

**Tesis de Licenciatura**

**Análisis geomorfológico,  
sedimentológico y geofísico para evaluar  
potencialidad para la extracción de  
áridos en el abanico aluvial del río Seco  
- cuenca del río Cuarto - Córdoba**

**AUGUSTO BONGIOVANNI ABEL**

**Director: Susana Beatriz Degiovanni**  
**Co-director: Juan Alcides Felizzia**

**Universidad Nacional de Río Cuarto**  
**Facultad de Cs. Exactas, Físico – Químicas y Naturales**  
**Dpto. de Geología**



**TESIS DE LICENCIATURA**

**Análisis geomorfológico, sedimentológico y  
geofísico para evaluar potencialidad para  
extracción de áridos en el abanico aluvial del  
río Seco – cuenca del río Cuarto - Córdoba**

**AUGUSTO BONGIOVANNI ABEL**

**Director: Susana Beatriz Degiovanni**

**Co-director: Juan Alcides Felizzia**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi querida familia, a mis padres Ana y Juan, por su apoyo constante y por su esfuerzo para brindarme la posibilidad de poder estudiar. A mi hermano, Silvestre, por bancarme y ser mi compañía en todo momento. A mi abuela, por su cariño. Infinitamente agradecido por todo lo que hacen por mí.*

*A Karen, por compartir este camino, estar siempre a mi lado y por hacerme inmensamente feliz. Y a su familia, por dejarme ser uno más de ellos.*

*A mis amigos, los del pueblo y los que me dio esta hermosa carrera, gracias por compartir infinitudes de momentos conmigo.*

*A Gringa y Juan, por acompañarme en este momento importante de mi vida, por ser excelentes profes y mejores personas.*

*A todos los profes del departamento, que de una u otra manera me transmitieron el amor por esta profesión.*

# ÍNDICE

Agradecimientos

Índice

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

1.1. Fundamentación y antecedentes.....	1
1.2. Ubicación del área de estudio .....	4
1.3. Hipótesis de trabajo.....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo principal .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5

## **CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1. Introducción.....	6
2.1.1. Etapa de gabinete inicial.....	6
2.1.2. Etapa de campo .....	7
2.1.3. Etapa de laboratorio .....	9
2.1.4. Etapa de gabinete final .....	9

## **CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA REGIONAL**

3.1. Introducción.....	11
3.2. Estratigrafía.....	12
3.2.1. Sierras Pampeanas .....	12
3.2.1.1. Sierras Pampeanas Orientales .....	12
3.2.1.1.1. Sierra de Comechingones.....	14
3.2.2. Llanura Chacopampeana.....	15
3.2.2.1. Estratigrafía de subsuelo .....	16
3.2.2.2. Estratigrafía aflorante .....	17
3.3. Estructuras .....	19
3.3.1. Principales estructuras del Sur de Córdoba.....	20
3.4. Geomorfología.....	21
3.4.1. Sistema de Sierras Pampeanas.....	22
3.4.1.1. Sierras de Comechingones.....	22

3.4.1.2. Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones.....	24
3.4.2. Llanura pampeana.....	25
3.4.2.1. Planicie fluvio-eólica Central.....	25
<b>CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLOGÍA</b>	
4.1. Caracterización climática general.....	27
4.2. Hidrología superficial.....	30
4.3. Hidrología subterránea.....	32
<b>CAPÍTULO 5: GEOLOGÍA LOCAL</b>	
5.1. Estratigrafía.....	35
5.1.1. Descripción de perfiles sedimentológicos-estratigráficos.....	36
5.1.2. Evolución geológica del área de estudio.....	50
5.2. Estructura.....	52
<b>CAPÍTULO 6: GEOMORFOLOGÍA</b>	
6.1. Introducción.....	56
6.2. Descripción de unidades geomorfológicas.....	56
<b>CAPÍTULO 7: PROSPECCIÓN GEOFÍSICA</b>	
7.1. Sondeos eléctricos verticales.....	68
7.1.1. Descripción y análisis de SEV.....	69
7.2. Interpretación y correlación de perfiles esquemáticos de SEV.....	77
<b>CAPÍTULO 8: APTITUD DEL TERRITORIO</b>	
8.1. Introducción.....	82
8.2. Índice de aptitud/potencialidad del territorio para extracción de áridos.....	83
8.2.1. <i>Definición y desarrollo</i> .....	83
8.2.2. <i>Definición de clases de aptitud según IApEA</i> .....	84
8.3. Determinación del índice IApEA en el área de estudio.....	86
8.3.1. Aptitud geomorfológica.....	86
8.3.2. Aptitud litológica.....	88
8.3.3. Aptitud según la potencia del material estéril.....	90
8.3.4. Aptitud hidrológica.....	92
8.3.5. Carta de potencialidad del territorio para la extracción de áridos.....	93

**CAPÍTULO 9: CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES**

9.1. Consideraciones finales ..... 96  
9.2. Conclusiones..... 98

**CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA**

10.1. Citas bibliográficas ..... 101

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Fundamentación y antecedentes**

Durante el último siglo, en el Sur de la provincia de Córdoba se han observado alteraciones en el funcionamiento de los sistemas fluviales (Blarasin *et al.*, 1994; Degiovanni *et al.*, 2005 a-b, 2014; Degiovanni, 2008), vinculadas tanto a causas naturales como antrópicas, lo cual genera importantes problemas ambientales que requieren respuestas a mediano y corto plazo por parte de los organismos de gestión. El río Cuarto/Chocancharava, en particular, desde mediados del siglo pasado, muestra desajustes asociados, fundamentalmente, a dos tipos de intervenciones: extracción de áridos en cuenca media y canalizaciones – rectificaciones en su tramo inferior (Degiovanni *et al.*, 2000; Villegas *et al.*, 2000; Doffo *et al.*, 2016; entre otros), actividades que se incrementaron en las últimas décadas. La minería de áridos se lleva a cabo desde hace varias décadas y se concentra especialmente en proximidades de la ciudad de Río Cuarto, incluyendo el ejido urbano, donde se extrae de cauce y de terrazas, de manera manual o mecanizada, según se trate de empresas de envergadura o particulares de bajos recursos. Los volúmenes extraídos, aunque varían según la demanda, son muy significativos en el caso de las grandes empresas que comercializan los áridos en varias provincias de la región central del país (Coniglio *et al.*, 2008).

Esta actividad, como lo señalan varios autores (Kondolf, 1997; Rinaldi *et al.*, 2005; Gregory, 2006; Duncan *et al.*, 2008; Zwijska *et al.*, 2015), adquiere relevancia por la alteración que ejerce sobre el régimen hidrosedimentológico, cuyas consecuencias en la estabilidad del canal se manifiestan a través de cambios en la granulometría de la carga, ajustes en el perfil longitudinal, aumento en la migración del canal, entre otros. En relación a los problemas ambientales, la minería de áridos potencia localmente peligros naturales (erosión e inundación) y genera impactos ambientales negativos (contaminación de agua, degradación del paisaje, entre otros).

Específicamente sobre el río Cuarto, se destacan estudios con enfoques geomorfológicos, sedimentológicos, hidráulicos, entre otros, realizados por Villegas *et al.*, (2002), Degiovanni *et al.*, (2005 a-b, 2013), Corral *et al.*, (2005, 2007 y 2009), donde se

asocian a la actividad extractiva algunas alteraciones en la morfología del canal (diseño en planta, sección transversal y perfil longitudinal), en los procesos morfodinámicos (incremento de la tasa de incisión y erosión lateral) y notorios cambios texturales – composicionales en la carga de fondo, así como un aumento en la carga en suspensión. Cabe destacar que algunas de estas alteraciones son localizadas y temporarias, ya que dependen de la relación extracción/reposición (Villegas *et al.*, 2006; Degiovanni *et al.*, 2013). Por otra parte, existen trabajos (Degiovanni y Cantú, 1994; Blarasin *et al.*, 2005) que dan cuenta de la relación de esta actividad con el riesgo de erosión de márgenes y profundización del río como así también señalan los impactos ambientales generados por la extracción de áridos en cauce y terrazas fluviales en proximidades de la ciudad de Río Cuarto.

Considerando estos antecedentes y la localización de las principales areneras, varias de las cuales están comprendidas en el ejido urbano actual y proyectado para la ciudad de Río Cuarto, resulta evidente la necesidad de efectuar un ordenamiento y gestión sustentable de la extracción de áridos, tanto de cauce como de terrazas o paleocanales, que permita definir más adecuadamente los sitios de extracción, fijar cupos acordados con la tasa de reposición estacional, considerar pasivos ambientales relacionados a la actividad, entre otros. Con el propósito de disminuir la presión en el sector urbano y periurbano de la ciudad, se efectuaron varias reuniones de trabajo entre funcionarios municipales y provinciales, y especialistas de la UNRC, al final de las cuales se acuerda encomendar a la UNRC la evaluación de otras áreas como fuente de áridos. Así, el Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba en Diciembre del 2017, entrega un subsidio a la UNRC (Dpto de Geología-FCEFQyN y FAV) para llevar adelante el Proyecto “*Evaluación de la potencialidad del territorio para la extracción de áridos y delimitación de líneas de ribera y riesgo hídrico en el abanico aluvial del río Seco, Córdoba*”.

Esta área, donde se realizaría la explotación de canteras, es considerada de interés por las siguientes razones:

- Según Villegas *et al.*, (2006) y Degiovanni *et al.*, (2013) la proveniencia de los materiales que componen la carga de fondo del río Cuarto tiene dos fuentes perfectamente individualizables, que se asocian a las diferentes litologías expuestas en la Sierra de Comechingones: a) los materiales psefíticos son aportados predominantemente por el río Piedras Blancas que drena rocas metamórficas (gneises, migmatitas, milonitas) y b) las fracciones psamíticas-sabulíticas, que conforman el recurso explotable, provienen de los ríos Seco,

San Bartolomé (La Invernada) y Las Cañitas, que drenan rocas graníticas del batolito Cerro Áspero.

