Para realizar la clasificación del carácter geoquímico de las aguas se utilizó la clasificación de Custodio (1993) explicada ya en la hidroquímica superficial.

A partir de esto, resultaron 10 grupos: sulfatadas sódicas (6 muestras= 20,7 %), bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas (5 muestras por grupo= 17,2 %), bicarbonatadas cálcicas-sódicas y bicarbonatadas sódico-cálcicas (3 muestras por grupo= 10,3 %), bicarbonatadas sulfatadas-cálcicas y bicarbonatadas cálcicas-magnésicas (2 muestras por grupo= 6,9 %), bicarbonatadas sulfatadas cálcicas-sódicas, sulfatadas cálcicas y sulfatadas cálcicas-sódicas (1 muestra por grupo= 3,4 %).

Tal como ocurre con las conductividades eléctricas, los caracteres geoquímicos menos evolucionados, es decir aguas bicarbonatadas, se encuentran presentes en los sectores de dominio fluvial, próximos a las fajas fluviales de los ríos Seco y Cuarto, y en el ámbito del abanico aluvial del río Seco, donde dominan los materiales arenosos gruesos y gravosos. Por su parte, las aguas sulfatadas se distribuyen en las zonas con dominio eólico y fluvio-eólico, donde la salinidad es mayor y los materiales son más finos y homogéneos, lo cual implica que al ser sedimentos menos permeables, el agua tiene mayor probabilidad de adquirir iones en su contacto con la fase sólida del acuífero.

En cuanto a los cationes mayoritarios, se observa una importante variación, dando una gran multiplicidad de caracteres geoquímicos. Esto se debe a la complejidad de materiales que conforman el subsuelo, dominando el calcio, hacia el centro y sur de la zona de estudio, donde se exhiben los ambientes fluviales, y el sodio en los bordes de la misma donde los materiales loésicos conforman grandes espesores.



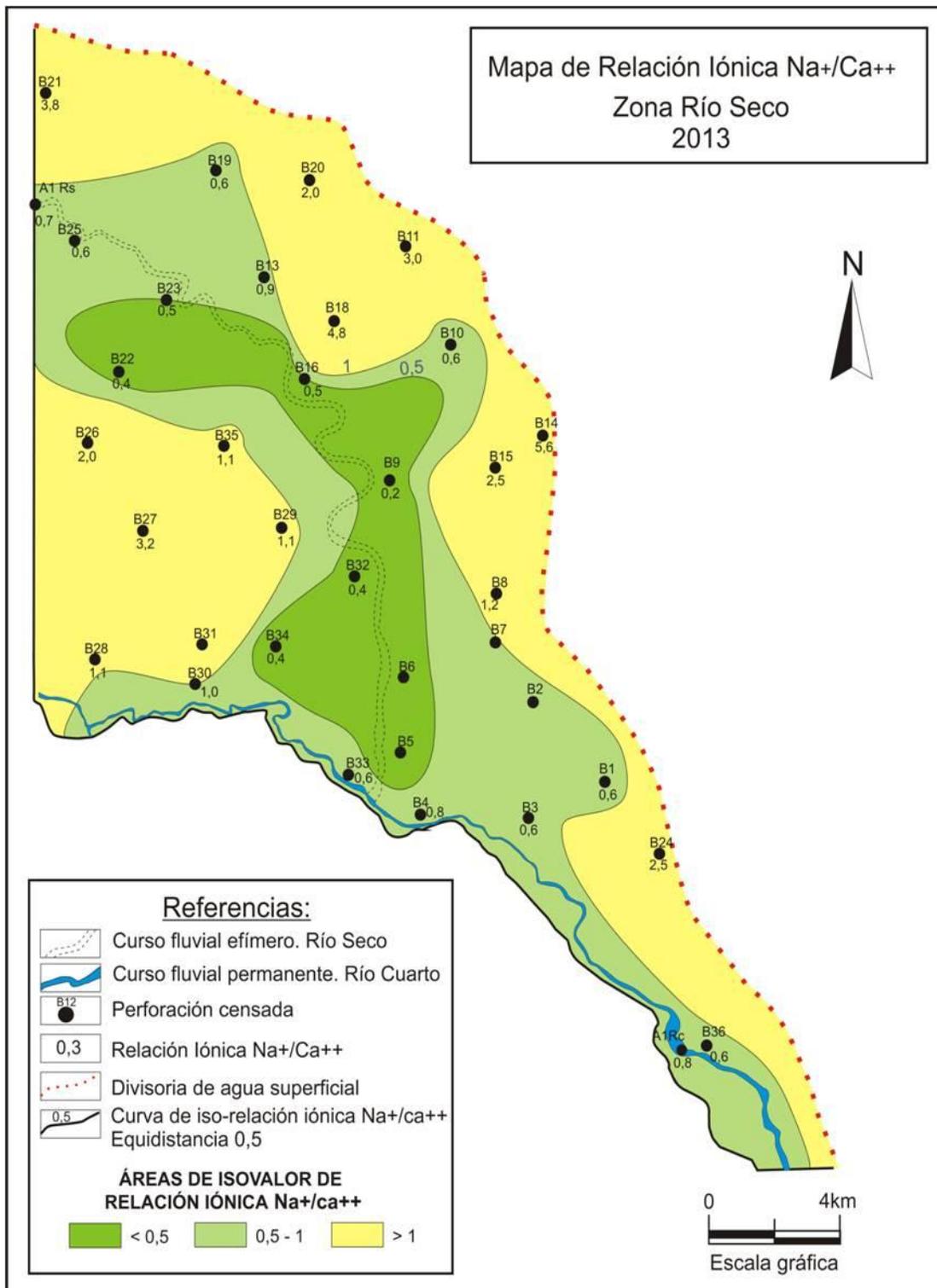
**Figura 7.5:** Mapa de clasificación geoquímica del acuífero libre y confinado. Zona río Seco, 2013.

#### **7.3.2.1.4- Análisis de la relación iónica $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$**

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidrogeoquímicos tiene como objetivo ayudar a identificar los aspectos relacionados con las reacciones físico-químicas que han tenido lugar en las aguas subterráneas, como resultado de mezclas de diferentes aguas o de la interacción agua-sedimento y permite caracterizar el funcionamiento del acuífero de manera de seguir los procesos de concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo (disolución-precipitación, intercambio iónico, dirección del aumento de la mineralización).

A partir de las relaciones iónicas calculadas se realizó un mapa de isolíneas de la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$  (Fig. 7.6), para visualizar fácilmente las variaciones en concentración del catión dominante, en función de los procesos físico-químicos que ocurren en la zona.

De las 29 muestras analizadas, se observó un aumento de la relación, desde el centro de la zona de estudio, hacia los bordes de la misma, indicando un dominio de  $\text{Ca}^{+2}$  en los sectores donde el acuífero está constituido por materiales areno-gravosos, en ámbito fluvial. En ámbitos de sedimentos eólicos o fluvio-eólicos, domina el ión  $\text{Na}^+$  dado la alta capacidad de intercambio de los materiales más finos.



**Figura 7.6:** Relación Iónica r Na<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup>. Zona Río Seco, 2013.

### 7.3.2.1.5- Elementos minoritarios y trazas: Arsénico, Flúor y Nitratos

A través del análisis geoquímico realizado, se detectó la presencia arsénico, flúor y nitratos, como compuestos minoritarios y trazas del agua subterránea, en la zona de estudio.

#### **Arsénico**

Casi la totalidad del arsénico contenido en el agua subterránea en nuestra región, tiene un origen natural, producto de la alteración de vidrios volcánicos que contienen este elemento o bien de la desorción de arseniatos desde la superficie de óxidos de Fe u otros. La presencia de este elemento está vinculada a erupciones volcánicas y a la actividad hidrotermal en la Cordillera de los Andes, de los últimos 5 millones de años, que ha dado lugar a minerales o vidrio volcánico que forman parte de las acumulaciones de Loess Pampeano.

Según Nicolli et al. (1985, 2005 y 2007) y Nicolli (2006) la fuente de As de los sedimentos en la llanura Chaco Pampeana sería el vidrio volcánico del loess; este mineraloide ha sido identificado para la región del Sur de Córdoba en muy altos porcentajes (Blarasin 1984; Hernández 1984), por lo tanto sería el responsable de la presencia de este elemento en el agua subterránea de la zona de estudio.

La movilidad del As depende esencialmente de las condiciones redox y del pH del agua. En medio oxidante, que es el que prevalece en las aguas subterráneas freáticas, el arsénico está disuelto en forma de  $As^{+5}$  (arseniato), siendo la especie dominante el  $AsHO_3$  para pH menor de 7 y  $AsHO_4^{-2}$  para pH mayores. Estas condiciones favorecen también la disolución de F, B, V, Se y U. Bajo condiciones reductoras, el arsénico se presenta predominantemente como  $As^{+3}$  (arsenito), que es su forma más tóxica, componiendo el radical  $AsH_3O_3$ .

La presencia del As en el acuífero depende principalmente de la disponibilidad de As de los materiales del acuífero o de la introducción del mismo por fuentes contaminantes, de los procesos de movilización/retención en la interfase sólido-líquido y del transporte de As disuelto en el agua (Smedley 1996).

En el acuífero libre estudiado, se observó presencia de As en toda el área, encontrándose en concentraciones variables que no superan los 40  $\mu g/L$ . Los valores más elevados se encuentran asociados a depósitos de tipo loésicos, en sectores elevados estructuralmente, con cubierta eólica significativa. Los valores más bajos se encuentran asociados a la faja fluvial del río Seco y Cuarto y en ámbito del abanico aluvial del río

Seco, correspondientes a sectores donde dominan materiales areno-gravosos de elevada conductividad hidráulica, en los cuales se desarrollan condiciones de flujo comparativamente rápido, generando un escaso tiempo de contacto agua-sedimento, provocando que el As sea difícilmente incorporado y se mantenga en bajas concentraciones en el agua.

Como se observa en el diagrama de cajas (Fig. 7.7), los valores de As, conforman una caja levemente asimétrica, con dos "outliers" de 35 y 40  $\mu\text{g/L}$  como valores máximos, correspondientes a las muestras B14 y B24, ubicadas en ámbito eólico y fluvio-eólico. El valor mínimo corresponde a 1  $\mu\text{g/L}$  y se encuentra en la muestra B16, ubicada en la faja fluvial del río Seco.

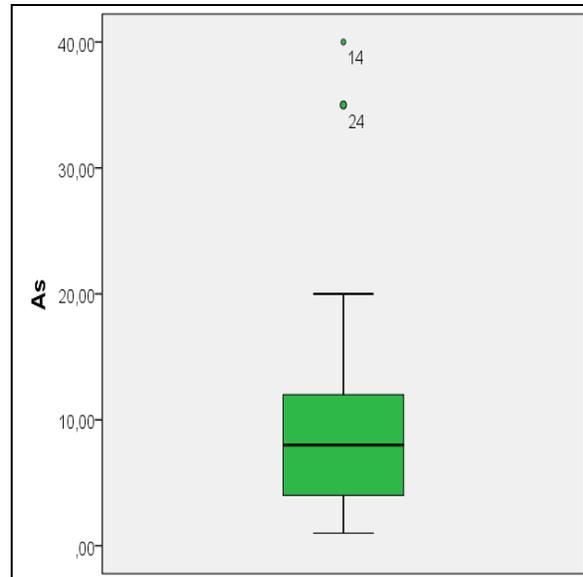
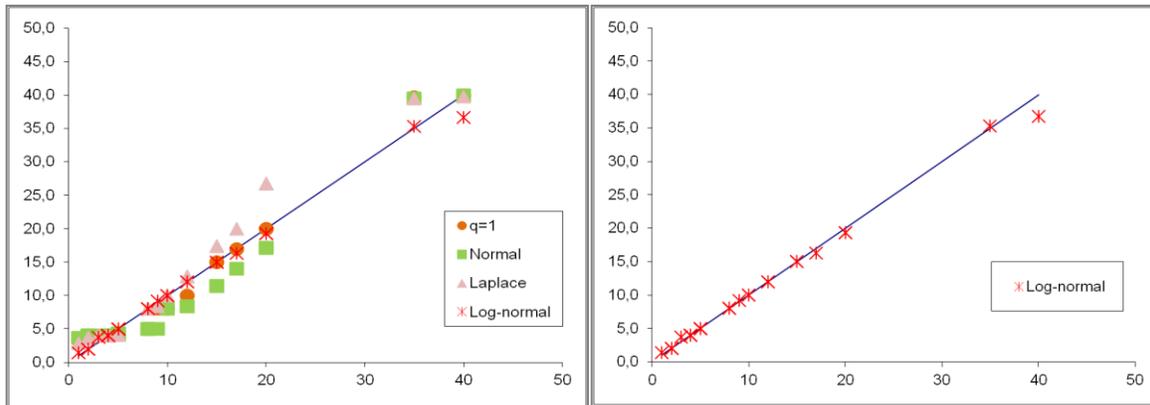


Figura 7.7: Diagrama de cajas para As.

En la zona de estudio, debido a diversos factores tales como el espesor de la zona no saturada, los materiales que dominan en el subsuelo, y el uso del territorio, se asume que el As presente en el agua subterránea proviene de un origen natural.

En este trabajo se analizó el ajuste del elemento As a las distribuciones normal, lognormal, de Laplace y la correspondiente a la nueva familia de localización simétrica  $f\theta$ , fijando  $\theta=1$ , como se sugiere en Blarasin et al. (2006). Los resultados de dicho análisis reflejan que los datos presentan un ajuste muy satisfactorio a la distribución lognormal. Como puede observarse en la figura 7.8, los mayores problemas se encuentran en los valores extremos. Esto podría deberse a que las distribuciones mencionadas corresponden a distribuciones simétricas, lo cual no es una característica de estos elementos químicos.



**Figura 7.8:** A. Arsénico, ajuste con distribución normal, lognormal, Laplace y  $\theta=1$ . B. Arsénico, ajuste con la distribución lognormal.

Se realizaron las estimaciones del parámetro de localización  $\mu$ , correspondiente a las cuatro distribuciones asumidas, los cuales figuran en la tabla 7.3.

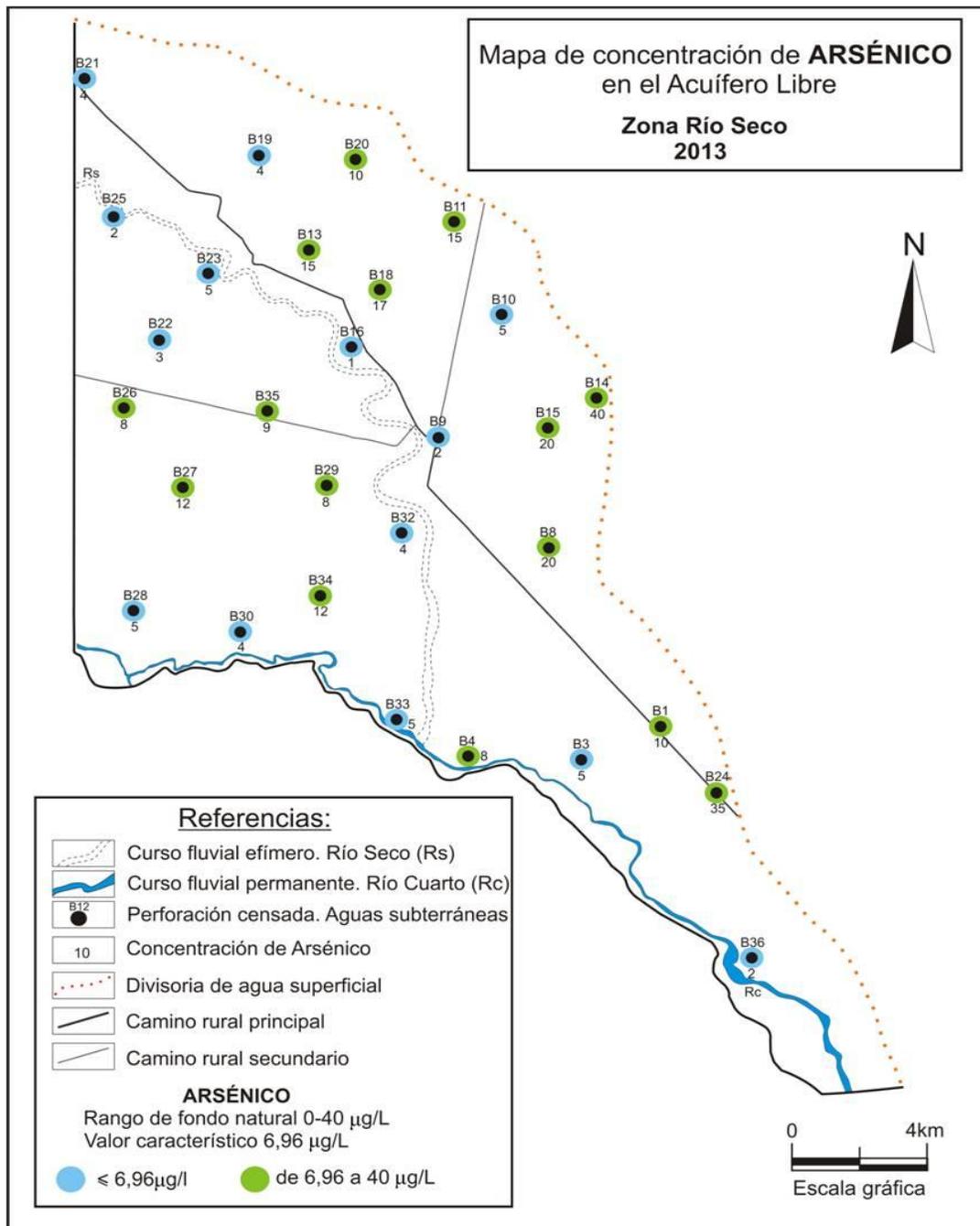
**Tabla 7.3:** Estimaciones de  $\theta$ , según las distintas distribuciones.

<b>Arsénico</b>	<b>Normal</b>	<b>media</b>	<b>10</b>
	<b>Lognormal</b>	<b>Media G</b>	<b>6,96</b>
	<b>Laplace</b>	<b>Mediana</b>	<b>8</b>
	<b>Mixtura</b>	<b>m*</b>	<b>8,79</b>

Tal como se observa en la tabla 7.3, los valores de parámetros de localización  $\mu$  son diferentes para cada distribución. Sin embargo, dado que la distribución lognormal es la que mejor se ajusta a las muestras de As para la zona de estudio, la media geométrica resulta ser el valor característico de fondo natural para el sector, con 6,96  $\mu\text{g/L}$ , con un rango de 0 a 40  $\mu\text{g/L}$ .

En base a este valor, se analizó la distribución de As en toda la cuenca (Fig. 7.9), considerando todas las muestras presentes, dado que poseen un origen natural. A partir de ellas, se establecieron dos rangos, uno compuesto por el valor característico de fondo natural y los inferiores a este, y otro con los valores del sector superior del intervalo que superan al valor característico.

Los valores que se encuentran en el sector superior del rango de fondo natural, se encuentran asociados a las aguas de carácter geoquímico bicarbonatadas y sulfatadas sódicas, mayormente en el ámbito eólico y fluvio-eólico de la zona de estudio.



**Figura 7.9:** Mapa de distribución de arsénico. Rangos (intervalos de clase) en función del valor característico de fondo natural, acuífero libre. Zona de Río Seco, 2013.

### Flúor

El flúor es un elemento relativamente abundante en la naturaleza y forma compuestos con la mayoría de los elementos. Su presencia en el agua subterránea se encuentra condicionada por diversos factores naturales. La litología que compone el subsuelo es

fundamental, dado que se sugieren como probables fuentes de este elemento en aguas para la llanura Chaco Pampeana, principalmente a fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) y fluorapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ), minerales muy comunes en los sedimentos loésicos típicos de la llanura y, en forma subordinada, a anfíboles, micas y piroxenos (Edmunds y Smedley 1996, Villalba 1999). Por otro lado se estima que gran parte del  $\text{F}^-$  podría proceder del vidrio volcánico contenido en el loess pampeano.

Usunoff (1998), establece que las variables principales que definen el mayor o menor grado de interacción del flúor con el medio sólido son: el pH, la solubilidad de los minerales portadores de flúor, la composición de las soluciones percolantes, el intercambio de Fluoruro por grupos  $\text{OH}^-$ , la presencia y tipo de óxidos, etc.

En el acuífero libre estudiado, se observaron diferentes concentraciones de  $\text{F}^-$  en toda el área, las cuales no superan el valor de 1 mg/L. Los valores más elevados se encuentran asociados a depósitos de tipo loésicos, con cubiertas eólicas potentes, mientras que los más bajos se encuentran asociados a la faja fluvial del río Seco y Cuarto y en ámbito del abanico aluvial del río Seco, similar a lo ocurrido con las concentraciones de As.

Como se observa en el diagrama de cajas, los valores de  $\text{F}^-$ , conforman una caja simétrica (Fig. 7.10), con un "outlier" de 1 mg/L como valor máximo, correspondientes a la muestra B14, ubicada en ámbito fluvio-eólico. El valor mínimo corresponde a 0,3 mg/L, el cual se repite en gran cantidad de muestras ubicadas principalmente, en la faja fluvial del río Seco y Cuarto.

Como se observa en el gráfico de la figura 7.11, los valores de  $\text{F}^-$  para la zona de estudio, se ajustan de forma muy satisfactoria a la distribución normal.

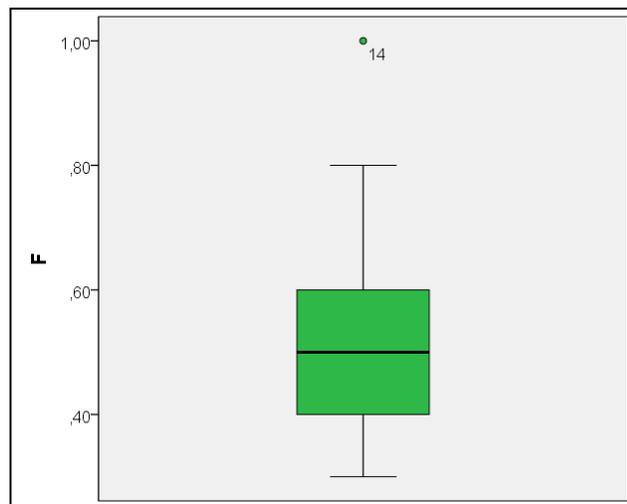
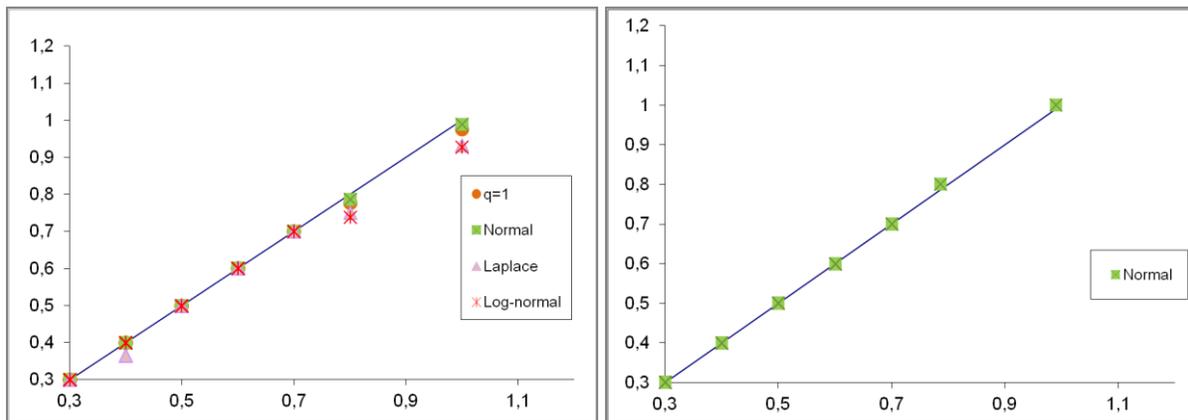


Figura 7.10: Diagrama de caja para  $\text{F}^-$ .



**Figura 7.11:** A. Flúor, ajuste con distribución normal, lognormal, Laplace y  $\theta=1$ . B. Flúor, ajuste con la distribución normal.

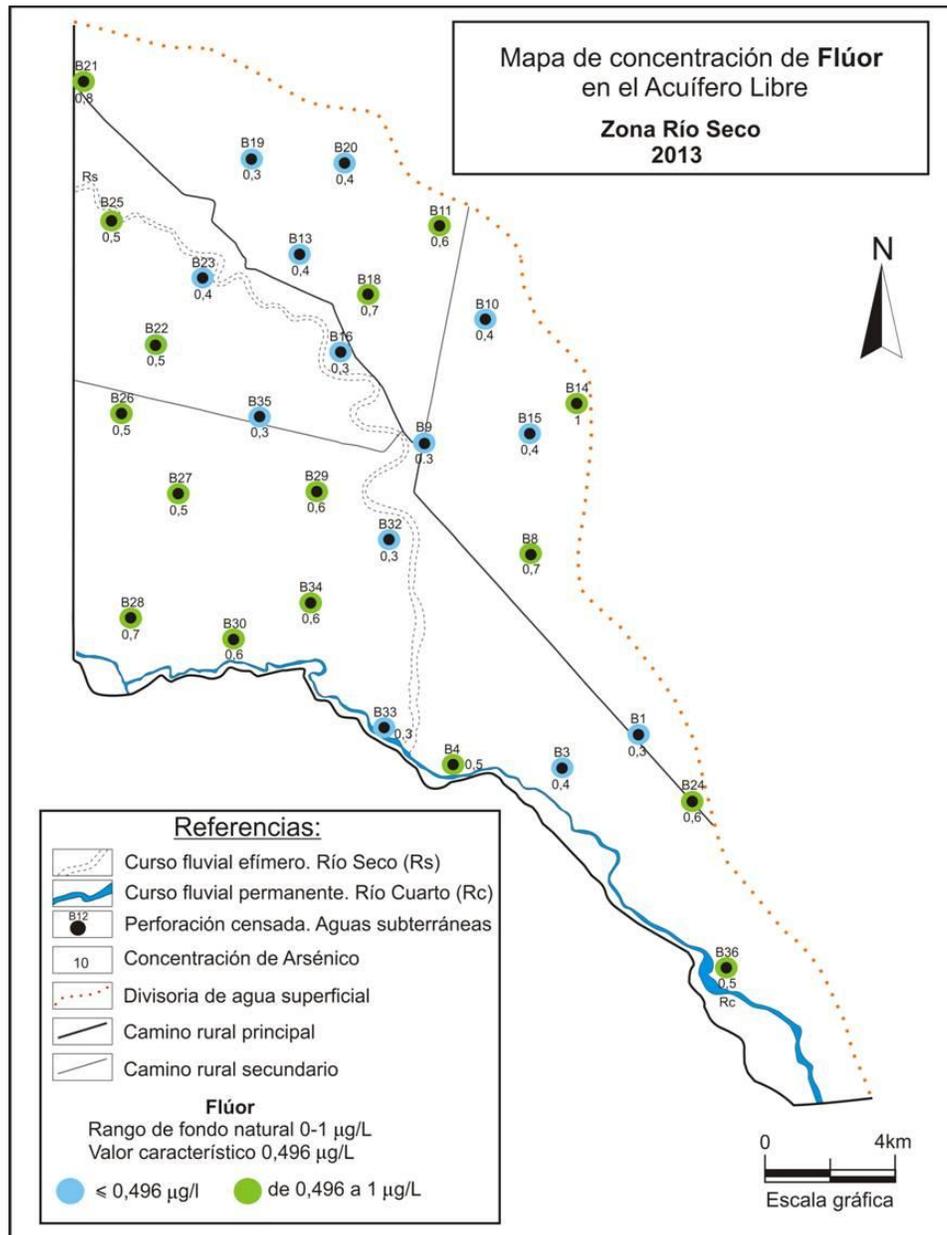
Tal como se observa en la tabla 7.4 los valores de parámetros de localización  $\mu$  son diferentes para cada distribución. Sin embargo, dado que la distribución normal es la que mejor se ajusta a las muestras de  $F^-$  para la zona de estudio, la media resulta ser el valor característico de fondo natural para el sector, con 0,496 mg/L y un rango de 0 a 1 mg/L.

**Tabla 7.4:** estimaciones de  $\theta$ , según las distintas distribuciones.

<b>Flúor</b>	<b>Normal</b>	<b>Media</b>	0,4966
	<b>Lognormal</b>	<b>Media G</b>	0,4694
	<b>Laplace</b>	<b>Mediana</b>	0,5000
	<b>Mixtura</b>	<b>m*</b>	0,4986

En base a este valor, se analizó la distribución de  $F^-$  en toda la cuenca (Fig. 7.12), considerando todas las muestras presentes, dado que poseen un origen natural. A partir de ellas, se establecieron dos rangos, uno compuesto por el valor característico de fondo natural y los inferiores a este, y otro con los valores del sector superior del intervalo que superan al valor característico.

Los valores más elevados de  $F^-$  medidos para la zona de estudio, si bien son bajos, en general se encuentran asociados a las aguas de carácter geoquímico bicarbonatadas y sulfatadas sódicas, mayormente en el ámbito eólico y fluvio-eólico de la zona de estudio.



**Figura 7.12:** Mapa de distribución de flúor. Rangos (intervalos de clase) en función del valor característico de fondo natural, acuífero libre. Zona de Río Seco, 2013.

En cuanto a la correlación entre flúor y arsénico en la zona de estudio es moderada, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,55, estadísticamente significativa al nivel 0,01 (1%) como se observa en la tabla 7.5. Se interpreta que esto se debe a la gran heterogeneidad de materiales de las unidades geomorfológicas, ya que como lo indican Blarasin 2003 y Blarasin et al. 2011, hay un importante condicionamiento litológico sobre

los tenores de F<sup>-</sup> y As en el agua, habiéndose observado que en ambientes de sedimentos eólicos que conforman paquetes homogéneos, la correlación es muy alta.

**Tabla 7.5:** Coeficiente de correlación entre As y F de Pearson, para las 29 muestras de la zona de estudio.

Correlaciones			
		As	F
<b>As</b>	Correlación de Pearson	1	,550**
	Sig. (bilateral)		0,002
	N	29	29
<b>F</b>	Correlación de Pearson	,550**	1
	Sig. (bilateral)	0,002	
	N	29	29
** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).			

### Nitratos

El ión nitrato es la forma termodinámica estable del nitrógeno combinado en los sistemas acuosos y terrestres oxigenados, de forma que hay una tendencia de todos los materiales nitrogenados a ser convertidos a nitratos en estos medios.

Los nitratos en las aguas subterráneas derivan, principalmente, de la descomposición natural de materiales orgánicos nitrogenados, como las proteínas de las plantas, animales y excretas, mediada por microorganismos. El ión amonio formado, se oxida a nitritos y nitratos según un proceso de oxidación biológica (nitrificación) (Pacheco y Cabrera Sansores 2003) Actualmente, una importante fuente de aporte proviene de las actividades humanas, a través de compuestos inorgánicos nitrogenados como los fertilizantes utilizados en agricultura (ej.: urea, fosfato de amonio y sulfato de amonio).

Todos los compuestos del nitrato son altamente solubles en agua y cualquiera de ellos que se forme en este proceso, se encontrará en solución en la misma, pudiendo alcanzar tenores perjudiciales, que impidan el consumo humano de la misma.

Dado que los nitratos se encuentran naturalmente en tenores muy bajos, salvo algunas excepciones, formando parte del fondo natural, una mayor concentración del mismo, se debe a fuentes de contaminación de diversa índole, principalmente en el ámbito agrícola-ganadero.

A pesar de considerarse que el nitrato es un ión para el cual la determinación de fondo natural y anomalías por contaminación en un acuífero se hace complicada debido a sus múltiples fuentes (naturales y antropogénicas) y a su reactividad en determinados

ambientes geoquímicos (Panno et al. 2003, Blarasin et al. 2008), numerosos autores han analizado y calculado valores de fondo natural para nitratos en diversos ambientes. Entre ellos puede mencionarse Rossi et al. (1992), Bonorino et al. (1999), Feitosa y Filho (2000), entre otros, destacándose para la región donde se encuentra la zona de estudio los trabajos de Blarasin et al. (2006 y 2012) y Matteoda et al. (2008). En estos aportes se logró determinar para ciertas regiones del Sur de la provincia de Córdoba, valores de fondo natural en un rango entre 3 y 18 mg/L de nitratos, considerando 10,0 mg/L como un valor característico de fondo natural para comparar con aquellos derivados de contaminación.

Como se observa en el diagrama de cajas (Fig. 7.13), los valores de  $\text{NO}_3^-$ , conforman una caja asimétrica, con un valor anómalo de 115 mg/L como valor máximo, correspondientes a la muestra B14, ubicada en ámbito fluvio-eólico. En dicha muestra, dado que presenta un valor muy superior al calculado por Blarasin et al. (2012), de 10,0 mg/L de fondo natural, y por ubicarse la captación en un ámbito ganadero rodeada de corrales, se estima que el nitrato proviene de contaminación y no de aportes naturales. El valor mínimo corresponde a 0 mg/L, el cual se repite en varias de las muestras ubicadas principalmente, en la faja fluvial del río Seco y sectores próximos.

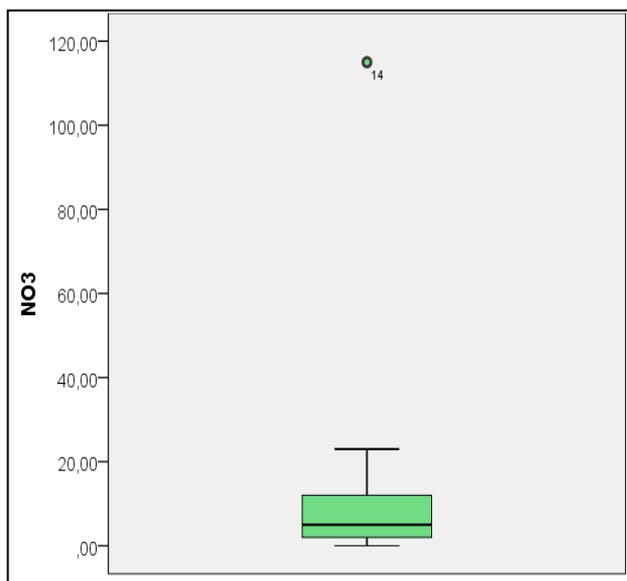


Figura 7.13: Diagrama de cajas para  $\text{NO}_3^-$ .

En base a lo expuesto, se realizó la distribución de  $\text{NO}_3^-$  para el área de estudio, estableciéndose dos rangos, uno con las muestras correspondientes al valor característico de fondo natural (10,0 mg/L, tomado de Blarasin et al. 2013) y al sector inferior de dicho intervalo y otro con las muestras correspondientes al sector superior del mismo. En el mapa de distribución de valores de nitrato para la zona de estudio de la figura 7.14, puede observarse que el 70% de las muestras se encuentran por debajo del valor de fondo natural establecido.

Debe destacarse que, dada la abundancia de sedimentos psamo-psefíticos y las velocidades calculadas, se asume que las bajas concentraciones de nitratos responden a

la alta capacidad de dilución de este acuífero a lo que se suma los importantes espesores de zona no saturada que disminuyen la posibilidad de llegada de contaminantes derivados de fertilizantes u otras fuentes que aportan nitrógeno.

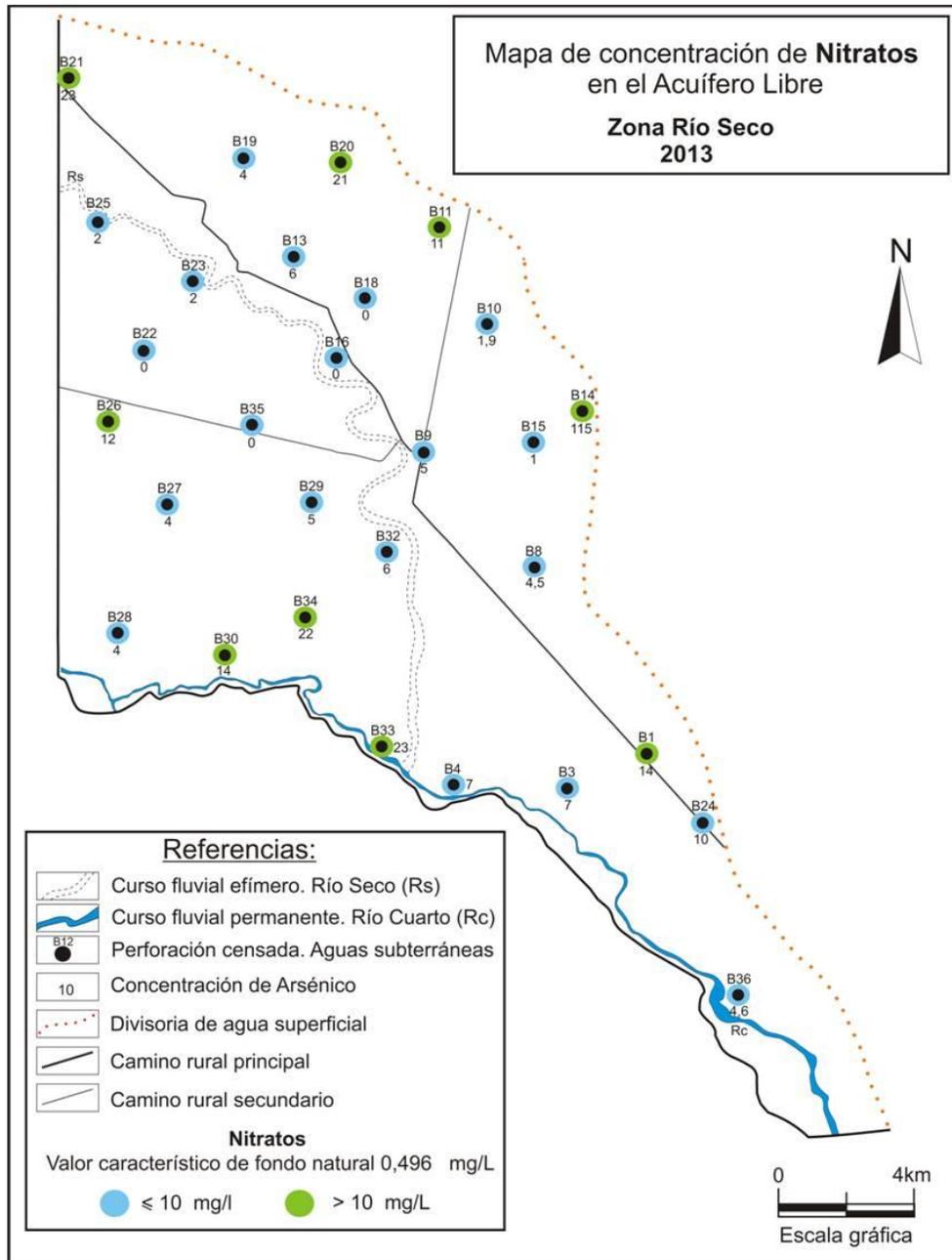


Figura 7.14: Mapa de distribución de Nitratos, en función del valor característico de fondo natural, en acuífero libre. Zona de Río Seco, 2013.

### 7.3.2.1.6- Análisis bivariado de caracteres hidroquímicos, asociados a la geología-geomorfología de la zona

En condiciones naturales, la composición química de las aguas subterráneas está determinada por la suma de los componentes derivados de la litología de la zona no saturada y del acuífero, por los aportes biosféricos y atmosféricos (modificados por evapotranspiración) y de las reacciones que tienen lugar a lo largo de las trayectorias de flujo en la zona saturada, siendo de suma importancia la variabilidad de los espesores de zona no saturada, las conductividades hidráulicas, los gradientes hidráulicos, la recarga y las características **geológico-geomorfológicas** que influyen en la dinámica y en la calidad del agua (Edmunds y Shand 2008).