- Considerando las características geomorfológicas y sedimentológicas de las llanuras aluviales de los tributarios que transportan materiales de interés económico, adquiere relevancia el tramo inferior del río Seco. Este curso previo a su desembocadura en el río Cuarto, desarrolló un ambiente de agradación, conformado por paleocanales y sistemas de derrames, de aproximadamente 90 km<sup>2</sup> y decenas de metros de espesor (datos de perforaciones realizadas para explotación de agua subterránea). Los materiales aflorantes y/o alumbrados en perforaciones, en general son areno-gravosos, holocenos y muestran mínimo grado de diagénesis; por todo lo expuesto, la zona tendría un alto potencial para el desarrollo de la minería de áridos.

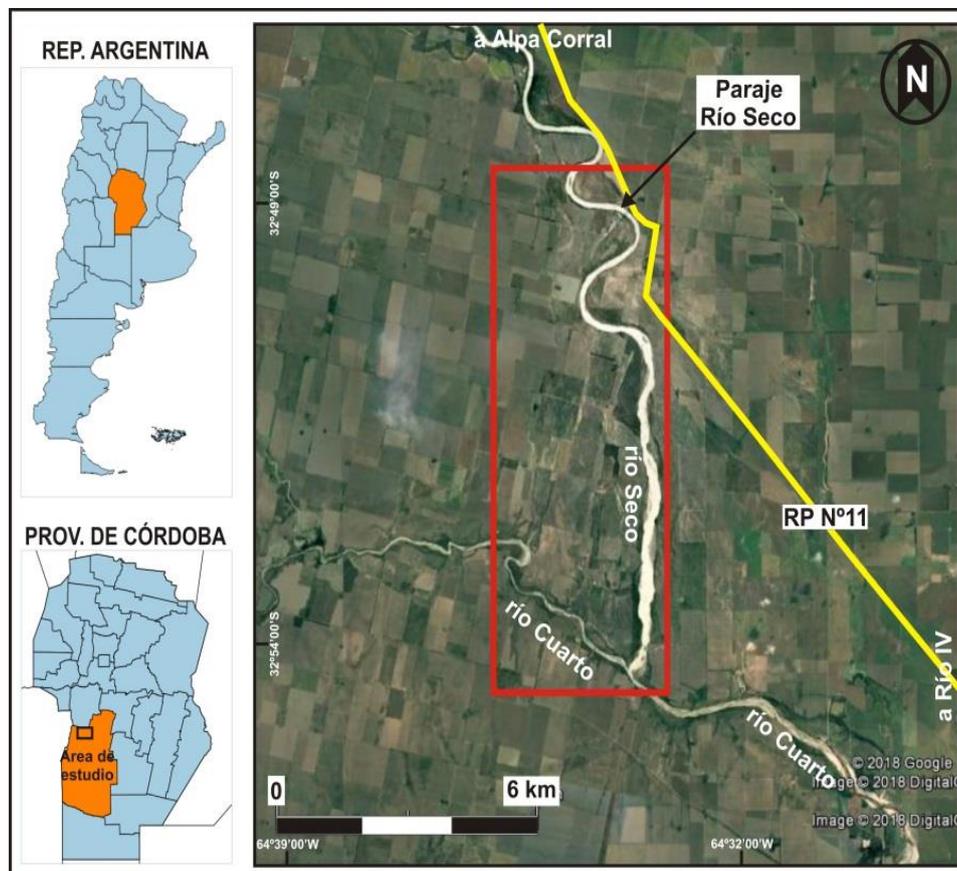
En este marco y considerando los objetivos de los proyectos de investigación (PPI-SECYT-UNRC y PICT-FONCYT- “Comportamiento morfohidrológico de la cuenca del río Cuarto, con énfasis en sitios ambientalmente críticos. Análisis de variables tectónicas, climáticas y antrópicas que operaron en el mediano y largo plazo”), en los que se enmarca este Plan de Tesis de Licenciatura, en este trabajo se propone avanzar en la evaluación del potencial minero que presenta el sector occidental del abanico aluvial del río Seco.

Existen diversas metodologías que, junto al estudio de la distribución de los recursos geológicos, proponen analizar otras variables ambientales de importancia. En este caso las metodologías denominadas de ordenamiento minero-ambiental intentan ajustarse a fórmulas y métodos de trabajo de la ordenación territorial, incluyendo una fase de diagnóstico territorial para evaluar capacidad de acogida ante la actividad extractiva mediante un modelo impacto/aptitud. En lo que corresponde a la valoración del potencial geológico-minero, es la información disponible y la escala de trabajo las que condicionan los procedimientos para la delimitación cartográfica y la calificación de los recursos potencialmente explotables (Hernandez Durán, 2015). Según Barrettino (2002), los primeros trabajos de planificación territorial que analizaron el potencial de los recursos geológicos considerando además los aspectos ambientales se desarrollaron en la década de 1970 por el Servicio Geológico de Hannover y consistieron en conjuntos de mapas geoambientales o geocientíficos que traducen la información geológica de modo que pueda servir de herramienta útil, simple y de fácil comprensión para los planificadores a escalas regionales y urbana o local (Lütting, 1979). En base a estos y otros antecedentes, en este trabajo se utiliza como base una línea de trabajo denominada Ordenación Minero-Ambiental de los recursos minerales (impulsada por el Instituto Geológico de

España –IGME–), cuyo objetivo principal es la elaboración de cartas de ordenación minero-ambiental. En los mapas se definen y delimitan diferentes categorías sobre las áreas con recursos potencialmente explotables, con el fin de lograr una propuesta de ordenación de zonas explotables con diferentes niveles de prioridad. Con estas premisas, se realizan valoraciones de los elementos del medio y se confecciona la carta de potencialidad/aptitud del territorio para la extracción de áridos en el abanico aluvial del río Seco, como primer paso para la ordenación minero-ambiental del área que la provincia proyecta llevar a cabo en un futuro cercano.

## 1.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Córdoba, en el departamento Río Cuarto, aproximadamente a unos 30 km hacia el Noroeste de la ciudad de Río Cuarto. El sector de interés comprende un área de 36 km<sup>2</sup> aproximadamente, en la cual se encuentra el paraje Paso del Río Seco. Se puede acceder al lugar desde la ruta provincial N° 36, tomando el viejo camino a Alpa Corral (ruta provincial N°11), hacia el Noroeste (Fig. 1.1).



**Fig. 1.1.** Ubicación del área de estudio.

### **1.3. Hipótesis de trabajo**

La distribución en superficie y profundidad, geometría y textura de los cuerpos sedimentarios de interés para la explotación de áridos se encuentra controlada por las características y evolución geomorfológica del abanico aluvial del río Seco.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo principal**

Efectuar un análisis geomorfológico, sedimentológico y geofísico del abanico aluvial del río Seco y definir unidades del territorio según su potencialidad para extracción de áridos.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Efectuar una caracterización geológica-geomorfológica de la región de estudio.
- Elaborar una carta geomorfológica de detalle en el área de estudio, discriminando especialmente las distintas subunidades fluviales/aluviales.
- Caracterizar texturalmente los sedimentos aflorantes.
- Calibrar las resistividades obtenidas en los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con información real.
- Estimar geometría de los principales cuerpos aluviales de interés (areno-gravosos).
- Elaborar una carta de potencialidad/aptitud del territorio para la extracción de áridos.

## **CAPÍTULO 2**

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Introducción**

La metodología utilizada en el presente trabajo comprendió, en una primera instancia un relevamiento geológico-geomorfológico superficial de detalle, determinaciones granulométricas de los distintos materiales aflorantes y estudios geoeléctricos para evaluar la geología del subsuelo. En una segunda instancia, se elaboró la cartografía geoambiental de aptitud/potencialidad del área para extracción de áridos, a través del desarrollo de un índice de aptitud que incluye la valoración ponderada de toda la información de base generada en la primera etapa. Las distintas actividades se llevaron a cabo en 4 etapas principales: etapa de gabinete inicial, etapa de campo, etapa de laboratorio y etapa de gabinete final.

#### **2.1.1 Etapa de gabinete inicial**

Para esta primera etapa de investigación se comenzó con recopilación y análisis de la información existente que consistió en la búsqueda de datos cartográficos, geológicos, hidrológicos-hidrogeológicos, sedimentológicos, geomorfológicos, climáticos, entre otros. Se elaboró cartografía preliminar geológica-geomorfológica a escala local, utilizando de base cartas del IGN a escala 1:100.000, imágenes satelitales de Google Earth (años 2013, 2017, 2018) y de ASTER SRTM x30 metros, escala 1:100.000 (año 2012), también se utilizaron fotografías aéreas, escala 1:20.000 del año 1970.

Por medio del software Global Mapper 13 y con la utilización de las imágenes ASTER, se realizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) que consiste en una representación digital de información cartográfica en forma raster. A partir del modelo de elevación se efectuaron perfiles transversales en distintas posiciones del área y se obtuvieron algunas visualizaciones 3D, que permitieron visualizar mejor y definir la traza de las estructuras presentes como así también observar las variaciones geomorfológicas mayores.

Sobre la cartografía geológica-geomorfológica preliminar se seleccionaron los sitios a relevar, describir perfiles y muestrear sedimentos en campo, así como aquellos donde se realizarían los sondeos eléctricos verticales (SEV). Los sitios elegidos para describir perfiles sedimentológicos-estratigráficos y tomar muestras de sedimentos, estuvieron muy condicionados por las exposiciones que, en general se reducen a las márgenes de los ríos Cuarto y Seco, y los sistemas de cárcavas. Además de los perfiles, se diagramó el muestreo del material de lecho del cauce actual del río Seco, desde el vado del paraje homónimo hasta su desembocadura en el río Cuarto. Por otro lado, la elección de los lugares donde se llevarían a cabo los SEV, fueron definidos considerando los distintos ambientes geomorfológicos.

### **2.1.2 Etapa de campo**

Durante esta etapa se realizaron una serie de viajes al área de estudio, con distintos objetivos en cada uno de ellos. En las campañas iniciales, se priorizó el relevamiento de las principales características geológicas-geomorfológicas del área, y de esta manera, se corroboraron y/o ajustaron los límites de las unidades definidas en la cartografía preliminar y se relevaron procesos activos (erosión hídrica, erosión fluvial, sedimentación, desbordes, entre otros). Además, se describieron 14 perfiles sedimentarios/estratigráficos en los sitios seleccionados y se muestrearon los niveles de interés, conforme al objetivo de este trabajo.