Con el fin de establecer las relaciones existentes entre las características físico-químicas del agua subterránea y la geología-geomorfología de la zona de estudio, se realizó el análisis de algunos componentes mayoritarios, asociados a las unidades geomorfológicas definidas para la zona, aplicando metodologías estadísticas descriptivas bivariadas, comparando variables tanto cualitativas como cuantitativas, mediante diagramas de cajas y tablas de contingencia, realizando una posterior interpretación de los datos.

En la figura 7.15 se muestra el gráfico de barras elaborado a partir de la tabla de contingencia, en la cual se analiza la relación entre la clasificación geoquímica del agua y las unidades geomorfológicas donde se sitúa cada una de las muestras utilizada.

Por otro lado, en la figura 7.16 se muestra 6 gráficos donde se analizan  $\text{HCO}_3^-$ , CE,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$  y As, asociados a las unidades geomorfológicas definidas para la zona de estudio.

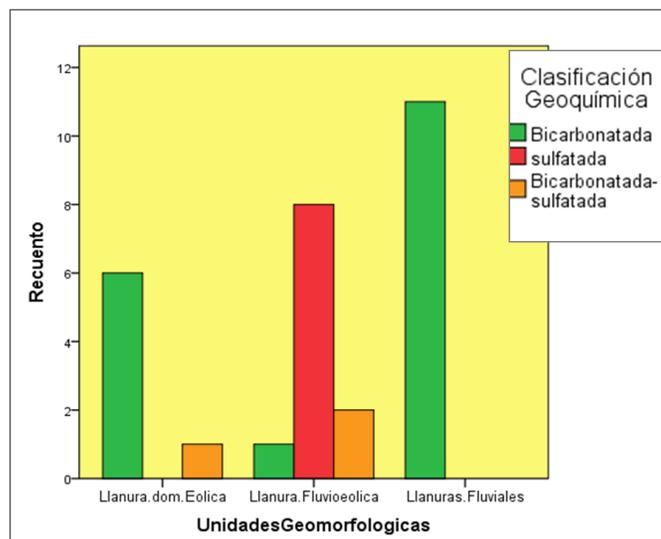
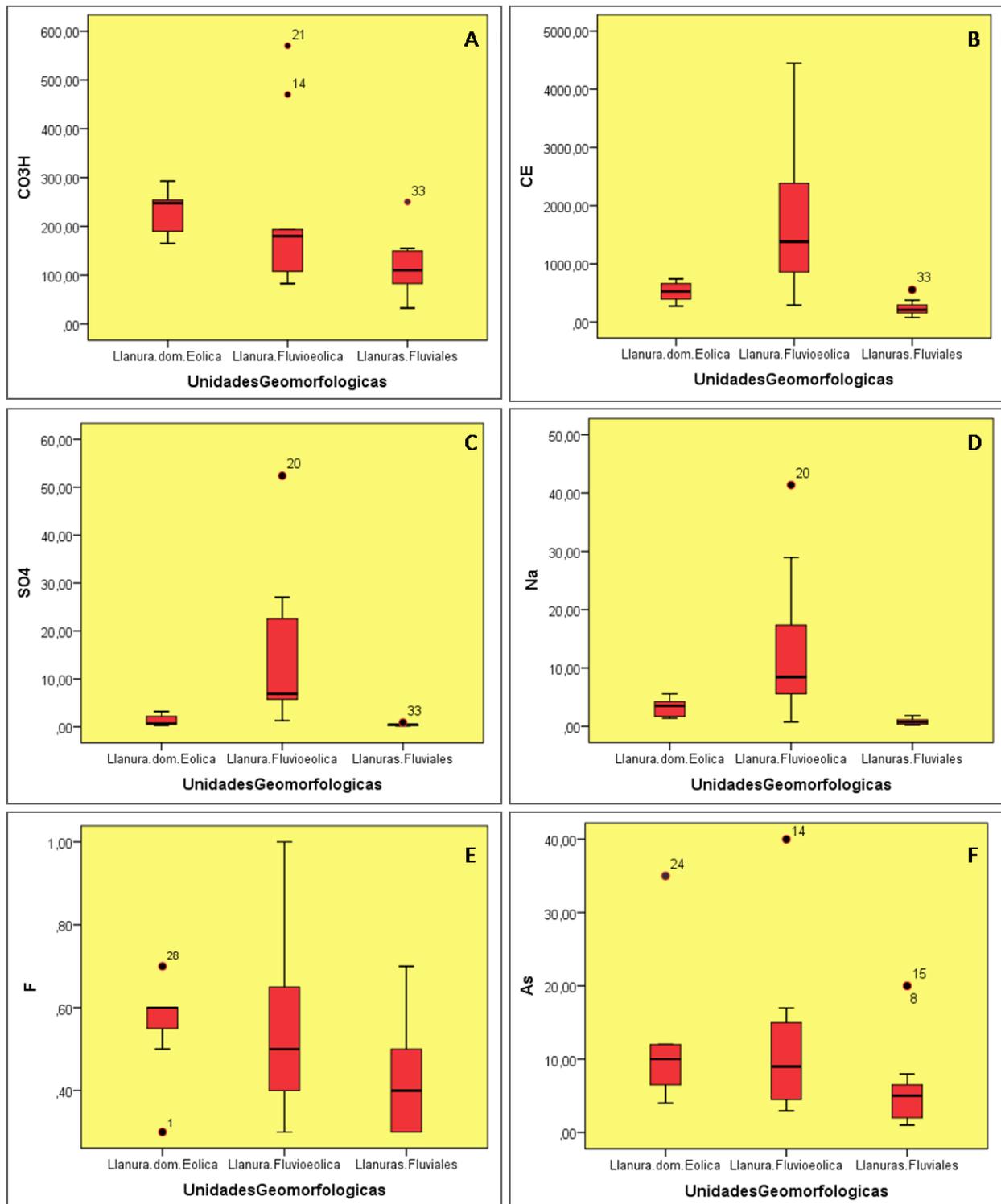


Figura 7.15: gráfico de barras. Clasificación geoquímica asociada a las unidades geomorfológicas.



**Figura 7.16:** Diagramas de caja: **A-** HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> vs Unidades Geomorfológicas, **B-** CE vs Unidades Geomorfológicas, **C-** SO<sub>4</sub><sup>=</sup> vs Unidades Geomorfológicas, **D-** Na<sup>+</sup> vs Unidades Geomorfológicas, **E-** F<sup>-</sup> vs Unidades Geomorfológicas, **E-** As vs Unidades Geomorfológicas.

En base al análisis realizado, se puede observar que en las llanuras fluviales se encuentran las aguas con menores CE, con lo cual presentan los menores tenores de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{Na}^+$ . Esto podría explicarse dado que en las llanuras de origen fluvial, dominan materiales areno-gravosos de elevadas conductividades hidráulicas, generando relativamente altas velocidades de circulación, disminuyendo así el tiempo de contacto agua-sedimento. Esto impide que se incorporen iones a la solución, manteniendo una baja CE.

Las mayores CE se encuentra en las llanuras fluvio-eólicas, presentando las medianas más elevadas de  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{Na}^+$ . Esto podría corresponderse con una mayor evolución hidroquímica del agua en este sector (aguas sulfatadas sódicas), constituida por flujos procedentes de la recarga regional desde las Sierras de Comechingones, alojada en sectores con dominio de materiales más finos, donde el tiempo de contacto agua-sedimento y los espesores de zona no saturada son mayores.

El agua de las llanuras predominantemente eólicas presenta mayor evolución hidroquímica que el agua de las llanuras fluviales, lo cual se refleja en una mayor CE y  $\text{HCO}_3^-$ . Sin embargo presenta aguas geoquímicamente menos evolucionadas que las llanuras fluvio-eólicas, dado que no se encontraron aguas de carácter geoquímico sulfatadas, tal como se observa en el gráfico de la figura 7.15. Esto podría explicarse dado que los flujos de agua en los sectores, definidos como llanuras predominantemente eólicas, provienen en su mayoría de las llanuras fluviales, con lo cual su evolución se debería a la circulación local, con escasa distancia recorrida sobre materiales finos, en conjunto con menores espesores de zona no saturada.

Por otro lado los tenores de As y F, presentan las medianas más elevadas en las llanuras predominantemente eólicas, coincidiendo con los tenores  $\text{HCO}_3^-$  que también presenta la mediana más elevada en este sector y las más bajas en las llanuras fluviales. Esto se debe a que el As y el F, provienen preferentemente del vidrio volcánico presente en el material loésico que abunda en las llanuras de origen eólico. Además, ambos elementos incrementan su concentración en el agua con la alcalinidad, de modo tal que en presencia de aguas bicarbonatadas se genera una competencia de los  $\text{OH}^-$  por los sitios de adsorción en partículas pequeñas presentes en los materiales que componen la zona saturada (Ej. Óxidos de Fe), liberando As y  $\text{F}^-$  al agua.

### 7.3.2.2- Acuífero Confinado

Como se indicara, se desconoce el detalle de las capas acuíferas. Sin embargo como se explicó, se detectó un pozo surgente procedente de una capa con confinamiento. Se analizó la muestra correspondiente a la perforación C1, cuyo análisis físico-químico se muestra en la tabla 7.6.

**Tabla 7.6:** Análisis físico-químico de la muestra C1. Acuífero confinado.

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	As	F-	NO3-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]											
C1	7,8	358	250,6	0	155	24,4	17,1	36,4	0,7	24,0	9,3	6	0,4	0

Según su análisis físico-químico, la muestra C1 se clasifica como agua bicarbonatada sódico-cálcica, presentando 250,6 mg/L de SDT, correspondiente a un agua dulce.

Esto se explica dado que se encuentra en ámbito de la faja fluvial del río Cuarto, a escasos kilométricos de las sierras, que constituyen la zona de recarga, con lo cual, el agua presenta escaso recorrido sobre sedimentos aluviales del río Cuarto, los cuales se asume que componen este acuífero. Estos son de gran permeabilidad, lo cual implica altas velocidades de circulación que impiden que los constituyentes mayoritarios pasen a formar parte de la solución acuosa.

En cuanto al As y F, ambos presentan valores característicos de fondo natural, lo cual estaría relacionado a los materiales por los que circula el agua en este acuífero que, como se mencionara anteriormente, corresponde a sedimentos gruesos, carentes de loess.

# *CAPÍTULO 8*

## *Aptitudes de Uso*

---



## **8.1- Introducción**

El estudio del recurso hídrico subterráneo al Sur de Córdoba muestra que son numerosos los pobladores rurales y, en algunos casos urbanos, que consumen aguas no aptas, en la mayoría de las ocasiones por desconocer la calidad del agua que utilizan y/o las posibles afectaciones que produce a la salud la presencia de altos tenores de sales, nitratos, arsénico, flúor, etc. (Cabrera et al., 2005).

La presencia en altas concentraciones de arsénico (As) y flúor (F) en el agua subterránea se convierte en un riesgo muy importante para la salud de los pobladores que la consumen. Pueden además afectar al ganado y cultivos, produciendo en ellos efectos tóxicos en determinadas concentraciones o acumulándose en los organismos, para luego formar parte de las cadenas alimentarias (Nriagu, 1994). Existen otros factores como las y la concentración de nitratos que pueden ocasionar que el agua no sea apta para consumo humano, para ganadería o incluso para riego.

Debido a la existencia de esta problemática típica de la Llanura Chacopampeana, incluyendo la zona de estudio, surge la necesidad de abordar un análisis más detallado al respecto, analizando la aptitud de uso del agua subterránea presente en la zona, en función de los diferentes límites de consumo vigentes para las distintas actividades.

Los límites de aptitud de uso humano, fueron tomados del Código Alimentario Argentino (1994), para arsénico y nitratos; y de los estipulados por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia (SRH), para flúor.

## **8.2- Aspectos toxicológicos de Arsénico, Flúor y Nitratos**

### **Arsénico**

La ingesta diaria y continua de dosis elevadas de **arsénico** produce una enfermedad en las personas conocida como Arsenicismo Crónico. En nuestro país se trata de una enfermedad endémica conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), que se manifiesta por espesamiento de la epidermis, úlceras en la boca y cáncer arsenical (Lerda, 1995). Esto se debe a que el arsénico contenido en el agua es absorbido por vía sanguínea y se acumula preferentemente en pulmones, hígado, riñones, piel, dientes, pelos y uñas. Resultando, tras una exposición crónica, trastornos característicos como, engrosamiento de palmas y plantas (queratodermia), aumento de la pigmentación de la piel y aparición de cáncer cutáneo. Además, es bastante frecuente el cáncer de pulmón y de laringe.

Si bien el límite establecido por el Código Alimentario Argentino para consumo humano es de 10  $\mu\text{g/L}$  de arsénico en el agua, la SRH (Córdoba) estableció, hasta tanto no se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06), que el límite ideal será 10  $\mu\text{g/L}$ , el límite aceptable 50  $\mu\text{g/L}$  y el límite tolerable 100  $\mu\text{g/L}$ . A partir de esto se realizó el análisis para el área. Debe destacarse, por sus implicancias futuras, que en el año 2013 la Corte Suprema de Justicia de la Nación emitió un fallo sobre agua potable obligando a ABSA (Aguas Buenos Aires S.A.) a que asegure un valor de 10  $\mu\text{g/L}$  de arsénico.

De la totalidad de las muestras de agua subterránea en la zona de estudio (29 muestras) (Fig. 8.1), el 69 % (20 muestras) presentan tenores de As por debajo del límite ideal establecido por la SRH, exhibiendo valores entre 1 y 10  $\mu\text{g/L}$ , constituyendo según este parámetro, aguas aptas para consumo humano. El restante 31 % (9 muestras), presentan valores que se encuentran por encima del valor ideal, pero dentro del límite aceptable, con tenores entre 11 y 40  $\mu\text{g/L}$ .

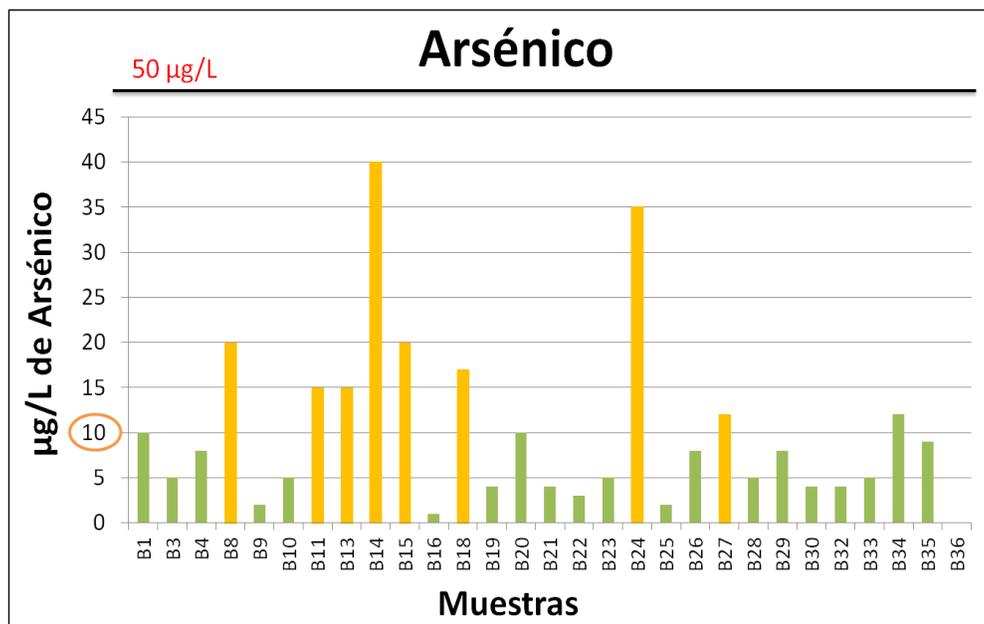


Figura 8.1: Tenores de arsénico en acuífero libre. Zona Río Seco, 2013

## Flúor

Diferentes estudios epidemiológicos demuestran que para producir síntomas de toxicidad crónica se requiere de la ingesta diaria y continua de aguas con más de 10  $\mu\text{g/L}$ . Los síntomas principales en el hombre son la fluorosis dental y ósea. El límite admitido por la SRH en Córdoba concuerda con el establecido a nivel país y mundial, y es variable

en función de la temperatura media de la zona, ya que asume que mientras mayor sea ésta, el individuo consume mayor cantidad de agua y por lo tanto el límite debe ser menor. Para el Sur de Córdoba, con una temperatura media de la zona de 16°C, el límite establecido es de **1,3 mg/L**.

De las 29 muestras (Fig.8.2), el 100 % de ellas se encuentran por debajo del límite, siendo en su totalidad aptas para consumo humano según este parámetro.

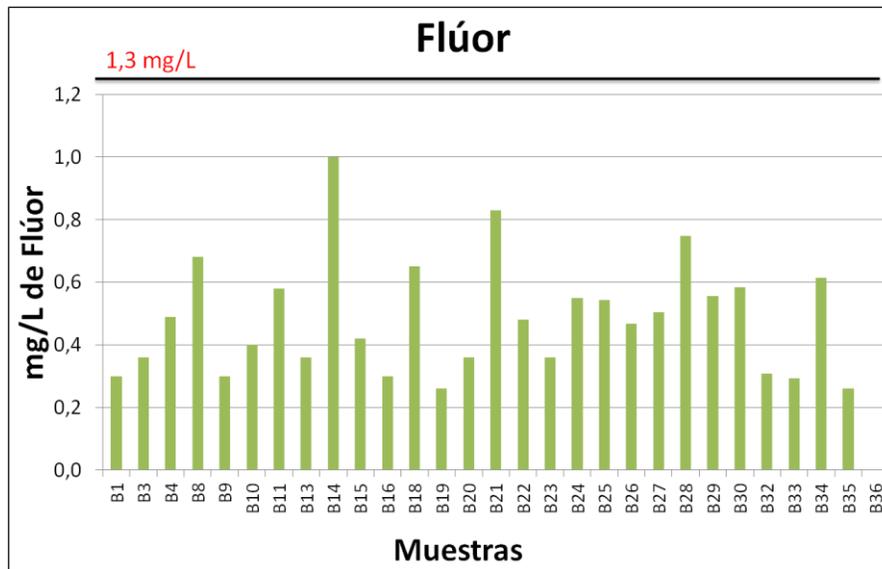
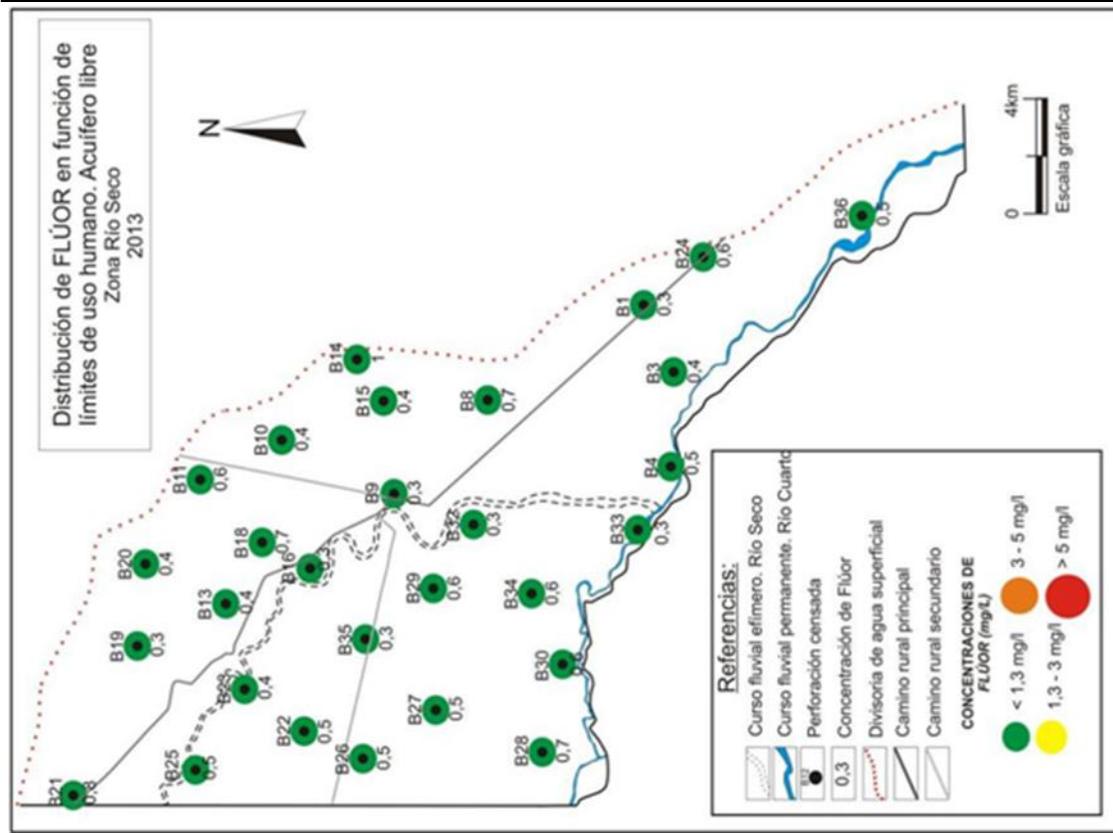
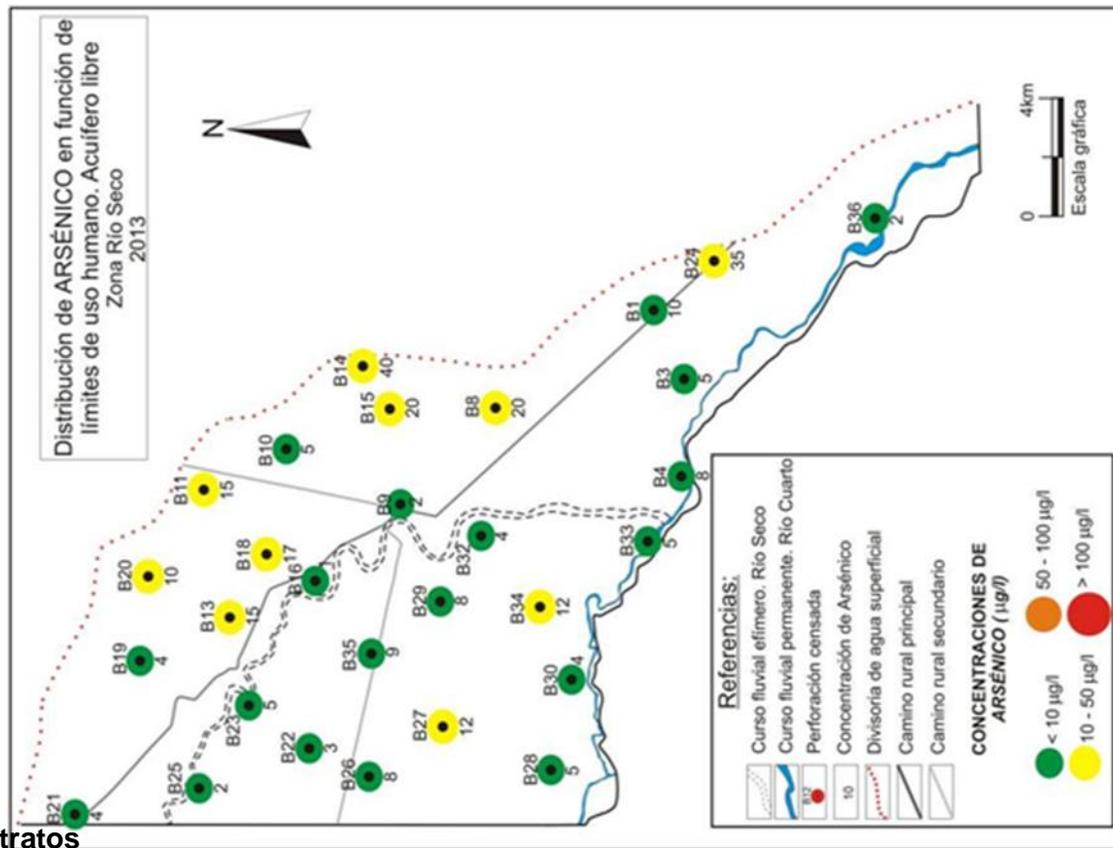


Figura 8.2: Tenores de Flúor acuífero libre. Zona Río Seco, 2013.

La distribución As y F en función del límite de uso humano, considerado para cada elemento, se muestra en la figura 8.3 y 8.4.



**Figura 8.4:** distribución de F en función del límite de uso humano, Zona Río Seco, 2013.



**Figura 8.3:** distribución de As en función del límite de uso humano, Zona Río Seco, 2013.

Nitratos

El nitrato es uno de los más problemáticos y difundidos potenciales contaminantes del agua subterránea (Keeney 1986), en particular en áreas rurales debido a las actividades agrícolas no controladas. Según Pacheco y Cabrera Sansores (2003), la entrada de dichos compuestos nitrogenados a las aguas subterráneas es el resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas, encontrándose como una importante problemática actual, principalmente en el sector agrícola-ganadero, donde los nitratos proceden de la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, materia fecal animal, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton 1986).

El problema con los nitratos es que son contaminantes móviles en el agua subterránea, en condiciones oxidantes, dado que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la subsuperficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Freeze y Cherry 1979), aunque la alta permeabilidad tiende a diluirlos por transporte advectivo-dispersivo en el acuífero.

Para nitratos, el límite admisible para consumo humano es de 45 mg/L, una ingesta prolongada de agua con altos tenores de este compuesto, genera una reducción de la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno. Esto en la mayoría de los adultos y niños, se normaliza rápidamente. Sin embargo, en los lactantes, puede demorar más tiempo, desarrollando una enfermedad denominada metahemoglobinemia. Por otro lado, los nitratos, al reaccionar con aminas y aminoácidos, generan nitrosaminas cancerígenas, las cuales aumentan el riesgo de contraer cáncer, en adultos (Weyer et al., 2001)

De las 29 muestras tomadas del acuífero libre, 28 muestras (96,5 %) presentan valores por debajo del límite admisible para consumo humano, sólo la muestra B14, con 115 mg/L, sobrepasa dicho límite, considerándose no apta para consumo humano (Fig. 8.5). Esto se debe a la presencia de corrales de bovinos en inmediaciones de la perforación, que aportan nitratos mediante sus excretas (Fig. 8.6) y lotes cercanos con cultivos extensivos de soja, labrados mediante siembra directa, en los cuales se utiliza grandes cantidades de fertilizantes, que aportan al elevado valor de nitratos encontrado. La distribución  $\text{NO}_3^-$  en función del límite de uso humano se muestra en la figura 8.7.

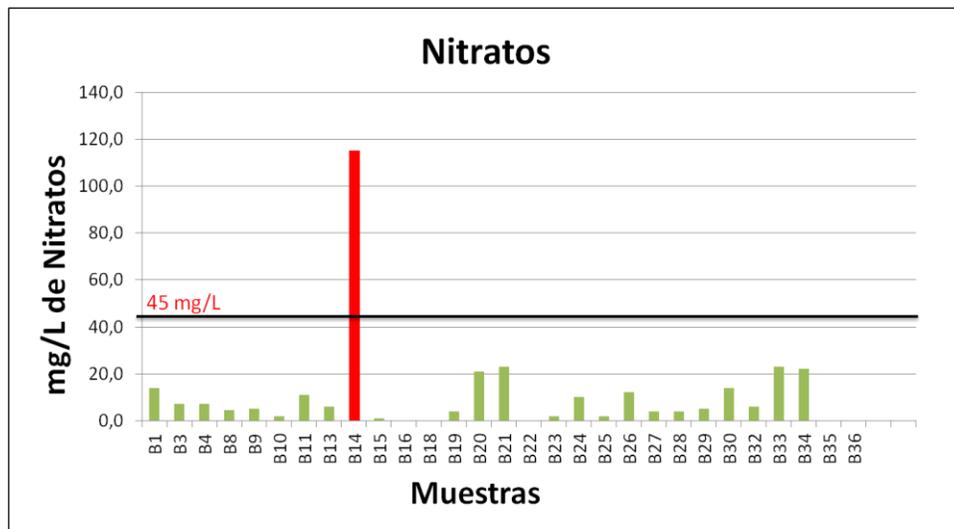


Figura 8.5: Tenores de Nitrato en el acuífero libre. Zona de Río Seco, 2013.



Figura 8.6: Perforación de donde se extrajo la muestra B14, rodeada de corrales y cultivos de soja. Zona de Río Seco, 2013.

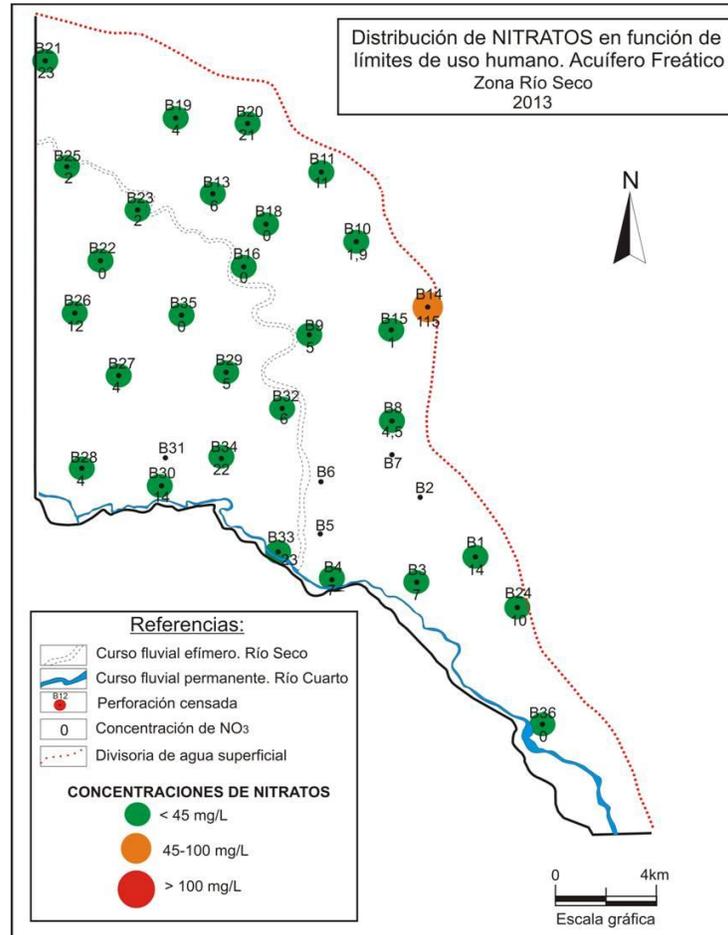


Figura 8.7: Mapa de distribución de Nitratos en el área de estudio.

### 8.3- Aptitudes de uso del recurso hídrico subterráneo

Tras analizar detalladamente la calidad de las aguas subterráneas presentes en la zona de estudio, se clasificaron las mismas según la aptitud de uso del recurso para consumo humano, ganadero y riego. Se utilizaron las clasificaciones del Código Alimentario Argentino (CAA) para consumo humano (Tabla 8.1) y la de Bavera (2001) para ganadería. Para riego, se utilizaron dos clasificaciones, la de FAO (Ayers y Westcot 1985) que se considera más adecuada dado que contempla que una baja salinidad puede originar lavado de sales solubles del suelo, y la clasificación de Riverside (Richards, 1954), la cual es muy usada en el país, a pesar de considerar la salinidad del agua en forma inversa respecto a FAO.

Finalmente debe tenerse en cuenta que para riego es necesario contar con la clasificación perteneciente al propio suelo y su aptitud para ser regado, aspecto que

escapa a este estudio. Siendo de gran importancia además, contar con los caudales necesarios para esta actividad, que quedan definidos por las características propias del acuífero y por el diseño de la perforación.

La clasificación realizada para uso humano se expone a continuación en la tabla 8.2.

**Tabla 8.1:** Límites de aptitud admitidos para consumo humano según el Código Alimentario Argentino (CAA).

<p><b>Arsénico:</b> 10 µf/L. La SSRH (Córdoba) establece, hasta tanto se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06):</p> <p>a) Límite ideal= 10 µg/L,</p> <p>b) Límite aceptable= 50 µg/L,</p> <p>c) Límite tolerable= 100 µg/L.</p> <p><b>Fluoruros:</b> 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16°C).</p> <p><b>Nitratos:</b> 45 mg/L.</p> <p><b>Sulfatos:</b> 400 mg/L.</p> <p><b>Cloruros:</b> 350 mg/L.</p> <p><b>Sales Disueltas Totales:</b> 1500 mg/L.</p>
--

**Tabla 8.2:** Clasificación del agua del acuífero libre para consumo humano. Zona Río Seco, 2013.

MUESTRAS	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	As (µg/L)	F (mg/L)	Nitratos (mg/L)	APTITUD
B1	407	284,9	10	0,3	14	APTA
B3	176	123,2	5	0,4	7	APTA
B4	208	145,6	8	0,5	7	APTA
B8	249	174,3	20	0,7	4,5	NO APTA (As)
B9	166	116,2	2	0,3	5	APTA
B10	318	222,6	5	0,4	1,9	APTA
B11	2420	1694	15	0,6	11	NO APTA ( SDT-As)
B13	909	636,3	15	0,4	6	NO APTA (As)
B14	2597	1817,9	40	1,0	115	NO APTA ( SDT-As-Nitratos)
B15	333	233,1	20	0,4	1	NO APTA (As)
B16	148	103,6	1	0,3	0	APTA
B18	872	610,4	17	0,7	0	NO APTA (As)
B19	2347	1642,9	4	0,3	4	NO APTA (SDT)
B20	4450	3115	10	0,4	21	NO APTA (SDT)
B21	1626	1138,2	4	0,8	23	APTA
B22	289	202,3	3	0,5	0	APTA
B23	375	262,5	5	0,4	2	APTA
B24	525	367,5	35	0,6	10	NO APTA (As)
B25	76,8	53,76	2	0,5	2	APTA
B26	841	588,7	8	0,5	12	APTA
B27	741	518,7	12	0,5	4	NO APTA (As)
B28	274	191,8	5	0,7	4	APTA
B29	375	262,5	8	0,6	5	APTA
B30	740	518	4	0,6	14	APTA
B32	129	90,3	4	0,3	6	APTA
B33	555	388,5	5	0,3	23	APTA
B34	579	405,3	12	0,6	22	NO APTA (As)
B35	1380	966	9	0,3	0	APTA
B36	232	162	2	0,5	4,6	APTA

Considerando todos los elementos y compuestos en conjunto, de la totalidad de las muestras analizadas pertenecientes al acuífero libre de la zona de estudio, 62 % de las mismas son aptas para **Consumo Humano** (Fig. 8.8), encontrándose el 38 % restante limitadas para tal fin principalmente por los tenores de As, con una única muestra (B14) con elevadas proporciones de Nitratos y dos muestras con SDT que superan los 1500 mg/L.

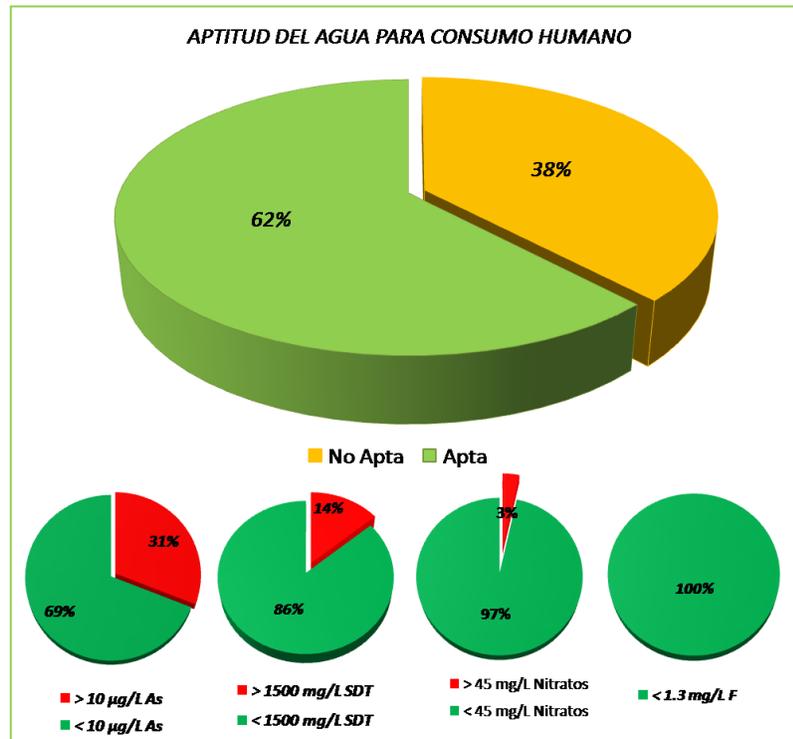
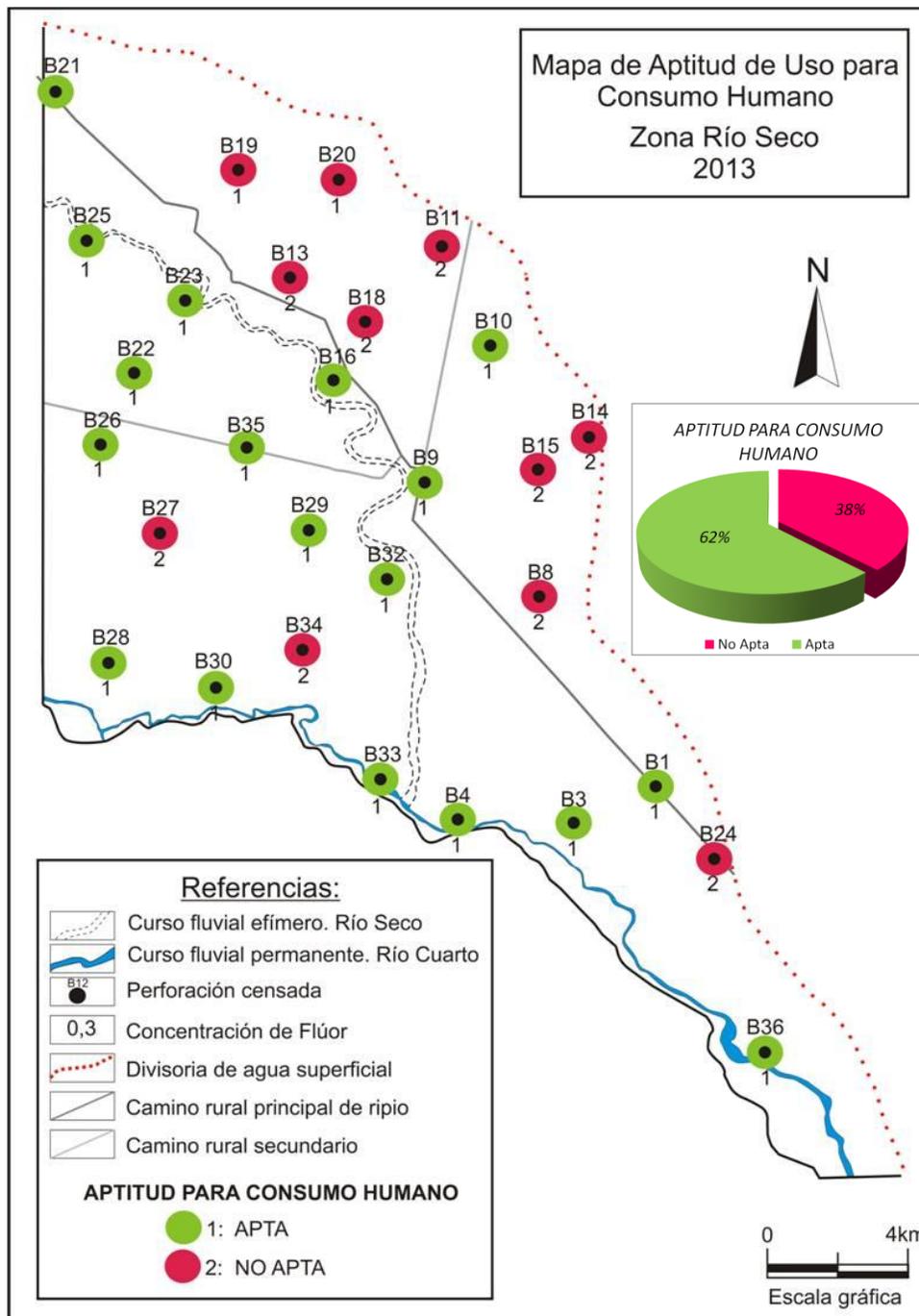


Figura 8.8: Aptitud de uso para consumo humano (según los límites establecidos por en CAA).