En una segunda etapa se realizaron 12 sondeos eléctricos verticales (SEV), en los sitios predeterminados y sobre caminos públicos, utilizando equipamiento con configuración electródica Schlumberger y Wenner, del Dpto. de Geología. El sondeo eléctrico vertical es un método indirecto de investigación que tiene como finalidad la determinación de las profundidades de las distintas capas del subsuelo y las resistividades eléctricas de las mismas mediante mediciones realizadas desde la superficie. El objetivo de la interpretación geoeléctrica es inferir la naturaleza de los rasgos geológicos del subsuelo a partir de las variaciones observadas en las resistividades de los materiales que lo componen.

Las mediciones de campo, para la realización de un SEV, consisten en inyectar una corriente eléctrica por los electrodos A y B (medida en miliamper) y registrar la diferencia de potencial en los electrodos M y N (en milivolts) y luego a partir de una fórmula se determinan las resistividades eléctricas aparentes que corresponden a una serie creciente de separaciones entre electrodos (Fig. 2.1.a). Los resultados obtenidos en el

campo de intensidad de corriente y diferencia de potencial permiten, mediante una fórmula, calcular la curva de resistividad aparente ( $\rho_a$ ) la cual se ve representada en gráficos en los que en el eje de las abscisas se apuntan los valores de profundidad en metros y en el eje de las ordenadas se expresan los valores de resistividades aparentes en ohm por metro en escala bilogarítmica.

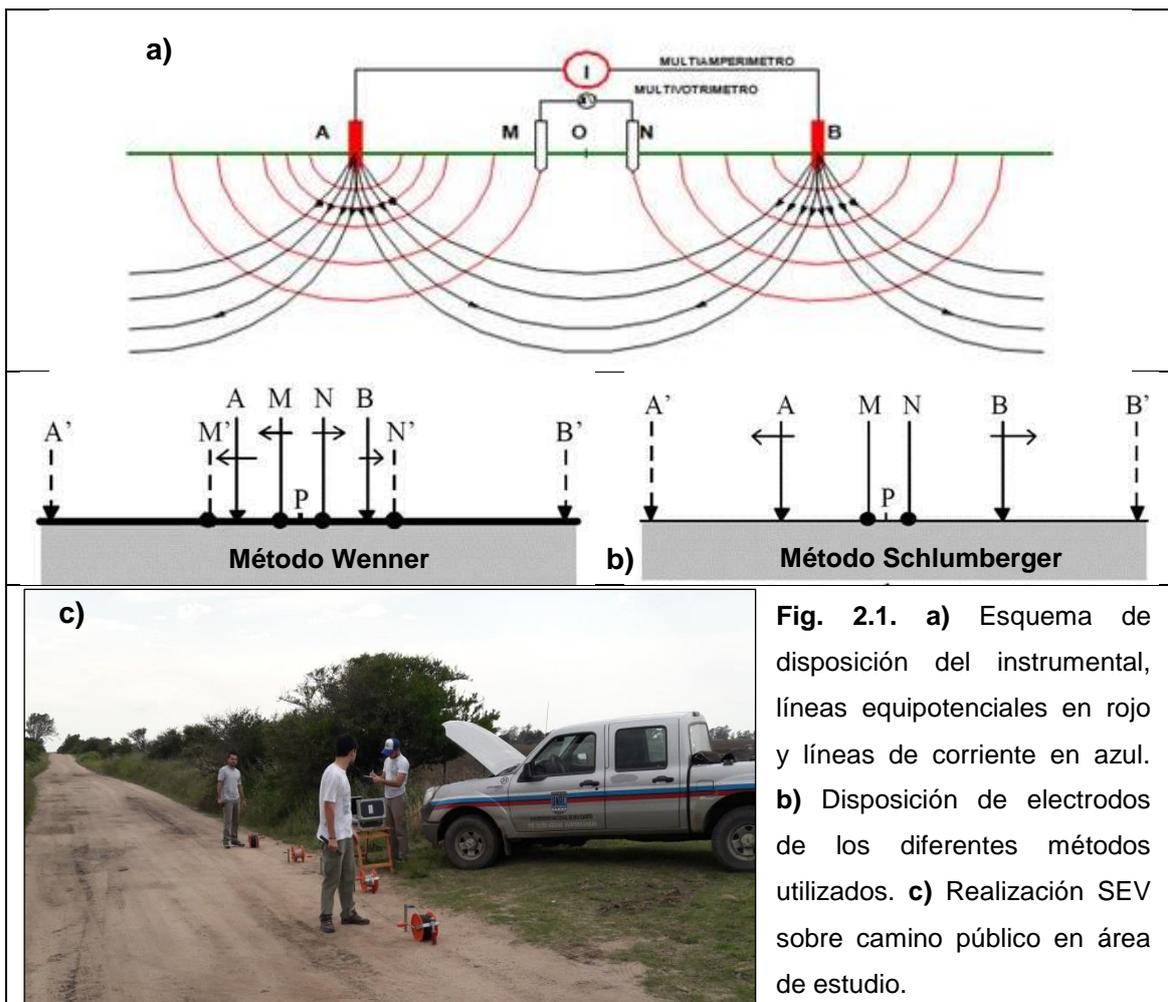
$$\rho_a = (\Delta V \times K) / I,$$

donde:  $\rho_a$  = resistividad aparente.

$\Delta V$  = diferencia de potencial [millivolt].

$I$  = intensidad de corriente [miliamper].

$K$  = constante que depende de la separación de electrodos ( $K = 2 \cdot \pi \cdot a$ ).



El instrumental que se empleó para la obtención de las resistividades fue un multímetro – amperímetro – voltímetro y en campo se utilizó el arreglo de electrodos Wenner y Schlumberger. La diferencia entre ellos es que el primer método utiliza una distribución equidistante de los electrodos AMNB, mientras que, el método Schlumberger se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB, donde la distancia entre los electrodos MN es mucho menor a la de AB (en la práctica la relación es de  $AB > 5MN$ ), (Fig 2.1.b). Cabe recalcar que en algunos sitios se realizaron los SEV con ambas metodologías para corroborar si se obtenían valores similares. Los SEV se distribuyeron en transectas E-O y N-S interceptando los distintos subambientes geomorfológicos que componen el abanico aluvial del río Seco.

### **2.1.3 Etapa de laboratorio**

La principal tarea realizada en el laboratorio fue el análisis granulométrico (con tamices ASTM, y utilizando la escala Udden-Wendworth) de las 18 muestras de sedimentos obtenidas en perfiles sedimentarios expuestos y lecho del río Seco. Previo secado y posterior preparación, las muestras se procesaron mediante un agitador de tamices tipo rot-up, para determinar la distribución por tamaño de partícula de las distintas fracciones. La secuencia de tamices utilizada incluyó las siguientes aberturas, algunas de las cuales se incorporaron por constituir fracciones de interés comercial: tamiz 1 ½ (37,5 mm), tamiz 1 (25 mm), tamiz 1/2 (12,5 mm), tamiz 3/8 (9,5 mm), tamiz 1/4 (6,3 mm), tamiz 4 (4,75 mm), tamiz 1/8 (3,15 mm), tamiz 10 (2 mm), tamiz 16 (1,18 mm), tamiz 30 (0,60 mm), tamiz 35 (0,50 mm), tamiz 60 (0,25 mm), tamiz 120 (0,12 mm), tamiz 200 (0,075 mm), tamiz 230 (0,063 mm) y tamiz 270 (0,053 mm).

### **2.1.4. Etapa de gabinete final**

Se interpretaron los perfiles sedimentológicos relevados contrastándose con los datos estratigráficos obtenidos del análisis de antecedentes. También se correlacionaron los datos obtenidos de perforaciones, que se pudieron conseguir gracias al aporte de distintos profesionales.

Mediante el tratamiento estadístico de sedimentos, se realizaron los gráficos de distribución granulométrica: histogramas, curva de frecuencia acumulada, fracción dominante y se observaron las variaciones de los estadísticos de posición y tendencia central (selección). Esta información, conjuntamente con la resultante del análisis e

interpretación de la información obtenida de los sondeos eléctricos verticales, permitió estimar la geometría de los principales cuerpos aluviales de interés (areno-gravosos).

Toda la información obtenida fue integrada y utilizada para la elaboración de un mapa de unidades del territorio según potencialidad para la extracción de áridos con una escala aproximada de 1:15.000. Para el desarrollo de ello, se utilizó como base una línea de trabajo denominada Ordenación Minero-Ambiental de los recursos minerales (impulsada por el Instituto Geológico y Minero de España –IGME–), cuyo objetivo principal es la elaboración de cartas de ordenación minero-ambiental. En los mapas se definen y delimitan diferentes categorías sobre las áreas con recursos potencialmente explotables, con el fin de lograr una propuesta de ordenación de zonas explotables con diferentes niveles de prioridad. En primer lugar se eligieron unidades territoriales para utilizar como unidad mínima de mapeo y evaluar las diferentes variables. En este caso la unidad básica de mapeo fue la unidad geomorfológica y, en cada una de ellas se estimó la aptitud como fuente del recurso árido considerando los siguientes aspectos: rasgos geomorfológicos, litología, de potencia de materiales no productivos e hidrología. Se realizó una valoración de cada parámetro para cada unidad, obteniéndose un mapa para cada uno de ellos, que posteriormente se superpusieron para obtener la carta de potencialidad/aptitud del territorio para extracción de áridos en el ámbito del abanico aluvial del río Seco (los detalles metodológicos se presentarán en el capítulo correspondiente).

## CAPÍTULO 3

# GEOLOGÍA REGIONAL

### 3.1. Introducción

El área de estudio integra dos regiones morfoestructurales mayores, con un estilo propio y rasgos geomorfológicos particulares: las provincias geológicas *Sierras Pampeanas* y *Llanura Chacopampeana* (Rolleri, 1976). La primera de ellas debe su nombre a Stelzner (1873), quien las definió como una serie de sierras formadas por esquistos cristalinos o metamórficos que emergen de las pampas circundantes. La Llanura Chacopampeana, por su parte, fue descrita por Groeber (1938) como una extensa planicie desarrollada al Este de las Sierras Subandinas y Sierras Pampeanas (Fig. 3.1).



**Fig. 3.1.** Ubicación del área de estudio en el contexto geológico regional. En recuadro rojo se indica el área de estudio.

## **3.2. Estratigrafía**

### **3.2.1. Sierras Pampeanas**

Las Sierras Pampeanas se ubican en la porción sur de la placa Sudamericana, limitan al Norte con la Cordillera Oriental y la Puna, al Este y el Sur con la Llanura Chacopampeana y al Oeste con la Precordillera. Corresponden a una macrounidad morfoestructural con una orientación meridional a submeridional ubicada en el antepaís del cinturón Andino abarcando varias provincias, como Catamarca, La Rioja, Tucumán, San Juan, Santiago del Estero, San Luis, Córdoba y Mendoza. Estas sierras están formadas por cordones serranos de basamento ígneo-metamórfico de edad Precámbrica a Paleozoica Superior, elevados por fallas inversas lítricas durante la tectónica Andina, separadas por sedimentos intermontanos Mesozoicos y Cenozoicos (Rapela *et al.*, 1998). Ramos, (1999a) las subdivide en Sierras Pampeanas Occidentales y Sierras Pampeanas Orientales, estas últimas son las de mayor interés en este trabajo.

#### **3.2.1.1. Sierras Pampeanas Orientales**

Las Sierras Pampeanas Orientales alcanzan una gran extensión areal incluyendo a las Sierras de Córdoba y el sector más oriental de las Sierras de San Luis (Fig. 3.2). Fueron definidas por González Bonorino (1950) como un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas de alto ángulo y extensión regional que se horizontalizan en profundidad al entrar en contacto con transiciones frágil-dúctil dentro de la corteza. De esta forma, los bloques adquieren una morfología asimétrica con laderas orientales tendidas y occidentales escarpadas, separados por valles longitudinales. Estos megabloques están conformados por complejos metamórficos precámbricos de grado medio, alto y bajo (Miró, 1999) y rocas magmáticas cámbricas (Rapela *et al.*, 1996) y, subordinadamente por rocas sedimentarias paleozoicas a cenozoicas. Los segmentos corticales expuestos comprenden rocas metamórficas deformadas que fueron consolidadas y exhumadas durante los ciclos Pampeano, Famatiniano y post-Famatiniano (Otamendi *et al.*, 2004)

Las Sierras de Córdoba abarcan el sector más oriental de las Sierras Pampeanas, con una extensión aproximada de 500 km de largo y 150 km de ancho. Según Gordillo y Lencinas (1979) se trata de una agrupación de cordones montañosos alineados N-S, compuestos por tres cordones mayores; la Sierra Norte, la Sierra Chica (incluyendo a la Sierra de Masa al Norte y la Sierra de las Peñas al Sur) y la Sierra Grande (y su extremo sur, la Sierra de Comechingones al Oeste de las anteriores).



### 3.2.1.1.1. Sierra de Comechingones

Específicamente las Sierras de Comechingones, corresponden a un cordón serrano de rumbo NNE-SSO, donde domina un entorno metamórfico de gneises, esquistos y migmatitas (Complejo Monte Guazú, Complejo Calamuchita, Complejo Achiras), intruído por el batolito Cerro Áspero y deformado por la faja de cizalla Guacha Corral (Fig. 3.3)

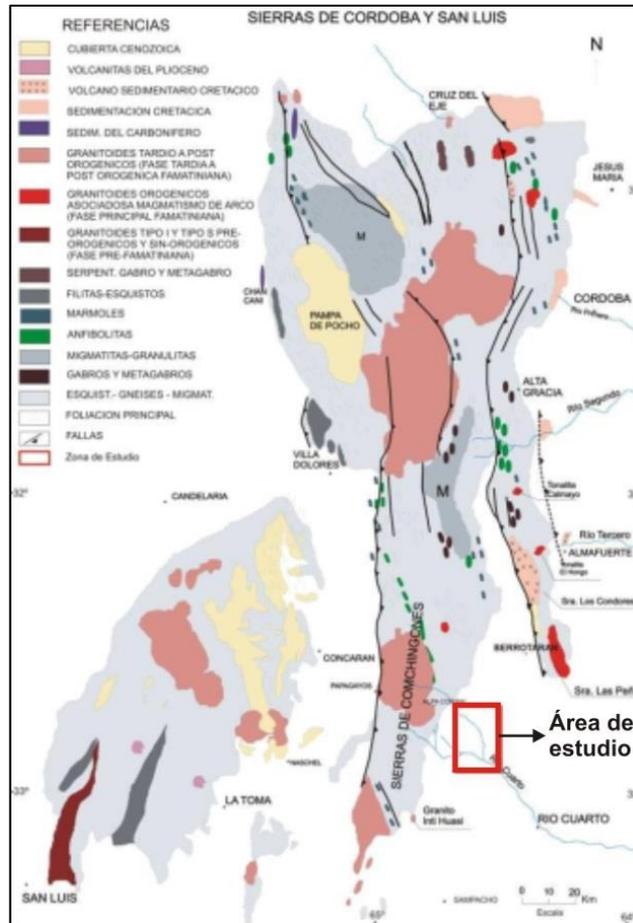


Fig. 3.3. Mapa geológico de las Sierras de Comechingones, tomado de Pinotti, 1998. El recuadro indica el área de estudio.

El *Complejo Monte Guazú* es la unidad litoestratigráfica de mayor distribución areal, y está compuesto principalmente por rocas cataclásticas y metamórficas como milonitas, gneises tonalíticos biotíticos y anfibolitas (Otamendi *et al.*, 1996; 2000).

El *Complejo Calamuchita* está constituido por rocas metamórficas de alto grado como gneises, migmatitas estromatíticas, diatexitas, granulitas, leucogranitos peraluminosos, mármoles, gneises calcosilicáticos, ortoanfíbolitas y peridotitas. (Otamendi *et al.*, 2004).

El Complejo Achiras está formado por dos asociaciones importantes: las metamorfitas-anatexitas India Muerta y los Granitoides tipo Los Nogales (Otamendi, 1995).

El *batolito Cerro Áspero* (440 km<sup>2</sup>) es un complejo granítico de edad Devónico Medio integrado principalmente por monzogranitos con variaciones que pueden alcanzar hasta granodioritas y tonalitas, donde Pinotti (1998) distinguió tres plutones: El Talita (385 km<sup>2</sup>), Alpa Corral (50 km<sup>2</sup>) y Los Cerros (5 km<sup>2</sup>).

Finalmente en la *faja de cizalla Guacha Corral*, se determinaron rocas protomiloníticas, miloníticas y ultramiloníticas subordinadas, mostrando una cinemática inversa predominante, con vergencia hacia el Oeste (Pinotti, 1998 y Pinotti *et al.*, 2002).

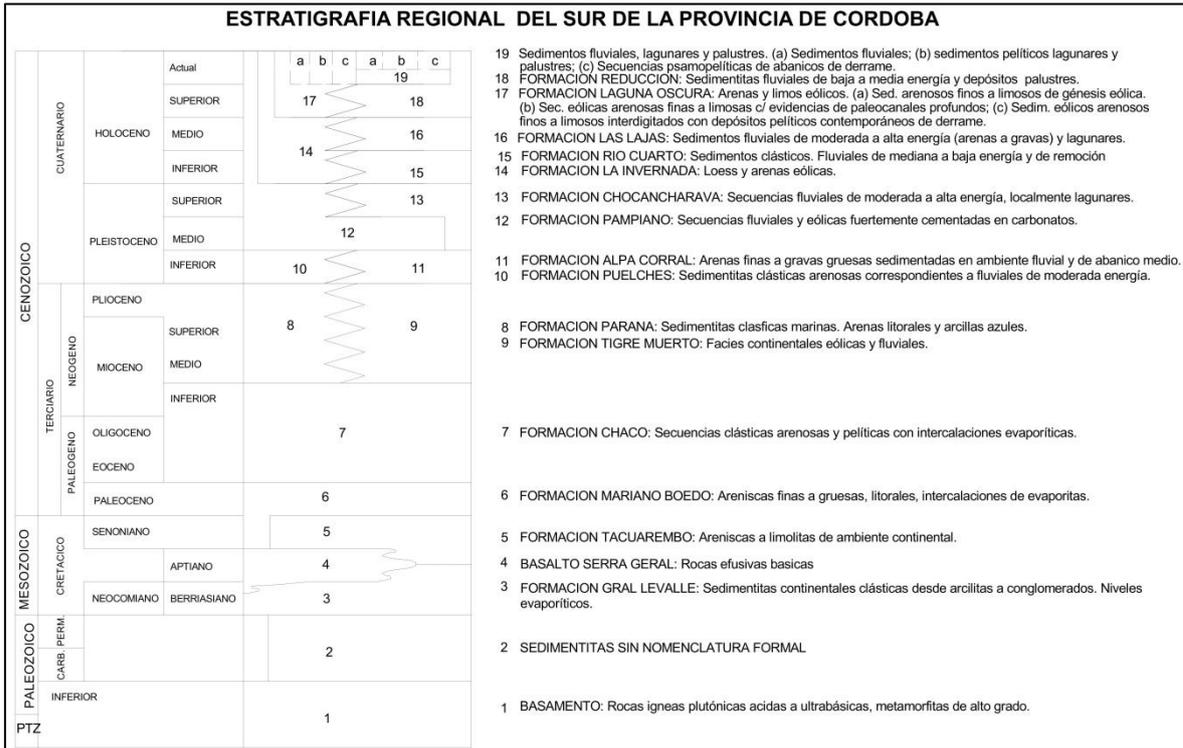
### **3.2.2. Llanura Chacopampeana**

Geotectónicamente la Llanura Chacopampeana es una zona estable que ha permanecido negativa desde el Paleozoico Inferior, actuando como un gran antepaís desde el Mioceno (siendo receptor de sedimentos provenientes del levantamiento andino) y en la actualidad es lugar de tránsito de sedimentos que provienen de las Sierras Pampeanas hacia la plataforma continental. Según el origen de los depósitos neógenos dominantes se puede dividir a esta macrounidad en dos: la Llanura Chaqueña y la Pampeana; en la primera dominan los depósitos y geoformas aluviales de los grandes abanicos de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Salado, entre otros; mientras que en la segunda los depósitos y morfologías eólicas (Chebli *et al.*, 1999).