En el mapa de la figura 8.9 se muestra la aptitud de uso para consumo humano de la totalidad de las muestras y su distribución en la zona de estudio.



**Figura 8.9:** Mapa de distribución de la aptitud del agua subterránea para consumo humano, según en CAA.

En la tabla 8.3 se observa la clasificación del agua para uso ganadero según Bavera (2001) (Tabla 8.4) y para riego, según las clasificaciones de FAO (Ayers y Westcot 1985) y de Riverside (Richards, 1954).

**Tabla 8.3:** Clasificación del agua del acuífero libre para consumo ganadero y riego. Zona Río Seco, 2013

MUESTRAS	USO PARA RIEGO					USO GANADERO	
	Clasificación Riverside				CLASIFICACIÓN FAO	(tambo e inverne)	Precaución por As
	RAS	CE (μS/cm)	Clasific.	Aptitud			
B1	1,1	407	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B3	0,6	176	C1-S1	E	NO APTA	Deficiente	
B4	1,0	208	C1-S1	E	APTA	Deficiente	
B8	1,3	249	C1-S1	E	APTA	Deficiente	
B9	0,3	166	C1-S1	E	NO APTA	Deficiente	
B10	1,2	318	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B11	11,0	2420	C4-S3	R a M	APTA	Buena	
B13	3,0	909	C3-S1	B a R	APTA	Deficiente	
B14	17,8	2597	C4-S4	R a M	APTA	Buena	
B15	2,5	333	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B16	0,5	148	C1-S1	E	NO APTA	Deficiente	
B18	7,2	872	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
B19	3,4	2347	C4-S1	R a M	APTA	Buena	
B20	11,3	4450	C4-S3	R a M	NO APTA	Aceptable	
B21	7,9	1626	C3-S2	B a R	APTA	Buena	
B22	0,7	289	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B23	0,7	375	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B24	3,7	525	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B25	0,4	76,8	C1-S1	E	NO APTA	Deficiente	
B26	4,2	841	C3-S1	B a R	APTA	Deficiente	
B27	5,4	741	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B28	1,6	274	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B29	2,0	375	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B30	2,4	740	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B32	0,5	129	C1-S1	E	NO APTA	Deficiente	
B33	1,3	555	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B34	4,0	579	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
B35	4,1	1380	C3-S1	B a R	APTA	Deficiente	
B36	0,8	232	C1-S1	E	APTA	Deficiente	

**Tabla 8.4:** Clasificación de la calidad del agua para ganadería (Bavera, 2001).

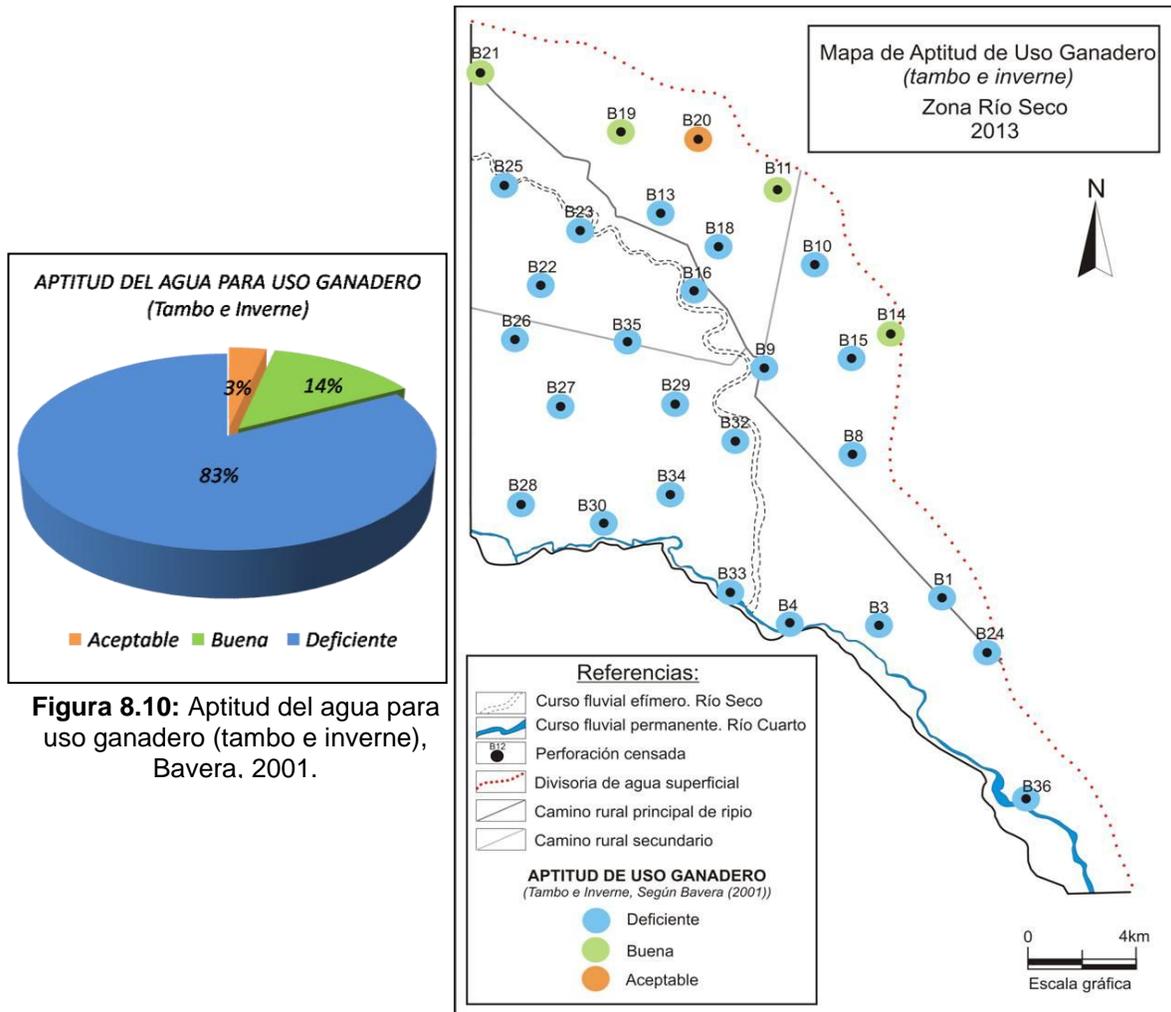
Tambo e inverne	SDT	ClNa	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Deficiente	<1 g/l	----	----	----	----
Muy Buena	>1 g/l	0,6 g/l	0,5 g/l	0,2 g/l	0,05 g/l
Buena	Hasta = 2 g/l	1,2 g/l	1 g/l	0,25 g/l	0,2 g/l
Aceptable	Hasta = 4 g/l	2,4 g/l	1,5 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l
Mala Usable	Hasta = 7 g/l	4,2 g/l	2,5 g/l	0,4 g/l	0,4 g/l
----	Hasta = 11 g/l	6,6 g/l	4 g/l	0,5 g/l	0,5 g/l
----	Hasta = 13 g/l	10 g/l	7 g/l	0,6 g/l	----

Se debe tener en cuenta que los valores de Arsénico no sean superiores a los 150 mg/l y que los contenidos de Flúor no superen los 16 mg/l, ya que causan toxicidad.

En cuanto al **uso ganadero** (tambo e inverne), se logró establecer que el 83 % de las muestras (24 muestras) resultaron ser **deficientes** para tal fin, por su contenido salino, con lo cual obliga a utilizar suplemento mineral en la alimentación del ganado (Fig. 8.10).

El 14 % de las muestras (4) se clasificaron como **buenas**, al superar 1 mg/L de SDT, y únicamente la muestra B20 resultó **aceptable** por presentar un valor de salinidad superior a 2 mg/L.

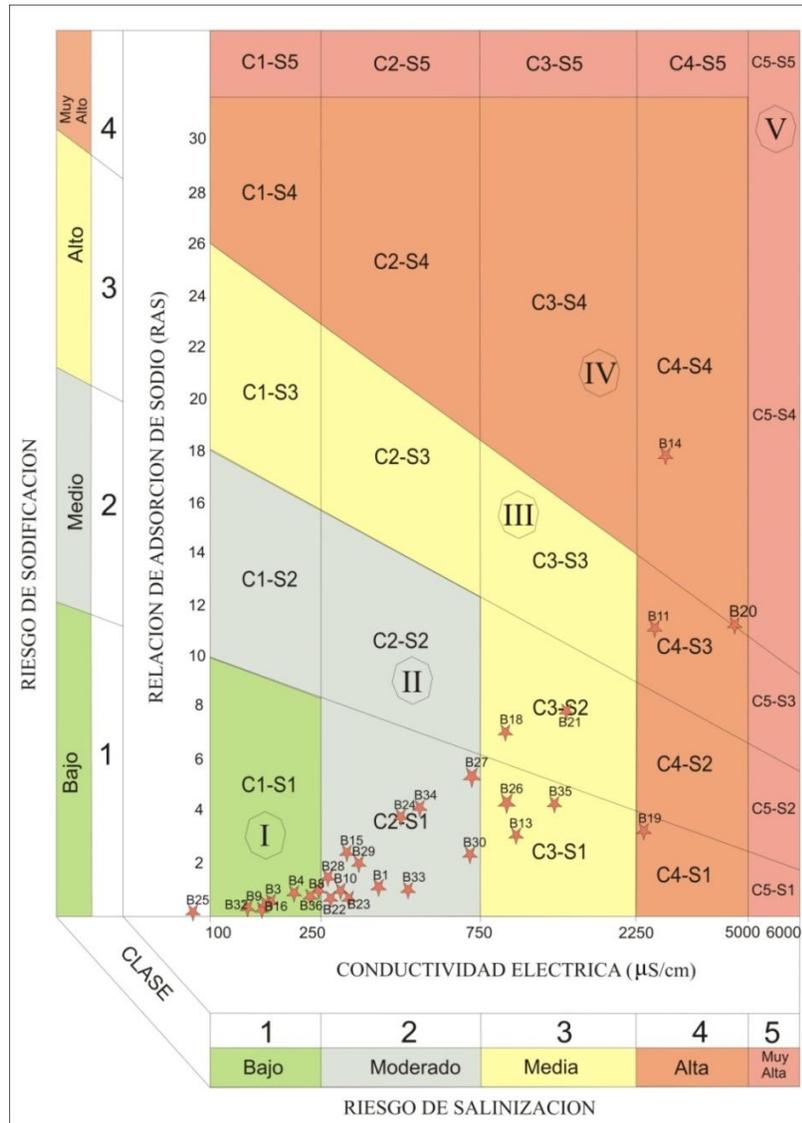
Cabe aclarar que ninguna de las muestras resultó tóxica por los niveles de As, dado que no presentan tenores de arsénico que superen los 150 mg/L, encontrándose en todos los casos muy por debajo de ese valor. En la figura 8.11, pueden observarse la distribución de la muestras de agua subterránea en la zona de estudio, según la aptitud de uso ganadero para tabo e inverne.



**Figura 8.10:** Aptitud del agua para uso ganadero (tambo e inverne), Bavera, 2001.

**Figura 8.11:** Mapa de distribución de la aptitud del agua subterránea para uso ganadero (tambo e inverne), Bavera, 2001

Con respecto a la **aptitud para riego**, se catalogaron las muestras de agua subterránea según la clasificación del laboratorio de salinidad de Riverside (Richards, 1954) (Fig. 8.12 y Tabla 8.5), y según la clasificación de la FAO (Ayers y Westcot, 1985) (Fig. 8.13 y Tabla 8.6).



**Figura 8.12:** Clasificación de aguas para riego (Diagrama de USLS. Modificado por Richards L.A, 1954).

**Tabla 8.5:** Clasificación de clases de aguas para riego (Richards L.A, 1954).

Clase	Aptitud	Peligrosidad Salina y Sódica
I	Excelente	C1-S1
II	Buena	C1-S2, C2-S2, C2-S1
III	Buena a Regular	C1-S2, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3
IV	Regular a Mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4
V	Inapropiada	CE mayor a 5000 µS/cm y RAS mayor a 30

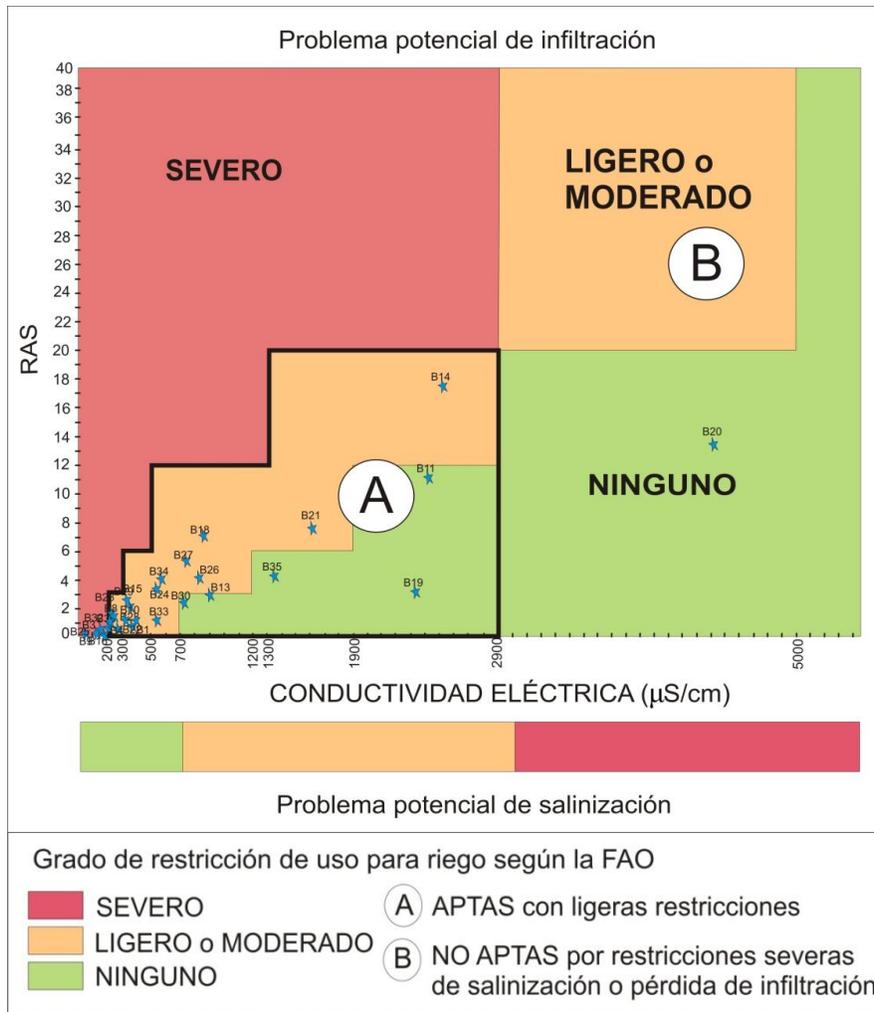


Figura 8.13: Clasificación de la calidad del agua para riego FAO (Ayers y Westcot, 1985).

Tabla 8.6: Clasificación del grado de restricción de uso del agua para riego FAO (Ayers y Westcot, 1985).

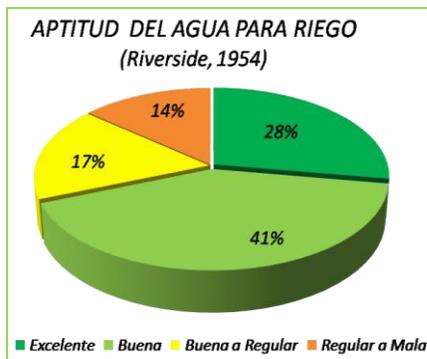
GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO			
	NINGUNO	LIGERO o MODERADO	SEVERO
<b>Problema potencial : SALINIDAD</b>			
C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	< 700	700-3000	> 3000
<b>Problema potencial : INFILTRACIÓN</b>			
RAS entre 0 y 3 y C:E =	> 700	700-200	< 200
RAS entre 3 y 6 y C:E =	> 1200	1200-300	< 300
RAS entre 6 y 12 y C:E =	> 1900	1900-500	< 500
RAS entre 12 y 20 y C:E =	> 2900	2900-1300	< 1300
RAS entre 20 y 40 y C:E =	> 5000	5000-1900	< 2900

C.E en mS/cm. 1 mS/cm equivalen a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$

La clasificación del Laboratorio de *Riverside* (1954), arrojó que el 28 % del agua analizada es **Excelente** para este fin, siendo en un 41 % **Buena**, 17 % de **Buena a Regular** y 14 % de **Regular a Mala** (Fig. 8.14).

Por otro lado, según la clasificación de la FAO, el 79 % del agua resultó ser **APTA** con ligeras restricciones, y sólo un 21 % de la misma **NO APTA** con restricciones severas de salinización (1 muestra) o por pérdida de la infiltración (5 muestras), (Fig. 8.15).

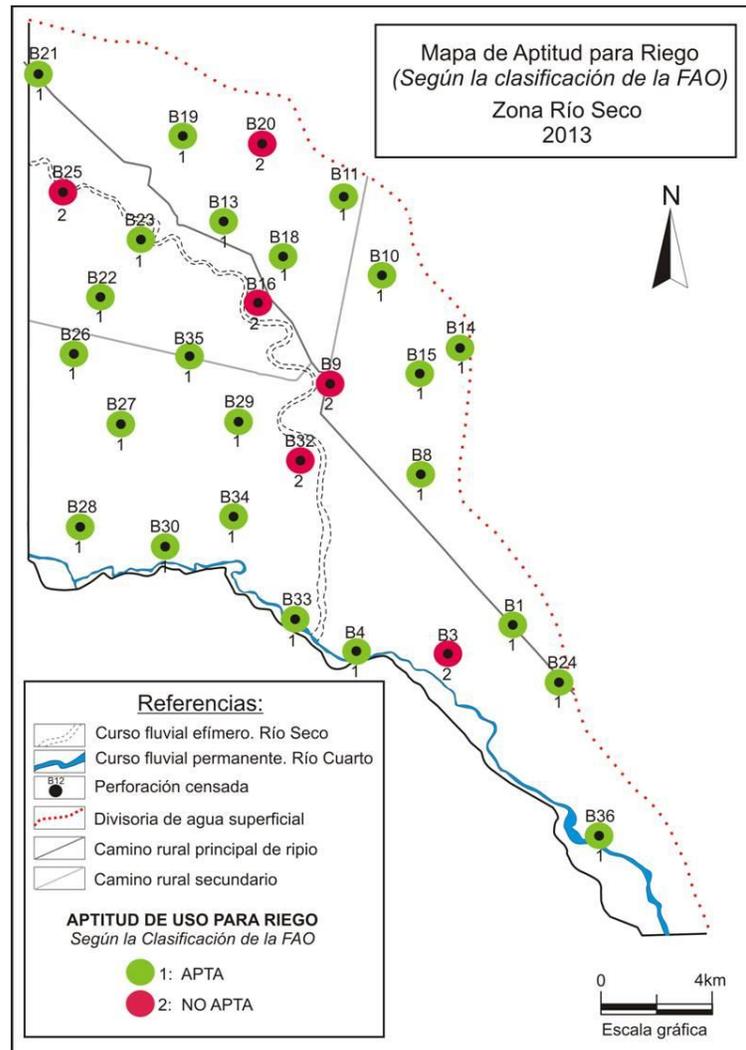
En la figura 8.16 se observa la distribución de las muestras de agua subterránea de la zona de estudio, según la clasificación de la FAO.