En la Llanura Pampeana, el basamento se encuentra aproximadamente a los 4000 metros de profundidad y la secuencia estratigráfica comprende unidades continentales y maridas de edades paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas, las cuales fueron descritas por Russo *et al.*, (1979); Chebli *et al.*, (1999); entre otros.

Las unidades estratigráficas del Sur de la provincia de Córdoba son descritas a continuación. Cabe aclarar que los cuerpos más antiguos no afloran y han sido reconocidos a través de perforaciones (realizadas ya sea para el abastecimiento de agua o las más profundas con la finalidad de exploración petrolífera) (Degiovanni *et al.*, 2005).

A modo de resumen, en la figura 3.4 se muestra el cuadro estratigráfico regional para el Sur de Córdoba, tomado de Degiovanni *et al.*, (2005).



**Fig. 3.4.** Cuadro estratigráfico regional para el Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Degiovanni *et al.*, (2005).

### 3.2.2.1. Estratigrafía de subsuelo

Las unidades estratigráficas del subsuelo corresponden a la Llanura Chacopampeana, fueron descritas por Chebli *et al.*, (1999) y Degiovanni *et al.*, (2005) en base a los datos de perforaciones realizadas para la exploración petrolera. La *llanura pampeana*, como ya se explicó es una gran cuenca de agradación con una morfoestructura de bloques diferencialmente ascendidos que han variado su posición con el tiempo. Durante el Paleozoico y Mesozoico, los sectores ascendidos diferían de los actuales conformando centros deposicionales aislados y diferentes, mientras que para el Cenozoico estas cuencas se rellenaron y solaparon convirtiendo todo el sector en una gran área de sedimentación continental, a excepción de la ingesión marina del Mioceno (Chebli *et al.*, 1999).

Las secuencias litoestratigráficas atravesadas, de edad paleozoica, mesozoica y cenozoica fueron descritas en la Hoja Geológica Río Cuarto, como Formaciones Ordoñez, General Levalle, Serra Geral, Tacuarembó, Tigre Muerto, Puelches, entre otras; pero de acuerdo a los objetivos de este trabajo, sólo serán definidas brevemente las unidades estratigráficas cenozoicas aflorantes.

### **3.2.2.2. Estratigrafía aflorante**

Los materiales correspondientes a la Llanura Pampeana que afloran en la región Sur de la Provincia de Córdoba, incluyen unidades sedimentarias Plio-Pleistocenas hasta Holocenas y fueron descritas por Cantú (1992). A continuación se describen las que forman parte del área de estudio:

#### PLIOCENO – PLEISTOCENO

- **Formación 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). La unidad fue definida por Cantú (1992) en el abanico de los ríos Alpa Corral – Río Seco, la edad de esta formación no ha sido aún definida pero sobre la base de consideraciones geológicas y contenido faunístico Cantú (1992) la ubicó en el límite Plio-Pleistoceno.
- **Formación 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, y también se presenta como limos eólicos pardos con niveles de calcretos. Se compone de dos miembros: uno inferior constituido por materiales limosos y limo-arenosos muy finos, de color pardo rojizo, con nódulos de cementación de hierro y, subordinadamente, con sílice en varios niveles que dan lugar a sectores de cementación continuo. Este miembro corresponde a depósitos de canal, de llanura de inundación y palustres, mientras que el miembro superior se encuentra compuesto por loess de color pardo rojizo y pardo amarillento con niveles tabulares y continuos de calcretos. Teniendo en cuenta los materiales tanto infra como suprayacentes, Cantú, (1992) le asigna una edad relativa Pleistoceno Medio a Superior.
- **Formación Chocancharava:** formada por facies clásticas de psamitas y psefitas, con estructuras de corte y relleno, con tendencia granodecreciente, interpretadas como facies de canales fluviales entrelazados, facies de alta energía y flujos de barro. Además se encuentran materiales pelíticos de coloración verde amarillento con rizoconcreciones correspondientes a ambientes leníticos. Se expone en cárcavas y barrancas de la mayoría de los ríos y arroyos del SO de Córdoba, asociada a un ciclo fluvial de gran importancia durante un período interglaciar de edad Pleistocena Superior Tardía (Cantú, 1992).

## PLEISTOCENO-HOLOCENO

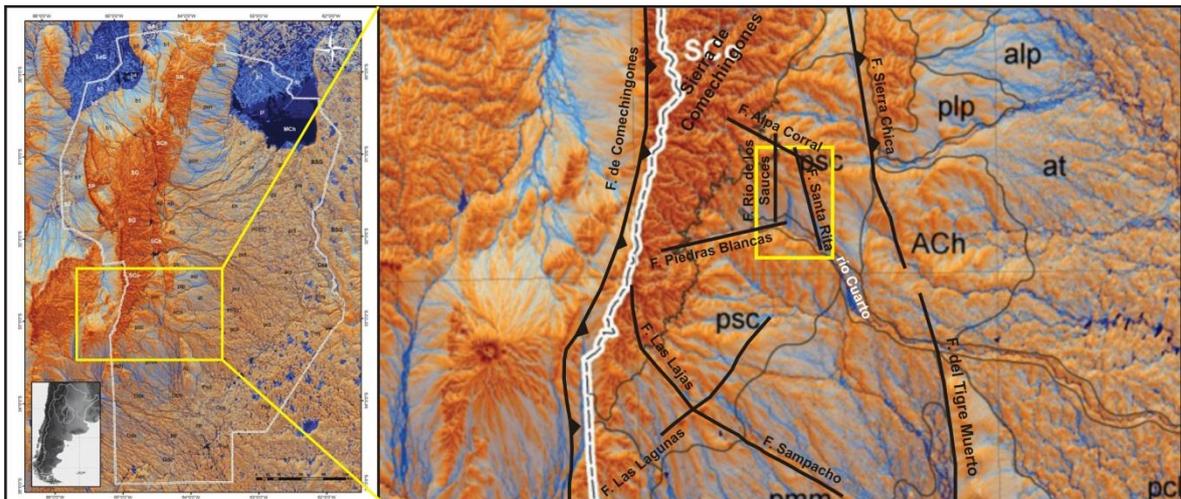
- **Formación La Invernada:** compuesta por secuencias de material limoso masivo, en mantos tabulares, de espesor variable (desde algunos centímetros hasta algunos metros de potencia) conformando un manto de loess generalizado, que cubre incluso las pampas de altura de las Sierras Pampeanas (Cantú, 1992). Estos mantos loésicos sin estructuras, presentan hacia el techo canales de erosión de tipo efímero, con relleno generalmente limoso arcilloso y estructura laminar planar muy fina. Respecto a dataciones y correlaciones entre el clima interpluvial y las glaciaciones, se determina una edad entre Pleistocena Superior Tardía a Holoceno Bajo para este material (Cantú, 1992).
- **Formación Río Cuarto:** se compone de sedimentos fluviales de baja energía, paraconglomerados de matriz limo-arenosa y depósitos de ambientes con circulación de agua restringida, observados en barrancas de los cursos de agua mayores y en perforaciones (Blarasin *et al.*, 2000). Se la vincula lateralmente con la Fm. La Invernada por su posición estratigráfica relativa, sobreyaciendo normalmente a los depósitos de la Fm. Chocancharava y, discordantemente, a la Fm Pampiano y subyaciendo a la Fm. Arroyo Las Lajas.
- **Formación Arroyo Las Lajas:** compuesta de gravas, arenas y limos, representa un ciclo fluvial de escasa magnitud compuesto por canales que presentan fondo plano con paredes verticales a subverticales, rellenos por depósitos aluviales, coluviales y eólicos. La edad de depositación de estos materiales es del Holoceno Medio (Cantú, 1992).
- **Formación Laguna Oscura:** se compone de arenas muy finas eólicas, de gran extensión areal, que se distribuyen de forma continua conformando dunas longitudinales con rumbo N 25°. Respecto a su composición dominan arenas finas y muy finas (con abundante cuarzo, feldespato y vidrio volcánico), con escasos porcentajes de limos y arcillas. La parte superior de esta formación se encuentra edafizada en algunos sectores y en otros formando depósitos medanosos resultantes del retrabajo local. Según Cantú (1992) la edad de esta formación sería Holoceno Superior.

### 3.3. Estructuras

La estructuración actual tanto de las Sierras Pampeanas como de la llanura Chacopampeana se ha originado principalmente a partir del Mioceno Inferior producto a la orogenia Andina (Ramos, 1999a). Para las Sierras de Córdoba estas estructuras se resuelven como un conjunto de bloques fallados y basculados, separados por valles longitudinales con fallas de carácter inverso de alto ángulo, con orientación NNO-SSE y naturaleza lístrica (entre 50° y 70° con buzamiento hacia el bloque levantado) que limitan longitudinalmente los bloques mayores (González Bonorino, 1950; Gordillo y Lencinas, 1979; Degiovanni *et al.*, 2005).

El subsuelo de la llanura Chacopampeana es interpretado por Chebli *et al.*, (1999), como grandes depresiones, separadas por altos estructurales que evidencian que el basamento se encuentra dislocado, conformando un mosaico de bloques hundidos y levantados, basculados hacia el SE que están limitados por fallas normales e inversas. Estas morfoestructuras tienen expresión en superficie y condicionan la morfología y la disposición de la red de drenaje. Esta configuración en bloques es característica del ambiente Pampeano (sierras y llanura), y ha persistido desde el régimen distensivo mesozoico hasta la actualidad. Con la orogenia ándica se ha instalado un ambiente estructural compresivo y las estructuras principales sufrieron inversión tectónica, pasando de normales a inversas (Degiovanni *et al.*, 2005a).

En la Fig. 3.5 se observa un modelo digital del terreno de la provincia de Córdoba tomado de Carignano *et al.*, (2014), donde se pueden observar las principales morfoestructuras y lineamientos regionales.



**Fig. 3.5.** Modelo digital del sector Sur de la provincia de Córdoba con zoom en el área de estudio (recuadro amarillo). Estructuras principales (líneas negras). Tomada y modificada de Carignano *et al.*, 2014.