**Figura 8.14:** Aptitud del agua para riego, según la clasificación de Riverside.



**Figura 8.15:** Aptitud del agua para riego, según la clasificación de la FAO.



**Figura 8.16:** Mapa de distribución de la aptitud del agua subterránea para riego, según la clasificación de la FAO.

# *CAPÍTULO 9*

*Conclusiones y  
Recomendaciones*

---



## 9.1- Conclusiones

La zona estudiada constituye una típica llanura agradacional pedemontana ligada a las Sierras de Comechingones. Sus características actuales quedan definidas por la interacción entre planicies aluviales, eólicas y fluvio-eólicas, las cuales conforman un paisaje poligénico en una llanura con fuerte control estructural y tendencia a la incisión fluvial y erosión hídrica.

Sus rasgos **geomorfológicos** más relevantes, se vinculan a la evolución de los ríos Cuarto y Seco, cuya actividad está controlada por importantes variaciones climáticas Cuaternarias y un marcado control estructural, con lineamientos tectónicos que responden principalmente a tres sistemas de rumbo N-S, NO-SE y SO-NE. Estos conforman bloques diferencialmente ascendidos y basculados hacia el Este. Las fallas más importantes corresponden a la Falla Santa Rita y Río de los Sauces, de rumbo N-S; las cuales limitan y conforman un bloque central hundido, donde se desarrolló abanico aluvial del río Seco, el cual constituye el elemento geomorfológico más relevante de la zona de estudio. Coetáneamente, en los ciclos más secos, la región fue cubierta por depósitos eólicos arenosos muy finos dominantes, que constituyen el segundo elemento relevante del paisaje. El sistema aluvial del río Seco muestra una historia agradacional muy importante, con más de 60 m de sedimentos areno-gravosos del Neógeno superior-Cuaternario, con ápices que fueron migrando hacia el SE. Así, esta morfología presenta dos ápices principales: el primero de ellos situado hacia el Oeste, es el más antiguo, actualmente desactivado, cuyos sedimentos presentan alto grado de edafización; el segundo, localizado en posiciones intermedias, es histórico y actualmente también está inactivo, ya que el río Seco exhibe una leve tendencia a la incisión. La reinstalación e integración de los cursos fluviales y el desarrollo de procesos de edafización sobre las cubiertas eólicas y los materiales aluviales se produjo en los periodos húmedos.

La base de la columna sedimentaria se encuentra conformada por rocas ígneas y metamórficas del basamento cristalino aflorante en las Sierras de Comechingones, al Oeste de la zona de estudio, encontrándose por encima materiales Neógenos y Cuaternarios, cuyos depósitos evidencian la alternancia de periodos húmedos y secos, dominando potentes secuencias fluviales-aluviales hacia el centro de la zona de estudio, como se evidencia en las características geomorfológicas y sedimentológicas ya señaladas.

El **clima** en la región es de tipo mesotermal subhúmedo, con una precipitación media anual de 953 mm. Se observó una alternancia de años secos y húmedos con una distribución estacional de las precipitaciones, concentrándose el 75 % de las mismas en los meses de Primavera-Verano y el restante 25 % en los meses de Otoño-Invierno. El balance hídrico seriado de paso mensual evidenció la existencia de excesos hídricos, los cuales se alojan preferiblemente en los meses de Primavera-Verano, reflejando en los últimos años tendencias constante para la zona de estudio. Los períodos donde los excesos hídricos son más significativos e importantes por contribuir a la recarga del acuífero, abarcan desde 1983 a 1985, de 1991 a 1996, de 1999 a 2001, el año 2004 y de 2007 a 2010. El período comprendido entre el año 1999 y 2001, es coincidente con un ascenso generalizado del nivel freático, registrado en campo, mediante el testimonio de los pobladores y el agua encontrada en los antepozos de varios de los molinos censados.

Desde el punto de vista hidrográfico, la zona presenta dos cursos fluviales, el río Cuarto y el río Seco, ambos nacientes en las sierra de Comechingones. El **río Cuarto** es de régimen permanente, presenta comportamiento estacional marcado y funcionamiento de tipo torrencial, fluye en sentido NNO–SSE. Su principal aporte proviene de las precipitaciones y del aporte subterráneo. Sus máximos caudales se concentran en las estaciones de Primavera-Verano, mientras que los mínimos se concentran en Otoño-Invierno, coincidiendo con el análisis de las precipitaciones. El **río Seco**, se encuentra formado por el río Alpa Corral-Las Barrancas de carácter permanente, que luego de infiltrarse a la salida serrana como consecuencia de un importante control estructural, adquiere el nombre de Seco. Este corresponde a un curso efímero, el cual genera un gran aporte al sistema subterráneo. Los picos de crecidas en este sector podrían superar los 458 m<sup>3</sup>/s, los cuales demoran solo algunos días en infiltrar a través de los materiales areno-gravosos que componen el lecho del río, observándose los máximos caudales en las estaciones de Primavera-Verano.

Por otro lado, a partir del análisis realizado sobre los hidrogramas de ambos ríos, se interpreta que la intensidad y frecuencia de las precipitaciones influyen directamente sobre la recarga del acuífero y consecuentemente sobre el caudal de estiaje de los cursos de carácter permanente. Dicho análisis refleja la existencia de dos ciclos, uno (de 1938 a 1958) en el que las precipitaciones se produjeron de manera intensa, por lo que generaron mayores picos de crecidas pero menores caudales de estiaje y otro (de 1959 a 1979) donde las precipitaciones ocurrieron de forma más repartida durante el año, con

lluvias menos intensas, las que reflejaron menores picos de crecida, pero con mayores posibilidades de infiltración en el medio fracturado y sedimentario que sostiene los más altos caudales de base.

Los **escurrimientos superficiales** efímeros secundarios desarrollan patrones diferentes en el sector Este y Oeste de la zona de estudio. Al Oeste del río Seco, conforman un patrón de escurrimiento subparalelo, circulando sobre bajos elongados de dirección NNO-SSE, hasta desaguar en el río Cuarto. Al Este del río conforman una red jerarquizada, con un prominente desarrollo de cárcavas e importantes sectores de captura que las conectan, concentrando los escurrimientos superficiales en un único colector rectilíneo de dirección N-S, denominado Santa Rita, el cual las conduce hacia el Sur desaguando sobre el río Cuarto. Esto se debe a la reactivación neotectónica que evidencia el sector Este de la zona de estudio, el cual genera la reinstalación de la red de drenaje, desarrollando una importante incisión vertical en los escurrimientos, con el desarrollo de grandes cárcavas y procesos de captura entre ellas.

En cuanto al **sistema subterráneo** se identificó un acuífero libre, desarrollado en medio sedimentario, poroso de tipo clástico, con espesores que varían de 15 a 100 m. La zona no saturada varía de 0 m en el Sur de la zona de estudio, próximo al río Cuarto, a 120 m en los sectores estructuralmente ascendidos hacia el Noreste de la zona de estudio y se compone por materiales limosos, arenosos finos y areno-gravosos.

El **acuífero libre** se apoya sobre materiales acuitardos a acuicludos (limosos y limo-arcillosos) en gran parte de la zona de estudio o directamente sobre basamento cristalino, principalmente hacia Norte y Noroeste de la misma, el cual se encuentra fuertemente controlado por la estructura en bloque descendentes típicas de la región. Está conformado por sedimentos de variadas granulometrías, desde arenas gruesas y gravas en el centro de la zona de estudio, asociados a potentes sistemas fluviales y aluviales desarrollados por los ríos Seco y Cuarto, hasta limos y arenas finas hacia los bordes de la misma asociados a ambientes eólicos y fluvio-eólicos. Las conductividades hidráulicas están condicionadas por las unidades geomorfológicas, encontrándose valores que van desde los 0,2 m/d en sedimentos finos eólicos y fluvio-eólicos y 45-50 m/d para los más gruesos asociados a los sistemas fluviales centrales y paleocauces. Se vislumbró la existencia de al menos una capa acuífera más profunda, confinada, ubicada en planicie pedemontana

distal, que resulta de interés por su buena calidad físico-química y carácter surgente de la captación.

Desde el punto de vista **hidrodinámico**, en el acuífero libre se observa una morfología de la superficie freática ondulada, la cual muestra una dirección general de circulación de NO hacia el SE, con gradientes que varían entre 0,2 % en los sectores más tendidos a 1,5 % en los más abruptos, lo cual se debe al condicionamiento de las morfoestructuras y a los cambios litológicos. Las velocidades reales del agua subterránea son del orden de 0,19 m/d (en ámbito eólico de bajos gradientes), 1,5 m/d (en ámbito fluvio-eólico de elevados gradientes) y 0,9 m/d (en ámbito fluvial de bajos gradientes).

Con respecto a la **caracterización hidrogeoquímica**, los valores de conductividad eléctrica del agua varían entre 76,8 y 2.597  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , destacándose una única muestra con 4.450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo que el 97 % son aguas dulces y 3 % saladas. Se pudo observar un mosaico de distribución areal que se vincula fundamentalmente a las unidades geomorfológicas definidas. El contenido salino aumenta de forma concéntrica desde el centro de la zona de estudio, hacia los bordes de la misma. Así, se destacan valores muy bajos de CE en el ámbito fluvial del río Seco asociada a los materiales areno-gravosos que dominan en este sector, lo cual se asocia a la mayor permeabilidad de los sedimentos que inhibe parcialmente los procesos de contacto agua sólido en el acuífero y consecuentemente la transferencia de iones al agua. Al NO de la zona de estudio se destaca el sector de infiltración del río, que se constituye en área de recarga preferencial del acuífero. A este ámbito y a estas condiciones se vinculan las aguas menos evolucionadas de carácter geoquímico bicarbonatadas cálcicas. Hacia los bordes de la zona central según el sentido de flujo descrito aparecen aguas bicarbonatadas sódicas e incluso bicarbonatadas-sulfatadas. Las zonas de mayor salinidad se asocian a sectores estructuralmente ascendidos y con cubiertas eólicas potentes. Los flujos de agua en este sector proceden de la recarga regional desde la Sierra de Comechingones y circulan por un dominio acuífero de materiales más finos, donde el tiempo de contacto agua-sedimento y los espesores de zona no saturada son mayores, por lo que se consideran un factor de salinización importante mediante el cual el agua adquiere carácter sulfatado sódico.

El análisis de las relaciones existentes entre las características físico-químicas de agua subterránea y la geología-geomorfología, realizada a través de metodologías estadísticas

descriptivas bivariadas, corroboran que en la zona de estudio las características geológico-geomorfológicas influyen directamente en los procesos geoquímicos dominantes que determinan la composición química del agua, además de influir en su dinámica.

F y As forman parte del fondo natural de la calidad del agua, en concentraciones variables con medianas de 0,5 mg/L y 8 µg/L, respectivamente. La moderada correlación lineal hallada entre ellos ( $r=5,50$ ) se debe al dominio en la zona de estudio de materiales arenosos y areno-gravosos, los cuales carecen de vidrio volcánico, considerado como fuente principal de estos iones. A pesar de ello, el hecho de que esta correlación moderada sea positiva demuestra la vinculación geoquímica de estos componentes, concluyendo que los tenores de los mismos en la solución poseen condicionamientos geológicos-geomorfológicos locales, estando los más bajos en el ámbito de la llanuras fluviales, los intermedios en la llanura fluvio-eólica y los más altos en las llanuras predominantemente eólicas; donde abundan claramente los sedimentos loésicos portadores de vidrio y el agua posee mayores valores de pH y bicarbonatos.

En la zona estudiada se identificaron las clásicas actividades agropecuarias de la Llanura Pampeana (dominio de cultivos de soja-maíz subsidiada por agroquímicos y ganadería tanto intensiva como extensiva). A pesar del aporte de nitratos que implican estas actividades, la calidad del agua no muestra impacto, aspecto que se relaciona fundamentalmente con la alta conductividad hidráulica del acuífero (que diluye solutos por dispersión hidrodinámica), la protección de los grandes espesores de zona no saturada, y los importantes volúmenes de recarga a partir de agua superficial en pedemonte, además de la recarga local a partir de la infiltración de excedentes de precipitaciones.

Respecto a la **aptitud de uso** del agua subterránea, este acuífero presenta aguas aptas para consumo humano en un 62 %, mientras el 38 % de las misma no son aptas para tal fin debido a tenores elevados de As (31 %), nitratos (3 %) y SDT (14 %). Para consumo ganadero, el agua del acuífero libre resultó en un 14 % buena para bovinos de tambo e inverne, 3 % aceptable y 83 % deficientes. Para riego resultó, según FAO, en un 79 % apta con ligeras restricciones y en un 21 % no aptas con restricciones severas de salinización y pérdida de la infiltración. Según Riverside, un 28 % son excelentes, 41 % buenas, 17 % buenas a regulares y 14 % regulares a malas para este fin.

## **9.2- Recomendaciones**

Se recomienda para la zona de estudio realizar la modelación numérica, tanto del flujo como de la evolución geoquímica del agua, con el fin de contribuir a corroborar los modelos conceptuales.

Complementar el modelo geoquímico con análisis estadístico univariados, bivariados y multivariados, evaluando el fondo natural de la calidad del agua de la zona.

Realizar estudios más detallados del subsuelo, incluyendo análisis de isotópicos complementarios ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) que contribuyan a definir las relaciones hidráulicas existentes, tiempos de tránsito y recarga que permitan robustecer el modelo hidrodinámico y de la zona.

Una vez conocidos los valores de fondo natural de la calidad química, se recomienda realizar monitoreos para verificar las modificaciones que ocurren en el tiempo, vinculadas a incrementos o a disminución de las concentraciones de iones debidos a procesos naturales y/o contaminación.

Finalmente se recomienda, principalmente a los pobladores de la zona rural, objeto de este estudio, realizar actividades de mitigación de los procesos erosivos, e implementar prácticas de manejo tendientes a conservar los suelos y el agua de la región, tales como la realización de cultivos en curvas de nivel, rotación de cultivos y reforestación.

# *Anexos*

---



## ANEXO 1

### Datos Hidrometeorológicos

Balance Hídrico Seriado para la Estación Nicolino

Periodo: 1980-2012

Agua útil en la capa superior: 25.0 mm

Y en la capa inferior: 125 mm

Diccionario de variables:

**P:** Precipitaciones

**ETP:** Evapotranspiración potencial

**ALMAC:** Almacenaje

**RP:** Recarga potencial

**R:** Recarga

**APE:** Agua potencialmente extraíble

**AE:** Agua extraída

**ETR:** Evapotranspiración Real

**ESC:** Escurrimiento

	MES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.
1981	1	328	120	150	0	0	104,2	0	120	208
	2	43	81	114,2	0	0	71,7	35,8	78,8	0
	3	133	89	150	35,8	35,8	67,7	0	89	8,2
	4	121	57	150	0	0	51,7	0	57	64
	5	4	45	111,7	0	0	41,7	38,3	42,3	0
	6	0	23	94,5	38,3	0	17,1	17,1	17,1	0
	7	0	25	78,8	55,5	0	15,8	15,8	15,8	0
	8	0	32	62	71,2	0	16,8	16,8	16,8	0
	9	14	45	49,2	88	0	18,6	12,8	26,8	0
	10	106	73	82,2	100,8	33	23,9	0	73	0
	11	194	90	150	67,8	67,8	49,8	0	90	36,2
	12	193	114	150	0	0	99,2	0	114	79
1982	1	55	120	91,7	0	0	104,2	58,3	113,3	0
	2	78	81	89,8	58,3	0	49,5	1,8	79,8	0
	3	138	89	138,8	60,2	49	53,3	0	89	0
	4	56	57	137,8	11,2	0	49,3	1	57	0
	5	8	45	104	12,2	0	39,9	33,9	41,9	0
	6	10	23	95	46	0	15,9	9	19	0
	7	28	25	98	55	3	15,8	0	25	0
	8	0	32	76,6	52	0	21,4	21,4	21,4	0
	9	80	45	111,6	73,4	35	23	0	45	0
	10	0	73	58,9	38,4	0	52,7	52,7	52,7	0
	11	184	90	150	91,1	91,1	35,3	0	90	2,9
	12	31	114	76,7	0	0	99,2	73,3	104,3	0



1983	1	360	120	150	73,3	73,3	61,3	0	120	166,7
	2	61	81	130	0	0	71,7	20	81	0
	3	52	89	98,3	20	0	75	31,7	83,7	0
	4	36	57	84,6	51,7	0	37,4	13,8	49,8	0
	5	34	45	78,4	65,4	0	25,4	6,2	40,2	0
	6	0	23	66,3	71,6	0	12	12	12	0
	7	0	25	55,3	83,7	0	11,1	11,1	11,1	0
	8	35	32	58,3	94,7	3	11,8	0	32	0
	9	56	45	69,3	91,7	11	18,5	0	45	0
	10	123	73	119,3	80,7	50	35,7	0	73	0
	11	72	90	101,3	30,7	0	65,9	18	90	0
	12	134	114	121,3	48,7	20	74,3	0	114	0
1984	1	156	120	150	28,7	28,7	86	0	120	7,3
	2	186	81	150	0	0	71,7	0	81	105
	3	149	89	150	0	0	78,3	0	89	60
	4	153	57	150	0	0	51,7	0	57	96
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	0	25	76,4	58,3	0	15,3	15,3	15,3	0
	8	20	32	70,3	73,6	0	16,3	6,1	26,1	0
	9	87	45	112,3	79,7	42	21,1	0	45	0
	10	43	73	84,4	37,7	0	52,9	27,9	70,9	0
	11	139	90	133,4	65,6	49	50,6	0	90	0
	12	254	114	150	16,6	16,6	89,3	0	114	123,4
1985	1	172	120	150	0	0	104,2	0	120	52
	2	143	81	150	0	0	71,7	0	81	62
	3	34	89	100	0	0	78,3	50	84	0
	4	37	57	86,7	50	0	38	13,3	50,3	0
	5	0	45	60,7	63,3	0	26	26	26	0
	6	47	23	84,7	89,3	24	9,3	0	23	0
	7	132	25	150	65,3	65,3	24,4	0	25	41,7
	8	9	32	127	0	0	30,8	23	32	0
	9	9	45	96,7	23	0	37,8	30,3	39,3	0
	10	144	73	150	53,3	53,3	47	0	73	17,7
	11	149	90	150	0	0	79,2	0	90	59
	12	170	114	150	0	0	99,2	0	114	56
1986	1	59	120	95	0	0	104,2	55	114	0
	2	16	81	53,8	55	0	51,3	41,2	57,2	0
	3	56	89	42	96,2	0	31,9	11,8	67,8	0
	4	30	57	34,4	108	0	16	7,6	37,6	0
	5	30	45	31	115,6	0	10,3	3,4	33,4	0
	6	0	23	26,2	119	0	4,8	4,8	4,8	0
	7	0	25	21,9	123,8	0	4,4	4,4	4,4	0
	8	0	32	17,2	128,1	0	4,7	4,7	4,7	0
	9	43	45	17	132,8	0	5,2	0,2	43,2	0
	10	87	73	31	133	14	8,3	0	73	0
	11	84	90	25	119	0	22,6	6	90	0
	12	215	114	126	125	101	20	0	114	0
1987	1	97	120	103	24	0	88,9	23	120	0
	2	173	81	150	47	47	55,2	0	81	45
	3	62	89	123,3	0	0	78,3	26,7	88,7	0
	4	55	57	121,7	26,7	0	46,9	1,6	56,6	0
	5	62	45	138,7	28,3	17	36,5	0	45	0
	6	0	23	116,8	11,3	0	21,9	21,9	21,9	0
	7	0	25	97,4	33,2	0	19,5	19,5	19,5	0
	8	0	32	76,6	52,6	0	20,8	20,8	20,8	0
	9	17	45	62,3	73,4	0	23	14,3	31,3	0
	10	43	73	49,8	87,7	0	30,3	12,5	55,5	0
	11	62	90	40,5	100,2	0	29,9	9,3	71,3	0
	12	210	114	136,5	109,5	96	30,8	0	114	0