### **3.3.1. Principales estructuras del Sur de Córdoba**

Las estructuras frágiles de esta zona fueron mapeadas y descritas por Pinotti, (1998); Sagripanti, (2006) y Degiovanni et al., (2005), en la Hoja Geológica Río Cuarto y están representadas por numerosas familias de fallas y diaclasas (Fig. 3.6), las cuales pueden agruparse en los siguientes sistemas según su rumbo.

Sistema meridiano a submeridiano (N-S): es el grupo de estructuras más significativo, definiendo desde el Mioceno, grandes bloques diferencialmente ascendidos y basculados hacia el Este que caracterizan a las Sierras Pampeanas y a la llanura Chacopampeana. En general, ese descenso escalonado de los bloques serranos controla los cursos con nacientes en ese sector, entre ellas pueden citarse las *fallas de Comechingones, Guacha Corral, Río de los Sauces, Sierra Chica y Santa Catalina*, entre otras.

Sistema E-O: estructuras de carácter normal y con componente de rumbo, que seccionan y escalonan los megabloques meridianos, condicionando en cierta manera la instalación de las principales redes fluviales actuales y antiguas. Esta familia define bloques que constituyen áreas divisorias regionales, y conforman este grupo las *fallas de Elena, El Cano, del Teguá y de Río Cuarto*.

Sistema NO-SE: sistema bien representado en el extremo sur de las Sierras de Comechingones y en las planicies occidentales, las estructuras con esta dirección provocan el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la red de drenaje de los cursos con nacientes en este sector. Algunas de las fallas de este sistema son *Las Lajas-Sampacho, Alpa Corral y Chaito Chazón*.

Sistema NNE-SSO: las estructuras más importantes de este sistema son las *fallas de Saladillo, Las Lagunas, Los Cóndores y San Francisco*. La falla de Las Lagunas es de carácter inverso y con probada actividad cuaternaria, mientras que la falla de Los Cóndores y San Francisco causan el desplazamiento de la Sierra de las Peñas hacia el NE.

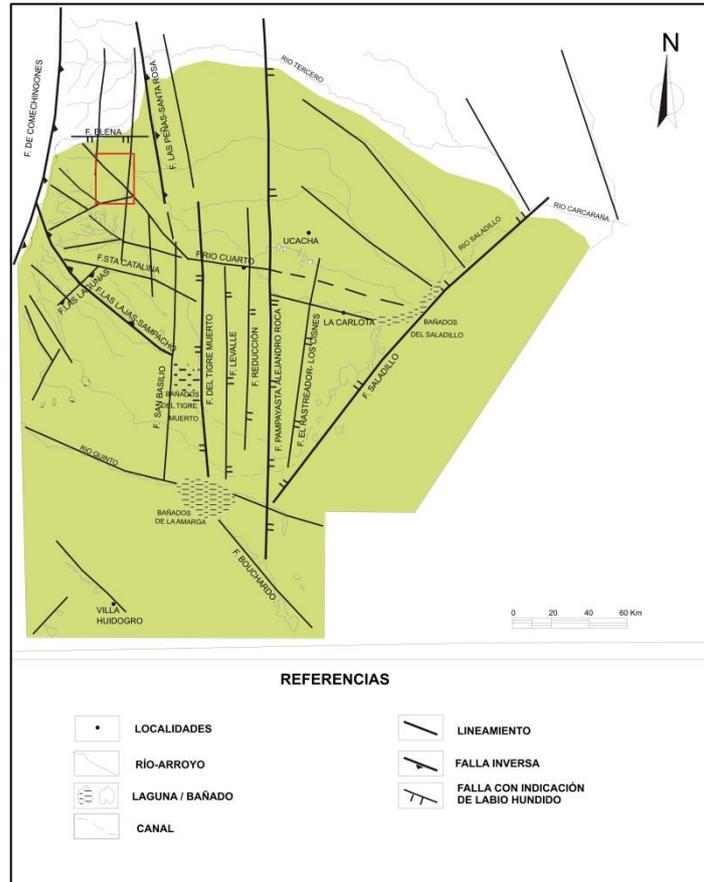
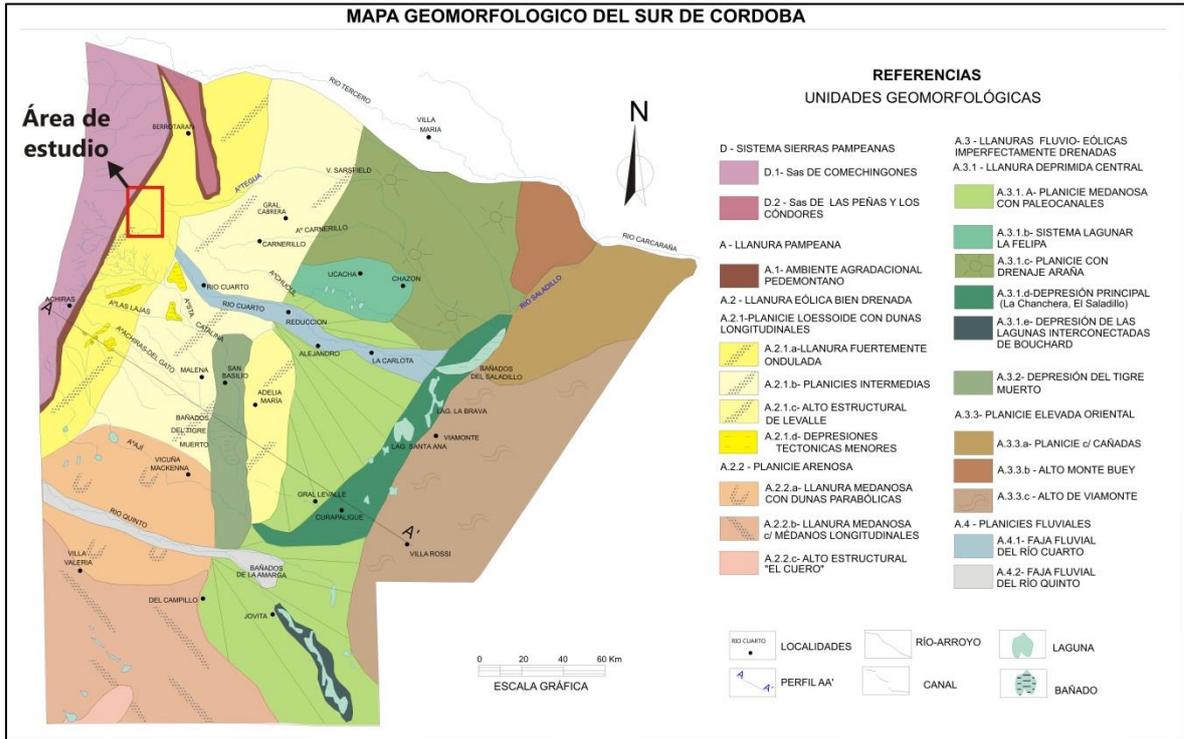


Fig. 3.6. Mapa estructural para el Sur de la provincia de Córdoba, tomado de Degiovanni (2005). El recuadro rojo indica el área de estudio.

### 3.4. Geomorfología

La configuración geomorfológica de la región está estrechamente vinculada a los rasgos geotectónicos que caracterizan a las Sierras Pampeanas y a la Llanura Chacopampeana, a la litología dominante en cada una de ellas, a las variaciones climáticas cuaternarias, como así también a los eventos neotectónicos. Los factores mencionados condicionan la acción de distintos agentes geológicos modificadores del paisaje que modelan las distintas unidades y subunidades geomorfológicas de la región, descritas y caracterizadas por Degiovanni *et al.*, (2005) y Carignano *et al.* (2014).

En el mapa de la figura 3.7 se presentan las principales unidades geomorfológicas del Sur de Córdoba y a continuación se describen las más significativas para la zona de estudio (tomadas de Degiovanni, 2005), por un lado las Sierras Pampeanas por ser el área de aporte de sedimentos y naciente de los principales ríos y arroyos y, por el otro, la Llanura Pampeana, como un área de tránsito y recepción.



**Fig. 3.7.** Mapa geomorfológico del Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Degiovanni (2005). El recuadro de color rojo indica el área de estudio.

### 3.4.1. Sistema de Sierras Pampeanas

Representadas en el Sur de Córdoba por las Sierras de Comechingones, de Los Cóndores y de Las Peñas, en las que aflora predominantemente basamento, plutónico-metamórfico de edad Precámbrica-Paleozoica Inferior y localmente, sedimentitas mesozoicas y paleozoicas. Morfológicamente se presentan como cordones montañosos meridionales, elevados por fallas inversas lítricas en sus bordes occidentales, donde presentan escarpas con variado grado de evolución. A su vez, los megabloques que componen estas serranías exhiben una morfología que refleja una larga y compleja historia denudativa, donde coexisten relieves antiguos heredados, con otros que resultan de la sustitución parcial o total de éstos (Degiovanni, 2005).

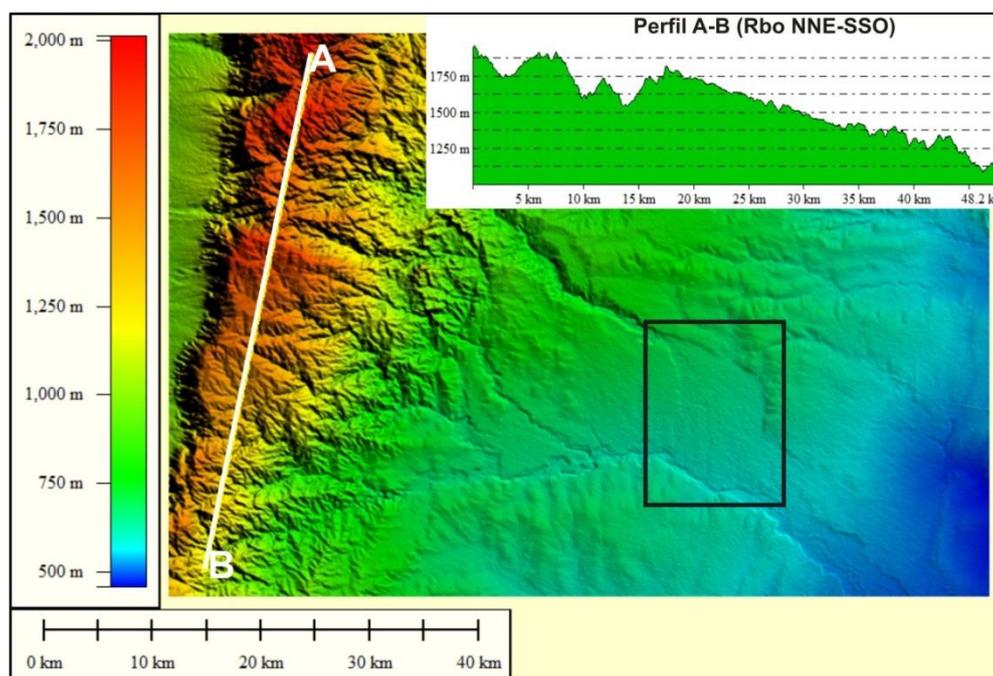
#### 3.4.1.1. Sierras de Comechingones

Presentan un rumbo NNE-SSO, ancho variable que se reduce hacia el Sur al igual que su altitud, que desciende 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 Sierras Pampeanas con máximas alturas en su borde occidental, en ambos sentidos el descenso es escalonado, según megabloques (Fig. 3.8).