1988	1	94	120	110,8	13,5	0	95,6	25,7	119,7	0
	2	152	81	150	39,2	39,2	59,8	0	81	31,8
	3	165	89	150	0	0	78,3	0	89	76
	4	25	57	119,2	0	0	51,7	30,8	55,8	0
	5	0	45	83,4	30,8	0	35,7	35,7	35,7	0
	6	0	23	70,6	66,6	0	12,8	12,8	12,8	0
	7	7	25	62,2	79,4	0	11,8	8,5	15,5	0
	8	4	32	50,5	87,8	0	13,3	11,6	15,6	0
	9	44	45	50,2	99,5	0	15,2	0,3	44,3	0
	10	0	73	25,8	99,8	0	24,4	24,4	24,4	0
	11	78	90	23,7	124,2	0	15,5	2,1	80,1	0
	12	146	114	55,7	126,3	32	18	0	114	0
1989	1	98	120	33,7	94,3	0	44,5	22	120	0
	2	82	81	34,7	116,3	1	19	0	81	0
	3	270	89	150	115,3	115,3	21,4	0	89	65,7
	4	18	57	113,3	0	0	51,7	36,7	54,7	0
	5	57	45	125,3	36,7	12	34	0	45	0
	6	0	23	105	24,7	0	20,3	20,3	20,3	0
	7	0	25	87,5	45	0	17,5	17,5	17,5	0
	8	0	32	68,8	62,5	0	18,7	18,7	18,7	0
	9	35	45	64,3	81,2	0	20,7	4,6	39,6	0
	10	73	73	64,3	85,7	0	31,3	0	73	0
	11	54	90	48,8	85,7	0	38,6	15,4	69,4	0
	12	163	114	97,8	101,2	49	37,1	0	114	0
1990	1	112	120	89,8	52,2	0	71,1	8	120	0
	2	71	81	79,8	60,2	0	48,1	10	81	0
	3	172	89	150	70,2	70,2	46,8	0	89	12,8
	4	74	57	150	0	0	51,7	0	57	17
	5	37	45	142	0	0	41,7	8	45	0
	6	0	23	120	8	0	22	22	22	0
	7	25	25	120	30	0	20	0	25	0
	8	18	32	108,8	30	0	25,6	11,2	29,2	0
	9	24	45	93,6	41,2	0	32,6	15,2	39,2	0
	10	109	73	129,6	56,4	36	45,5	0	73	0
	11	105	90	144,6	20,4	15	70,3	0	90	0
	12	93	114	123,6	5,4	0	95,9	21	114	0
1991	1	193	120	150	26,4	26,4	96,5	0	120	46,6
	2	247	81	150	0	0	71,7	0	81	166
	3	141	89	150	0	0	78,3	0	89	52
	4	70	57	150	0	0	51,7	0	57	13
	5	54	45	150	0	0	41,7	0	45	9
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	22	25	124,2	23	0	21,2	2,8	24,8	0
	8	41	32	133,2	25,8	9	26,5	0	32	0
	9	16	45	107,6	16,8	0	38,8	25,6	41,6	0
	10	95	73	129,6	42,4	22	52,4	0	73	0
	11	83	90	122,6	20,4	0	70,8	7	90	0
	12	207	114	150	27,4	27,4	86	0	114	65,6
1992	1	124	120	150	0	0	104,2	0	120	4
	2	162	81	150	0	0	71,7	0	81	81
	3	227	89	150	0	0	78,3	0	89	138
	4	25	57	119,2	0	0	51,7	30,8	55,8	0
	5	13	45	93,7	30,8	0	35,7	25,4	38,4	0
	6	0	23	79,4	56,3	0	14,4	14,4	14,4	0
	7	5	25	68,8	70,6	0	13,2	10,6	15,6	0
	8	30	32	67,9	81,2	0	14,7	0,9	30,9	0
	9	55	45	77,9	82,1	10	20,4	0	45	0
	10	16	73	46,6	72,1	0	38,5	31,3	47,3	0
	11	184	90	140,6	103,4	94	28	0	90	0
	12	228	114	150	9,4	9,4	93,6	0	114	104,6



1993	1	61	120	96,7	0	0	104,2	53,3	114,3	0
	2	111	81	126,7	53,3	30	52,2	0	81	0
	3	139	89	150	23,3	23,3	68,4	0	89	26,7
	4	29	57	122,5	0	0	51,7	27,5	56,5	0
	5	63	45	140,5	27,5	18	36,7	0	45	0
	6	3	23	120,9	9,5	0	22,1	19,6	22,6	0
	7	0	25	100,7	29,1	0	20,1	20,1	20,1	0
	8	13	32	88	49,3	0	21,5	12,8	25,8	0
	9	20	45	73,3	62	0	26,4	14,7	34,7	0
	10	106	73	106,3	76,7	33	35,7	0	73	0
	11	226	90	150	43,7	43,7	60,2	0	90	92,3
	12	165	114	150	0	0	99,2	0	114	51
1994	1	130	120	150	0	0	104,2	0	120	10
	2	63	81	132	0	0	71,7	18	81	0
	3	107	89	150	18	18	75,3	0	89	0
	4	46	57	139	0	0	51,7	11	57	0
	5	6	45	104,2	11	0	39,8	34,8	40,8	0
	6	8	23	93,7	45,8	0	16	10,4	18,4	0
	7	16	25	88,1	56,3	0	15,6	5,6	21,6	0
	8	34	32	90,1	61,9	2	18,8	0	32	0
	9	32	45	81,7	59,9	0	27,3	8,5	40,5	0
	10	89	73	97,7	68,3	16	39,7	0	73	0
	11	158	90	150	52,3	52,3	56,3	0	90	15,7
	12	73	114	111,7	0	0	99,2	38,3	111,3	0
1995	1	350	120	150	38,3	38,3	89,3	0	120	191,7
	2	102	81	150	0	0	71,7	0	81	21
	3	66	89	127	0	0	78,3	23	89	0
	4	5	57	83,3	23	0	47,8	43,7	48,7	0
	5	47	45	85,3	66,7	2	25	0	45	0
	6	0	23	71,7	64,7	0	13,7	13,7	13,7	0
	7	0	25	59,7	78,3	0	11,9	11,9	11,9	0
	8	0	32	47	90,3	0	12,7	12,7	12,7	0
	9	2	45	33,5	103	0	14,1	13,5	15,5	0
	10	23	73	22,3	116,5	0	16,3	11,2	34,2	0
	11	224	90	150	127,7	127,7	13,4	0	90	6,3
	12	90	114	126	0	0	99,2	24	114	0
1996	1	242	120	150	24	24	100,2	0	120	98
	2	207	81	150	0	0	71,7	0	81	126
	3	43	89	107,5	0	0	78,3	42,5	85,5	0
	4	122	57	150	42,5	42,5	40,9	0	57	22,5
	5	7	45	114,2	0	0	41,7	35,8	42,8	0
	6	10	23	104,3	35,8	0	17,5	9,9	19,9	0
	7	0	25	86,9	45,7	0	17,4	17,4	17,4	0
	8	0	32	68,4	63,1	0	18,5	18,5	18,5	0
	9	37	45	64,7	81,6	0	20,5	3,6	40,6	0
	10	11	73	38	85,3	0	31,5	26,7	37,7	0
	11	145	90	93	112	55	22,8	0	90	0
	12	118	114	97	57	4	65,3	0	114	0
1997	1	106	120	83	53	0	70,6	14	120	0
	2	108	81	110	67	27	44,6	0	81	0
	3	125	89	146	40	36	61,3	0	89	0
	4	76	57	150	4	4	50,8	0	57	15
	5	10	45	116,7	0	0	41,7	33,3	43,3	0
	6	37	23	130,7	33,3	14	17,9	0	23	0
	7	8	25	114,3	19,3	0	22,6	16,3	24,3	0
	8	22	32	106,7	35,7	0	24,4	7,6	29,6	0
	9	50	45	111,7	43,3	5	32	0	45	0
	10	66	73	105,3	38,3	0	53,4	6,4	72,4	0
	11	118	90	133,3	44,7	28	63,2	0	90	0
	12	189	114	150	16,7	16,7	89,3	0	114	58,3



1998	1	115	120	145	0	0	104,2	5	120	0
	2	139	81	150	5	5	70,8	0	81	53
	3	28	89	95	0	0	78,3	55	83	0
	4	130	57	150	55	55	36,1	0	57	18
	5	60	45	150	0	0	41,7	0	45	15
	6	31	23	150	0	0	23	0	23	8
	7	0	25	125	0	0	25	25	25	0
	8	10	32	106,7	25	0	26,7	18,3	28,3	0
	9	48	45	109,7	43,3	3	32	0	45	0
	10	44	73	88,2	40,3	0	52,8	21,5	65,5	0
	11	201	90	150	61,8	61,8	52,9	0	90	49,2
	12	178	114	150	0	0	99,2	0	114	64
1999	1	75	120	108,3	0	0	104,2	41,7	116,7	0
	2	56	81	90,3	41,7	0	58,5	18,1	74,1	0
	3	303	89	150	59,7	59,7	53,6	0	89	154,3
	4	69	57	150	0	0	51,7	0	57	12
	5	5	45	112,5	0	0	41,7	37,5	42,5	0
	6	14	23	105,8	37,5	0	17,3	6,7	20,8	0
	7	9	25	94,5	44,3	0	17,6	11,3	20,3	0
	8	31	32	93,8	55,5	0	20,2	0,6	31,6	0
	9	24	45	80,7	56,2	0	28,2	13,1	37,1	0
	10	112	73	119,7	69,3	39	39,3	0	73	0
	11	83	90	112,7	30,3	0	66	7	90	0
	12	283	114	150	37,3	37,3	78,6	0	114	131,7
2000	1	253	120	150	0	0	104,2	0	120	133
	2	147	81	150	0	0	71,7	0	81	66
	3	113	89	150	0	0	78,3	0	89	24
	4	140	57	150	0	0	51,7	0	57	83
	5	81	45	150	0	0	41,7	0	45	36
	6	18	23	145	0	0	23	5	23	0
	7	37	25	150	5	5	24,2	0	25	7
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0
	9	10	45	91,4	30,8	0	35,8	27,8	37,8	0
	10	125	73	143,4	58,6	52	44,5	0	73	0
	11	155	90	150	6,6	6,6	76,3	0	90	58,4
	12	144	114	150	0	0	99,2	0	114	30
2001	1	219	120	150	0	0	104,2	0	120	99
	2	27	81	100,8	0	0	71,7	49,2	76,2	0
	3	221	89	150	49,2	49,2	59,8	0	89	82,8
	4	160	57	150	0	0	51,7	0	57	103
	5	10	45	116,7	0	0	41,7	33,3	43,3	0
	6	21	23	115,1	33,3	0	17,9	1,6	22,6	0
	7	10	25	103,6	34,9	0	19,2	11,5	21,5	0
	8	17	32	93,2	46,4	0	22,1	10,4	27,4	0
	9	126	45	150	56,8	56,8	28	0	45	24,2
	10	98	73	150	0	0	65	0	73	25
	11	66	90	126	0	0	79,2	24	90	0
	12	93	114	108,3	24	0	95,2	17,7	110,7	0
2002	1	117	120	106,2	41,7	0	86,7	2,2	119,2	0
	2	163	81	150	43,8	43,8	57,3	0	81	38,2
	3	97	89	150	0	0	78,3	0	89	8
	4	134	57	150	0	0	51,7	0	57	77
	5	17	45	122,5	0	0	41,7	27,5	44,5	0
	6	2	23	105,4	27,5	0	18,8	17,1	19,1	0
	7	5	25	91,3	44,6	0	17,6	14	19	0
	8	61	32	120,3	58,7	29	19,5	0	32	0
	9	5	45	85,8	29,7	0	37,7	34,5	39,5	0
	10	34	73	63,5	64,2	0	41,7	22,3	56,3	0
	11	52	90	47,4	86,5	0	38,1	16,1	68,1	0
	12	145	114	78,4	102,6	31	36	0	114	0



2003	1	201	120	150	71,6	71,6	58,8	0	120	9,4
	2	75	81	144	0	0	71,7	6	81	0
	3	144	89	150	6	6	77,3	0	89	49
	4	110	57	150	0	0	51,7	0	57	53
	5	10	45	116,7	0	0	41,7	33,3	43,3	0
	6	0	23	98,8	33,3	0	17,9	17,9	17,9	0
	7	47	25	120,8	51,2	22	16,5	0	25	0
	8	0	32	92,2	29,2	0	28,6	28,6	28,6	0
	9	0	45	64,5	57,8	0	27,7	27,7	27,7	0
	10	15	73	39,6	85,5	0	31,4	25	40	0
	11	13	90	19,3	110,4	0	23,7	20,3	33,3	0
	12	198	114	103,3	130,7	84	14,6	0	114	0
2004	1	126	120	109,3	46,7	6	74,6	0	120	0
	2	99	81	127,3	40,7	18	56,5	0	81	0
	3	147	89	150	22,7	22,7	68,6	0	89	35,3
	4	56	57	149	0	0	51,7	1	57	0
	5	194	45	150	1	1	41,5	0	45	148
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	46	25	148	23	21	21,2	0	25	0
	8	4	32	120,8	2	0	30,5	27,2	31,2	0
	9	0	45	84,6	29,2	0	36,3	36,3	36,3	0
	10	95	73	106,6	65,4	22	41,2	0	73	0
	11	182	90	150	43,4	43,4	60,3	0	90	48,6
	12	198	114	150	0	0	99,2	0	114	84
2005	1	188	120	150	0	0	104,2	0	120	68
	2	83	81	150	0	0	71,7	0	81	2
	3	100	89	150	0	0	78,3	0	89	11
	4	51	57	144	0	0	51,7	6	57	0
	5	22	45	121,7	6	0	40,7	22,3	44,3	0
	6	3	23	105,4	28,3	0	18,7	16,2	19,2	0
	7	14	25	97,7	44,6	0	17,6	7,7	21,7	0
	8	5	32	80,1	52,3	0	20,8	17,6	22,6	0
	9	19	45	66,2	69,9	0	24	13,9	32,9	0
	10	71	73	65,4	83,8	0	32,2	0,9	71,9	0
	11	152	90	127,4	84,6	62	39,2	0	90	0
	12	71	114	90,1	22,6	0	85,7	37,3	108,3	0
2006	1	122	120	92,1	59,9	2	72,1	0	120	0
	2	188	81	150	57,9	57,9	49,4	0	81	49,1
	3	112	89	150	0	0	78,3	0	89	23
	4	120	57	150	0	0	51,7	0	57	63
	5	3	45	110,8	0	0	41,7	39,2	42,2	0
	6	5	23	97,5	39,2	0	17	13,3	18,3	0
	7	0	25	81,3	52,5	0	16,3	16,3	16,3	0
	8	0	32	63,9	68,7	0	17,3	17,3	17,3	0
	9	10	45	49	86,1	0	19,2	14,9	24,9	0
	10	72	73	48,7	101	0	23,9	0,3	72,3	0
	11	124	90	82,7	101,3	34	29,2	0	90	0
	12	190	114	150	67,3	67,3	59,2	0	114	8,7
2007	1	286	120	150	0	0	104,2	0	120	166
	2	125	81	150	0	0	71,7	0	81	44
	3	154	89	150	0	0	78,3	0	89	65
	4	42	57	135	0	0	51,7	15	57	0
	5	12	45	105,8	15	0	39,2	29,2	41,2	0
	6	12	23	98,1	44,2	0	16,2	7,8	19,8	0
	7	16	25	92,2	51,9	0	16,3	5,9	21,9	0
	8	0	32	72,5	57,8	0	19,7	19,7	19,7	0
	9	61	45	88,5	77,5	16	21,8	0	45	0
	10	105	73	120,5	61,5	32	43,6	0	73	0
	11	16	90	64,3	29,5	0	66,4	56,2	72,2	0
	12	135	114	85,3	85,7	21	48,9	0	114	0



2008	1	230	120	150	64,7	64,7	63,4	0	120	45,3
	2	152	81	150	0	0	71,7	0	81	71
	3	104	89	150	0	0	78,3	0	89	15
	4	38	57	131	0	0	51,7	19	57	0
	5	15	45	105	19	0	38,5	26	41	0
	6	17	23	100,8	45	0	16,1	4,2	21,2	0
	7	0	25	84	49,2	0	16,8	16,8	16,8	0
	8	60	32	112	66	28	17,9	0	32	0
	9	31	45	98	38	0	36,6	14	45	0
	10	43	73	76	52	0	47	22	65	0
	11	141	90	127	74	51	45,6	0	90	0
	12	244	114	150	23	23	85,5	0	114	107
2009	1	143	120	150	0	0	104,2	0	120	23
	2	110	81	150	0	0	71,7	0	81	29
	3	61	89	122,5	0	0	78,3	27,5	88,5	0
	4	3	57	78,4	27,5	0	46,6	44,1	47,1	0
	5	11	45	60,6	71,6	0	23,5	17,8	28,8	0
	6	0	23	51,3	89,4	0	9,3	9,3	9,3	0
	7	6	25	44,8	98,7	0	8,6	6,5	12,5	0
	8	0	32	35,3	105,2	0	9,6	9,6	9,6	0
	9	36	45	33,2	114,7	0	10,6	2,1	38,1	0
	10	20	73	21,4	116,8	0	16,1	11,7	31,7	0
	11	204	90	135,4	128,6	114	12,9	0	90	0
	12	287	114	150	14,6	14,6	90,5	0	114	158,4
2010	1	87	120	118,3	0	0	104,2	31,7	118,7	0
	2	135	81	150	31,7	31,7	63,9	0	81	22,3
	3	72	89	133	0	0	78,3	17	89	0
	4	77	57	150	17	17	48,8	0	57	3
	5	19	45	124,2	0	0	41,7	25,8	44,8	0
	6	0	23	105,1	25,8	0	19	19	19	0
	7	0	25	87,6	44,9	0	17,5	17,5	17,5	0
	8	0	32	68,9	62,4	0	18,7	18,7	18,7	0
	9	64	45	87,9	81,1	19	20,7	0	45	0
	10	91	73	105,9	62,1	18	43,8	0	73	0
	11	117	90	132,9	44,1	27	60,1	0	90	0
	12	121	114	139,9	17,1	7	89	0	114	0
2011	1	115	120	134,9	10,1	0	97,8	5	120	0
	2	124	81	150	15,1	15,1	66,7	0	81	27,9
	3	83	89	144	0	0	78,3	6	89	0
	4	77	57	150	6	6	50,7	0	57	14
	5	6	45	113,3	0	0	41,7	36,7	42,7	0
	6	8	23	102	36,7	0	17,4	11,3	19,3	0
	7	5	25	88,4	48	0	17	13,6	18,6	0
	8	0	32	69,5	61,6	0	18,9	18,9	18,9	0
	9	12	45	54,2	80,5	0	20,9	15,3	27,3	0
	10	106	73	87,2	95,8	33	26,4	0	73	0
	11	85	90	82,2	62,8	0	52	5	90	0
	12	53	114	45,2	67,8	0	59	37	90	0
2012	1	30	120	18,1	104,8	0	36,2	27,1	57,1	0
	2	193	81	130,1	131,9	112	9,8	0	81	0
	3	86	89	127,1	19,9	0	69,8	3	89	0
	4	70	57	140,1	22,9	13	46,5	0	57	0
	5	26	45	121,1	9,9	0	40,3	19	45	0
	6	0	23	102	28,9	0	19	19	19	0
	7	0	25	85	48	0	17	17	17	0
	8	9	32	72	65	0	18,1	13	22	0
	9	107	45	134	78	62	21,6	0	45	0
	10	146	73	150	16	16	59,9	0	73	57
	11	188	90	150	0	0	79,2	0	90	98
	12	36	114	80,8	0	0	99,2	69,2	105,2	0

## *Bibliografía*

---



- Avalis F., 2006.** Determinación de Línea de Base Hidroquímica y Evaluación de Impactos sobre la calidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Chaján. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédito.
- Ayers R.S. y Wetscot D.W., 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper 29 Rev. 1, Roma, 174 p. Bavera, G. A., 2001. Manual de Aguas y Aguadas para el ganado. Ed. Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.
- Bavera G. A., 2001.** Manual de Aguas y Aguadas para el ganado. Editorial Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.
- Blarasin M., 1984.** Hidrología subterránea de la zona de Laguna Oscura. Córdoba. Tesis de Lic. U.N.R.C. Inédito.
- Blarasin M., 2003.** Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.
- Blarasin M. y Cabrera A., 2005.** Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geambiental. Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pp. 235-241.
- Blarasin M., Cabrera A. y Degiovanni S., 2000.** Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la Prov. de Córdoba, Argentina. I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil. Trabajo completo (20 pág.) editado en CD-ROM.
- Blarasin M., Cabrera A. y Matteoda E., 2003.** Groundwater geoindicators for assessment of environmental changes, planning and policy implications, Río Cuarto, Arg. Journal of Environmental Hydrology. ISSN 1058-3912. Vol. 11 (16): 12 pp.
- Blarasin M., Cabrera A., Paris M., Cantú M. y Bellin J., 2005.** Hidrogeoquímica y monitoreo de indicadores del acuífero freático para evaluar cambios ambientales, Cba. Arg. En Hidrología Subterránea y aspectos ambientales. ISBN 950-665-347-X. pág. 245-256. UNRC.
- Blarasin M., Damilano G., Cabrera A. y Matteoda E., 2006.** Hidrogeoquímica del acuífero freático en un agroecosistema y consideraciones sobre el cálculo de la línea de base de la calidad del agua. Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Paraguay. 25 pp.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Damilano G. y Giuliano Albo J., 2008.** Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad de agua. En: Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios. Cantú M., Becker A., Bedano J. (Eds) Ed. UNRC. Pp. 69-80.
- Blarasin M., Cabrera A. y Alincastro N., 2011.** Evaluación del nivel freático y consideraciones en relación a procesos de recarga-descarga del acuífero. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. VII Congreso Argentino de Hidrogeología V Seminario Hispanolatinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Salta. Argentina.
- Blarasin M., Bécher Quinodóz F., Felizzia J., Giuliano Albo J. y Cabrera A., 2012.** Hidrogeoquímica del acuífero freático, anomalías en nitratos y relación con valores de fondo natural, Justo Daract, San Luis. II Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU). Bahía Blanca, Buenos Aires. Resumen extendido. En CD: pág. 23-29. Edic. de la UNS. ISBN: 978-987-1620-86-9.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Frontera H., Aguirre M., Maldonado L., Bécher Quinodóz F. y Giuliano Albo J., 2014.** Relatorio sobre recursos hídricos subterráneos de Córdoba. Parte I: Aspectos litológicos, hidráulicos, cambios de régimen y reservas de los principales acuíferos. A publicarse en el XIX Congreso Geológico Argentino, a realizarse en la ciudad de Córdoba del 2 al 6 de junio de 2014.
- Bonorino G., Albouy R., Lexow C. y Carrica J., 1999.** Nitratos en acuífero zona periserrana de las sierras australes. II Congr. Arg. Hidrog. Serie Correlación Geológica N° 13: 231-240. ISSN 1514-4186.
- Brassington R., 2007.** Field Hydrogeology. John Wiley & Sons Ltd, England.
- CAA (Código Alimentario Argentino), 1994.** Res. 494/94. Boletín Oficial N° 27.932, 1° sección. Art. 982 modificado.
- Cabrera A., Blarasin M., Cabrera S., Matteoda E., Gómez M. L., Villalba G., Hildmann F. y Bettera A., 2005.** Arsénico y fluor en el acuífero freático en el sur de Córdoba: Línea de base hidroquímica y problemática ambiental vinculada. 12 pp. En: Arsénico en aguas: origen,

- movilidad y tratamiento. Galindo G., Fernandez Turiel J., Parada M. y D. Gimeno Torrente Editores. ISBN: 987-05-0058-7.
- Cantú M., 1992.** Holoceno de la prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 pág. Paraná. Argentina.
- Cantú M. y Degiovanni S., 1984.** Geomorfología de la Región Centro Sur de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. Actas IV: 76- 92.
- Capitanelli R. G., 1979.** Clima. En: Geografía física de la Provincia de Córdoba. Editorial BOLDT pág 45-138.
- Carignano C., Cioccale M y Rabassa J., 1999.** Landscape Antiquity of the Central-Eastern Sierras Pampeanas (Argentina): Geomorphological Evolution since Gondwanic Times." Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 118: 245-268. Berlín-Stuttgart.
- Chebli G., Mozetic M., Rossello C. y Bühler M., 1999.** Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.
- Código Alimentario Argentino, 1994.** Res 494/94. Oletín Oficial N° 27.932, 1° Sección. Art. 982 modificado.
- Costa C., 1996.** Análisis neotectónico en las Sierras de San Luis y Comechingones: problemas y métodos. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas II: 285-300.
- Costa C., Giaccardi A. y González Díaz E., 1999.** En Smith, B. J.; Whalley, W.B. y Warke, P.A. (Eds) Uplift, Erosión and Stability: Perspectives on Longterm Landscape Development. Geological Society, London. Special Publications. 162: 229-238.
- Custodio E. y Llamas M., 1983.** Hidrología subterránea. Ed. Omega. Barcelona. 2 vol.
- Custodio E., 1993.** Hidrogeoquímica e Isotopía ambiental. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Bocanegra y Rapaccini (Eds.). Mar del Plata. Pp. 61-78.
- Dalla Salda L., 1984.** La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. Revista Asociación Geológica Argentina, 39: 38-51.
- Degiovanni S., 2005.** Geomorfología Regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 950-665-350-X
- Degiovanni S., 2008.** Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del arroyo Achiras-del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.
- Degiovanni S. y Blarasin M., 2005.** Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN950-665-350.
- Degiovanni S. y Cantú M., 1997.** Neotectonic activity in the La Cruz-Gigena depression, Córdoba, Argentina. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III. Tomo 1: 142. Bologna. Italia.
- Degiovanni S., Villegas M. y Doffo N., 2003.** Geomorfología del extremo Sur de la Sierra de Comechingones. II Cong. Nac. de Cuaternario y Geomorfología (S.M.Tucumán). Cuaternario y Geomorfología. ISBN 987-9390-47-4. pág 257-266.
- Degiovanni S., Villegas M., Blarasin M. y Sagripanti G., 2005.** Hoja Geológica 3363III Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Esc. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín N° 349. SEGEMAR. Servicio Geológico Minero Argentino.
- Díaz Delgado C., Esteller Alberich M. y López-Vera F., 2005.** Recursos Hídricos, conceptos básicos y estudio de caso en Iberoamérica. Centro Interamericano del Recurso del Agua, Universidad Autónoma del estado de México.
- Doering A., 1882.** Informe Oficial de la comisión científica agregada al Estado Mayor Gral. De la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio Roca. Geología, Bs. As., 3.
- Edmunds W. y Shand P., 2008.** Groundwater baseline quality. En "Natural groundwater quality" Edmunds y Shand (Eds.) Blackwell Publishing. ISBN 978-14051-5675-2. Pp. 1-21.
- Edmunds W. y Smedley P., 1996.** Groundwater geochemistry and health: an overview. In Appleton, J., Fuge, R. & McCall, G. (Eds.). Geological Society Pub. No. 113, Pp. 91-105.
- Eric C., 1986.** Geología del Cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto. Río Cuarto, Prov. Córdoba. Tesis de Licenciatura. U. N. R. C.

- Escuder R., Fraile J., Jordana S., Ribera F., Sánchez-Villa X. y Vásquez-Suñé E., 2009.** Hidrogeología. Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Publicado por la Fundación Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Barcelona, España. Editor: Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. ISBN 978-84-921469-1-8.
- Fagiano M., Otamendi J. y Nullo F., 1993.** Geología y Petrología del granito Los Nogales. XII Congr. Geol. Arg. y II Congr. Explor. Hidrocarburos. IV: 33-41. Mendoza.
- Feitosa F. y Filho J., 2000.** Hidrogeología, conceptos y aplicaciones. Ed CPRM. Serv.Geol. Brasil.
- Freeze R. y Cherry J., 1979.** Groundwater. Prentice Hall, NY. 1-604.
- Garrels R. y Christ Ch., 1965.** Solutions, minerals and equilibria. Ed. Freeman, Cooper & Co. San Francisco: 1-450.
- Giuliano Albo M.J., 2013.** Evaluación de la contaminación por nitratos en aguas subterráneas de agroecosistemas mediante el uso de isótopos estables  $^{15}\text{N}$ - $^{14}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$ , y otros solutos relacionados. Tesis Doctoral. Depto. De Geología. UNRC.
- Gordillo C. y Lencinas A., 1967.** Geología y petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores. Boletín de la Academia Nac. de Ciencias, 46:73-108. Córdoba.
- Gordillo C. y Lencinas A., 1979.** Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2º Simp. de Geol. Reg. Arg., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, I, 577-650.
- Gorgas J.A., Tassile J., Jarsún B., Zamora E., Bosnero E., Lovera E., Ravelo A., Carnero M., Bustos V., Pappalardo J., Petropulo G., Rossetti E. y Ledesma M., 2003.** Los recursos naturales de la Provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente-INTA Manfredi.
- Guzik M., Liszka P., Zembal M. y Pacholewski A., 2005.** Nitrate and nitrite in shallow groundwater. En —Nitrates in Groundwater II. Razowska-Jaworek y Sadurski (eds). Balkema Publishers. ISBN 90 5809 664 5. Pp. 149-153.
- Heaton T., 1986.** Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. Chem. Geol. (Iso. Geo. Sect.), 59: 87-102.
- Hernández L., 1984.** Mineralogía de los depósitos aflorantes en el arroyo Chucul. Córdoba. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédita.
- Iriondo M., 1999.** Climatic changes in the South American plains: Records of a continent –scale oscillation. Quaternary International, 57 58, 93-112 pp. Elsevier Sciences Ltd.
- Jordan T. y Allmendinger R. W., 1986.** The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. American Journal Science 286: 737- 64.
- Keeney D., 1986.** Sources of Nitrates to Ground Water. CRC Critical Reviews. Environmental Control, Vol.16, Nº. 3, pp. 257-304.
- Linares E., y González R., 1990.** Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina 1957 – 1987. Serie "B" (didáctica y complementaria) Nº 19. Publicación especial de la Asociación Geológica Argentina.
- Lira R. y Kirschbaum A., 1990.** Geochemical evolution of granites from Achala batholith of Sierras Pampeanas, Argentina. En: Kay, S. M. y Rapela, C. W. Plutonism from Antarctica to Alaska, Geological Society of America Special Paper 241: 67-76. 1990
- Magnante L., 2012.** Variaciones morfológicas y morfodinámicas del arroyo El Cano en la última centuria. Causas e implicancias ambientales. Tesis de Licenciatura. Dpto de Geología. UNRC.
- Manzano M., Custodio E. y Nieto P., 2003.** El fondo natural de la calidad del agua subterránea. Primer seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Basile et al. (Eds.). Rosario. Argentina. Vol. 2: 607-620. ISBN 950-673-395-3.
- Martino R., 2003.** Las fajas de deformación dúctil de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Una reseña general. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 58 (4): 549-571.
- Martino R., Kraemer P., Escayola M., Giambastiani M. y Arnosio M., 1995.** Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba a los 32° S. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 50: 60-77.
- Massabié A., 1987.** Neotectónica y sismicidad en la región de Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Simposio de Neotectónica, p. 271-274. Tucumán.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y Cabrera A., 2008.** Contaminación por nitratos en el acuífero freático: análisis del fondo natural y relaciones con las actividades de uso del territorio. IX Congreso ALHSUD Quito, Ecuador.

- Nicolli H., 2006.** Fuentes y movilidad del As en aguas subterráneas de la llanura Chaco-Pampeana de la Argentina. Taller de distribución de As en Iberoamérica. Red Temática 406 RT0282 IBEROARSEN. Centro Atómico Constituy. Bs. As. ISBN 84-96023-58-3. Pp 29.
- Nicolli H., O'Connor T., Suriano J., Koukharsky M., Gómez Peral M., Bertini L., Cohen I., Corradi L., Baleani O. y Abril E., 1985.** Geoquímica del As y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura Sudoriental de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.
- Nicolli H., Smedley P. L. y Tullio J. O., 1997.** Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de La Pampa. Congreso Internacional del Agua. Bs. As. III 40.
- Nicolli H., Tineo, A., García J. y Falcón C., 2005.** Caracterización hidrogeoquímica y presencia de arsénico en aguas subterráneas de la cuenca del río Salí, provincia de Tucumán, Argentina. Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Galindo G., Fernandez Turiel J., Parada M. y D. Gimeno Torrente Editores.
- Nicolli H. B., Tineo A., García J. W. y Falcon C. M., 2007.** Presencia de As en las aguas subterráneas del sector Sur de la prov. de Tucumán, Arg. II Taller sobre As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. V Congr. Hidrog. Arg. Río Cuarto. ISBN: 987-987-23936-4- 9. Pp 107-114.
- Nriagu J.O., 1994.** Arsenic in the environment human health and ecosystem effects (advances in environmental science and technology, vol 27).
- Pacheco J. y Cabrera Sansores A., 2003.** Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México. Vol. 7, No 2, pp. 47-54.
- Padula E. y Mingramm A., 1963.** The fundamental geological pattern of the Chaco- Paraná Basin (Argentina) in relation to its oil possibilities. 6<sup>o</sup> World Petr. Congr. Francfort del Meno, 1(1):1-18.
- Padula E. y Mingramm A., 1968.** Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónicosedimentario del triásico en el subsuelo de la Llanura Chaco- Paranaense. Actas III Jorn. Geol. Arg., Bs. As. 1:291- 331.
- Panno S., Kelly W., Weibel C., Krapac I. y Sargent S., 2003.** Water quality and agrichemical loading in two groundwater basins of Illinois's inkhole plain. Environmental Geology Series, n<sup>o</sup> 156: 36 p.
- Passotti P., 1974.** La Neotectónica en la llanura pampeana. Fundamentos para el Mapa Neotectónico. Inst. de Fisiografía y Geología. Publ. LVIII, UNR. Rosario. Arg.
- Passotti P. y Castellanos A., 1966.** Rasgos geomorfológicos generales de la llanura pampeana. Confer. Regional Latinoamericana, U.G.I., Tomo III, México.
- Pezzi E.E. y Mozetic M.E., 1989.** Cuencas sedimentarias de la región Chacoparanense. In G. Chebli, L. Spalletti (eds.). Cuencas Sedimentarias Argentinas. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie de Correlación Geológica, 3, 6, 5, 7 y 8.
- Pinotti L., 1998.** El batolito Cerro Áspero, Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sas. Pampeanas: Tesis Doctoral (inédita). UNRC, 203 pp.
- Pinotti L., Coniglio J., Esparza D'Eramo, F. y Llambías E., 2002.** Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal level. Cerro Aspero Batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. Journal of South American Earth Science, 15: 251-265.
- Ramos V. A., 1999.** Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. Geología Argentina. Anales 29 (24): 715-784. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ramos V.A., Cristallini E.O. y Pérez D.J., 2002.** The Pampean Flat-Slab of the Central Andes. Journal of South American Earth Sciences 15: 59-78.
- Rapela W., Pankhurst R. J., Kirschbaum A. y Baldo E., 1991.** Facies intrusivas de edad Carbónica en el batolito de Achala: evidencias de anatexis regional en las Sierras Pampeanas. Congreso Geológico Chileno. Vol. I, 40-43.
- Rapela C. W., Pankhurst R. J., Casquet C., Baldo E., Saavedra J. y Galindo C., 1998.** Early evolution of the proto-andean margin of South America. Geology 26 (8) 707-710.
- Ravelo C., 1990.** PDIMES. Balance hídrico seriado - Indices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asociación Agronómica de Agrometeorología. 8 pág.
- Richards L. A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.
- Riverside, 1954.** U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U. S. Department of Agriculture Handbook No 60. Washington.

- Rossi P., Lexow C y Bonorino G., 1992.** Los nitratos en el agua subterránea de la cuenca superior del arroyo Chasicó. 3ras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas: 201-206.
- Russo A., Ferello R. y Chebli G., 1979.** Llanura Chaco Pampeana. Geología Reg. Argentina. Vol. I. Pp. 139-183.
- Sagripanti G., Origlia D. y Campanella O., 1998.** Sismicidad en una región de intraplaca. Departamento Río Cuarto. Pcia. de Córdoba. Argentina. Actas Conferencia Internacional "Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis". Santiago. Chile. pp. 281 - 293.
- Sagripanti G., Costa C., Origlia D., y Schiavo H., 2001.** Avances en la caracterización del peligro sísmico en el Dpto. Río Cuarto, Cba. Arg. IV Cong. Geología y Minería Soc. Cubana de Geología, GEOMIN. Cuba. Actas: CD.
- Santa Cruz J. N., 1972.** Geología al Este de la sierra Chica (Córdoba) Valle del río Primero. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba. Tomo 1: 3-4.
- Smedley P., 1996.** Arsenic in rural groundwater in Ghana. Journal of African Earth Sciences. Vol. 22, 4, pp. 459-470.
- Smedley P. y Kinniburgh D., 2002.** A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Apply Geochemistry 17:517-568.
- Thornthwaite C., 1948.** An approach towards a rational classification of climate. Geographic Review 38 (1): 221-229. Amsterdam.
- Ulla, J. P., 2008.** Variación de parámetros sedimentológicos y su relación con la descarga e intervenciones de cauce en la cuenca media alta del río Chocancharava, Cba. Tesis de Licenciatura, Dpto de Geología, UNRC. Inédito.
- Usunoff E., 1996.** Mecanismos que afectan el transporte del ion fluoruro en acuíferos. XIII Congreso Geológico Argentino, Vol. 4. Pág. 427-444.
- Usunoff E., 1998.** La modelación hidrológica como insumo de la planificación y de la gestión: Principales limitantes. Actas del Simpocio Sobre Planificación, Gestión y Economía de los Recursos Hídricos "El Agua en el 2000", pp 155-170.
- Villalba G., 1999.** Estudio geohidrológico con énfasis en la geoquímica del flúor de la Cuenca del Río El Talita, Dpto. Río Cuarto. Córdoba. Tesis de licenciatura. UNRC. Inédito. 200 pág.
- Vrba J. y Lipponen A., 2007.** Groundwater Resources Sustainability Indicators. IHP – VI Series on Groundwater No. 14. UNESCO: Paris. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001497/149754e.pdf>
- Weyer P., Cerhan J., Kross B., Hallberg G., Kantamneni J., Breuer G., Jones M., Zheng W. y Lynch C., 2001.** Municipal Drinking Water Nitrate Level and Cancer Risk in Older Women: The Iowa Women's Health Study. Epidemiolo