Con distinto grado de preservación estos bloques exhiben en sus partes cumbreles, superficies de erosión antiguas, denominadas localmente “pampas de altura”. Estas superficies de edad cretácica superior-cenozoica suelen estar cubiertas por depósitos eólicos del Pleistoceno y Holoceno que se encuentran afectados por procesos de carcavamiento.

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

La vertiente oriental de las Sierras de Comechingones es drenada por el sistema de los ríos Tercero, Cuarto y numerosos arroyos menores, que, en general, desarrollan una red de alta densidad, asimétrica y controlada estructuralmente. En este ambiente se reconocen dos tipos de valles, algunos amplios con abundante relleno cuaternario donde los cursos se están reinstalando en la actualidad, caracterizan el sector sur y, otros, encajonados, de alta pendiente que dominan el sector centro y norte. Estos rasgos indican procesos de rejuvenecimiento en sistemas de drenaje antecedentes a la orogenia ándica.



**Fig. 3.8.** Imagen de DEM del sector austral de las Sierras de Comechingones con perfil topográfico (línea blanca). Recuadro negro indica el área de estudio.

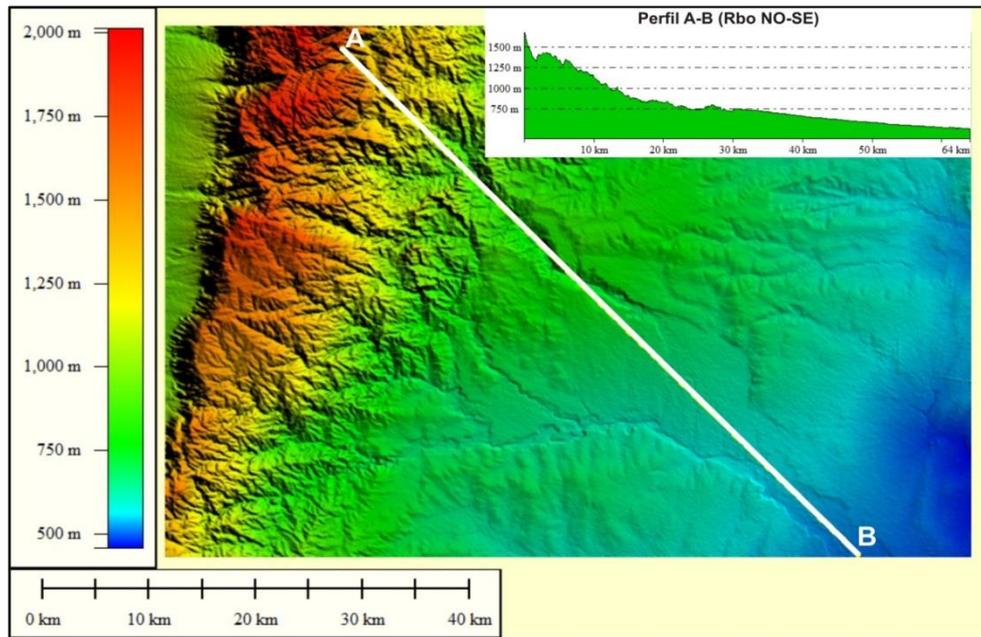
### **3.4.1.2. Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones**

Se extiende a lo largo de 200 km. con un ancho en el orden de 20-35 km y una altura variable entre 800 y 500 m.s.n.m. El límite occidental es irregular, presentando numerosos afloramientos aislados de basamento, vulcanitas cretácicas y rocas sedimentarias precuaternarias que yacen sobre la paleosuperficie de la Sierra de Comechingones. El basamento se pierde por debajo de sedimentos aluviales y loessoides, en un paisaje de colinas suaves y lomas bajas conformado por el ambiente pedemontano que más al Este se integra transicionalmente con la Planicie Arenosa del Sur (llanura Pampeana). A gran escala presenta un relieve que varía de moderado a fuertemente ondulado, asociado a la presencia de bloques de basamento elevados diferencialmente por neotectónica, yuxtaposición y/o coalescencia de abanicos aluviales, incisión fluvial, sedimentación y erosión eólica (Fig. 3.9) (Carignano *et al.*, 2014).

En función de ello, se la puede segmentar en tres segmentos, que de Norte a Sur son: sector Valle de la Cruz, sector Rodeo Viejo (involucrado en el área de estudio) y sector Achiras. El sector Rodeo Viejo, se extiende desde el alto de Mosuc Mayú hasta el arroyo La Barranquita, abarcando todo el alto de Rodeo Viejo. Comprende una antigua bajada dislocada tectónicamente y disectada por los tributarios del río Chocancharava (Barrancas-Seco, San Bartolome-La Invernada, Las Cañitas y Piedras Blancas) y del arroyo Santa Catalina. Estos cursos han incidido fuertemente el terreno, generando un relieve ondulado muy irregular (Carignano *et al.*, 2014).

Su configuración está controlada por estructuras de rumbo NE-SO, NO-SE y N-S, controlando la red de drenaje y delimitan bloques, de relieve muy suave en el sector cumbral, que presentan una pendiente más pronunciada hacia el Norte (0,9-2 %) y una tendida hacia el Sur (menor a 1,2 %). En sentido O-E, toda el área muestra un relieve más regular y plano (pendientes de 0,2-0,4 %), hasta el borde oriental del abanico del río Seco (contacto con el alto de Santa Rita, Póveda, 2014).

Los bloques que conforman el sector están constituidos por sedimentos aluviales neógenos con niveles de paleosuelos y calcretas de espesores muy variables (Eric, 1986; Cantú, 1992 y Andreazzini y Degiovanni, 2011). En el río Las Barrancas, Eric (1986) y Cantú (1992) identificaron tres secuencias de abanicos aluviales (plio-pleistocenas a holocenas), y el río Seco en su tramo final, ha constituido un abanico aluvial histórico, con ápice en el sector pedemontano (paraje Río Seco), asociado a una estructura submeridiana regional (falla río de Los Sauces, Degiovanni y Cantú 1997). A excepción de las fajas fluviales, toda la región está cubierta por depósitos eólicos (mayormente loessoides) que suavizan el relieve.



**Fig. 3.9.** Imagen de DEM del piedemonte Oriental de las Sierras de Comechingones con perfil topográfico (línea blanca). En el perfil se observa la modificación del relieve, teniendo pendientes más abruptas al NO y más suavizadas hacia el SE.

### **3.4.2. Llanura pampeana**

Se trata de una planicie de pendiente general hacia el ESE, con un relieve suave a moderadamente ondulado (a excepción de la faja periserrana) integrado por formas eólicas y subordinadamente, fluviales y palustres; la dinámica de estos ambientes está muy influenciada por la actividad antrópica. Se encuentra constituida por un conjunto de bloques basculados diferencialmente ascendidos que definen sectores positivos y áreas deprimidas que condicionaron las características de los ambientes de sedimentación.

#### **3.4.2.1. Planicie fluvio-eólica Central**

Es una extensa llanura que se ubica al Este de las Sierras de Córdoba, formada por grandes abanicos aluviales coalescentes generados por los ríos que tienen sus nacientes en las Sierras Grandes y descargan sus aguas hacia el oriente: Suquía y Xanaes, que desembocan en la Laguna Mar Chiquita y los ríos Ctlamuchita y Chocancharava, que se unen para formar el río Carcarañá y desaguar en el río Paraná. La planicie se encuentra conformada entonces por los paleoabanicos aluviales y las fajas fluviales de cada uno de los cuatro ríos principales citados, conformándose de esta manera un complejo ambiente donde el depósito primario de loess fue alterado por los ríos con significativa capacidad de transporte de sedimentos, dando origen a depósitos de apariencia loésica con

evidencia de acción fluvial (Carignano *et al.*, 2014). Los abanicos aluviales están compuestos principalmente por facies de canales entrelazados, canales meandriformes, llanuras de inundación y palustres, además de la existencia de depósitos loésicos primarios y de arenas finas (del mar de Arena Pampeano) retrabajados.

Cada uno de estos abanicos está constituido por yuxtaposición, incisión y progradación de sucesivos abanicos aluviales generados por el mismo río en diferentes estadios y cuya posición estuvo fuertemente controlada por los cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario y por la actividad neotectónica (Degiovanni *et al.*, 2005). Estos abanicos se formaron por acumulación de sedimentos aluviales y fluviales y a expensas de la removilización hídrica del loess que se acumuló en gran parte del área durante los períodos secos del Cuaternario Superior (Carignano *et al.*, 2014).

La extensión y forma muy suavemente convexa a casi plana de los grandes abanicos los hace imperceptibles en la morfología plana del loess/arenas muy finas. Dentro de la unidad tanto en sentido vertical como lateral, las típicas facies fluviales alternan con facies netamente eólicas. Excepto la zona apical, casi toda la unidad está constituida por sedimentos finos a muy finos, fundamentalmente limos y arenas finas. En los interfluvios y en las áreas distales de la planicie, el depósito de loess aparece en su estado primario.

Esta planicie se caracteriza por un paisaje plano o casi plano dominado por la dinámica de los grandes ríos que han formado amplias llanuras aluviales donde se reconocen diversos tipos de canales, terrazas, lagunas semilunares, así como llanuras de inundación abandonadas y una gran cantidad de paleocauces, entre otras formas aluviales. En la zona pedemontana y apical de los abanicos, las fajas fluviales de casi todos los ríos tienen un marcado control estructural, que provoca cambios muy notables en su orientación y diseño de cauce. La mayor parte de la planicie fluvio-eólica central está conformada por los abanicos y fajas fluviales, y en la parte distal de la planicie predominó la acumulación de depósitos de arenosos finos a muy finos con potencias variables sobre los fluviales. (Carignano *et al.*, 2014).

# **CAPÍTULO 4**

## **CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLOGÍA**

### **4.1. Caracterización climática general**

La provincia de Córdoba debido a su latitud se encuentra enmarcada dentro de la zona de climas templados de Argentina, con características típicas de una provincia mediterránea. Las particularidades del medio físico que caracterizan al territorio provincial, su extensión, el predominio de planicies o llanuras suavemente onduladas y el desarrollo de un cordón serrano en dirección Norte-Sur, el de las Sierras Pampeanas de Córdoba, resultan fundamentales para analizar al comportamiento hídrico asociado a la dinámica atmosférica y climática (Dasso *et al.*, 2014)

En el Sur de Córdoba, el clima es mesotermal desde subhúmedo a húmedo con una pequeña deficiencia de agua en el sector oriental, mientras que hacia el centro-oeste de la provincia el clima es subhúmedo-seco con nulos a pequeños excesos y déficit de agua pequeños (Capitanelli, 1979 y Blarasin, 2003). En este sector de la provincia se presenta una gran uniformidad térmica y una concentración de las precipitaciones en la época estival. La distribución de las temperaturas queda definido por inviernos rigurosos (entre junio y agosto) y veranos medianamente cálidos (diciembre y febrero) con heladas registradas principalmente entre los meses de mayo a septiembre; con excepciones correspondientes a los sectores de sierras y altiplanicie (Capitanelli, 1979).

La distribución de temperaturas media, máxima y mínima de la llanura del Sur de Córdoba, presenta un comportamiento generalmente homogéneo, siendo los valores inferiores a 17° C, 25° C y 10° C, respectivamente. En los sectores serranos, las temperaturas medias son del orden de los 16° C, 20° C las máximas y 9° C las mínimas, decreciendo hacia el nivel de las altiplanicies a 10° C, 14° C y 5° C, respectivamente (Capitanelli, 1979).

En la zona de llanura se observa una disminución de las precipitaciones desde el NE (valores cercanos a los 848 mm en Alejo Ledesma) al SO (598 mm en Huinca Renancó), marcando la influencia del aire cálido y húmedo procedente del Océano Atlántico. Una

excepción a esta linealidad ocurre en inmediaciones de la ciudad de Río Cuarto donde las precipitaciones alcanzan hasta los 890 mm, concentrándose cerca del 82 % en primavera-verano y el restante 18 % en otoño-invierno (Blarasin *et al.*, 2000 y Maldonado, 2012). En los sectores serranos y pedemontanos, los registros pluviométricos medios son de aproximadamente 900 mm, según la altitud. En la segunda mitad del siglo XX se muestra un incremento de las precipitaciones, concentrándose en los últimos 40 años. Este aumento es paulatino y está representado por ciclos húmedos y secos alternantes de duración variable (Blarasin *et al.*, 2000 y Blarasin, 2003).

En la región, más del 80 % de los días son ventosos con una concentración máxima a fines del invierno. Los vientos predominantes provienen del NNE-SSE, con velocidades medias que superan los 10 km/h, con ráfagas que en ocasiones superan los 100 km/h. El viento en este sector se transforma en un elemento importante, principalmente en invierno-primavera, ya que las mayores intensidades coinciden con el período de mayor sequía generando así una tasa de evapotranspiración alta y una importante erosión eólica en los sectores con poca vegetación (Blarasin, 2003).

Respecto a la evapotranspiración media anual calculada para la región es de 826 mm (Maldonado, 2012). En la llanura y piedemonte es del orden de 820 mm (Capitanelli, 1979), excepto en el sector sudoeste donde es alrededor de 850 mm. En las sierras, los valores obtenidos en función de las temperaturas y factores geomorfológicos como altitud y exposición, varía entre 688 y 794 mm, con disminución hacia los sectores cumbreles y de altiplanicie (Blarasin *et al.*, 2000).

En particular para **la cuenca del río Cuarto**, Andreazinni (2015) y Benito (2018) efectuaron el tratamiento de la serie de lluvias obtenidas de las estaciones Las Tapias y Los Chañares (1939-2016), ambas situadas en el faldeo oriental de la Sa. de Comechingones (Fig. 3.3). La curva cronológica (Fig. 4.1), muestra una precipitación media anual (PMA) de 914 mm, siendo los años 1970 (582 mm, serie Los Chañares) y 1999 (1348,3 mm, serie Las Tapias) los que presentan los valores mínimos y máximos de lluvias, respectivamente. Se observa una marcada alternancia de períodos secos y húmedos, y una tendencia ascendente de las precipitaciones, con valores en su mayoría superiores la media a partir del año 1972.

Por otra parte, la distribución media mensual de las precipitaciones en esta serie (Fig. 4.2) permite observar que las mismas se concentran principalmente de octubre a marzo, destacándose el mes de diciembre como el de mayor valor medio (148,6 mm), luego los valores decrecen durante enero, febrero y marzo. Los meses de junio, julio y agosto denotan las medias mensuales más bajas, con 14,2; 13,7 y 14,5 mm,

respectivamente. Las estaciones primavera y verano son las que poseen la mayor concentración de lluvias, con el 81,6 % del total anual (Andreazzini, 2015; Benito, 2018).

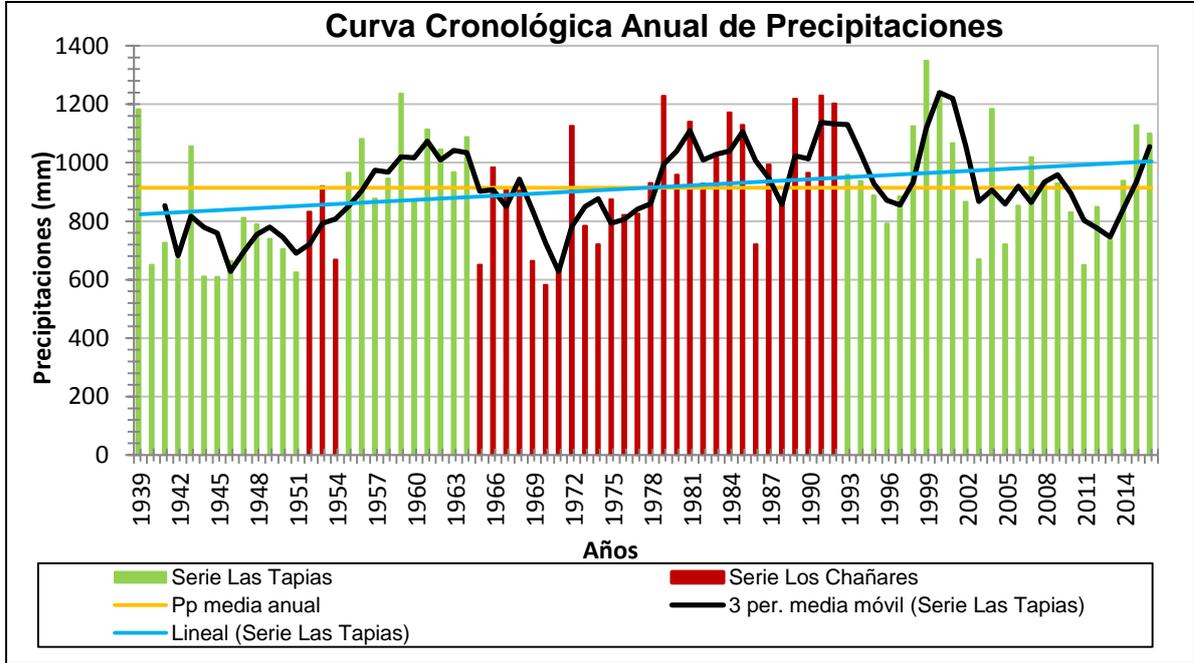


Fig. 4. 1: Curva cronológica anual de precipitaciones, serie Las Tapias-Los Chañares (1939-2016). Tomado de Andreazzini (2015) y Benito (2018).

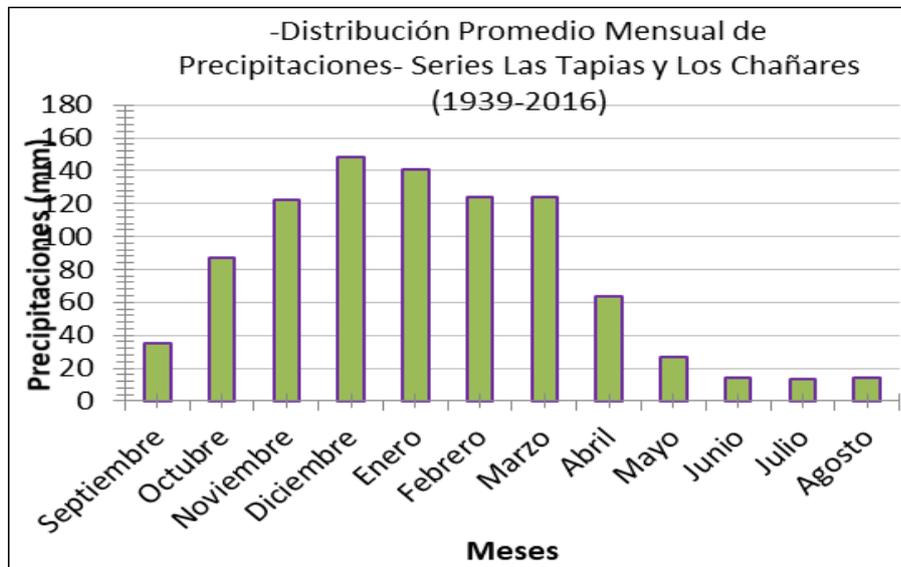


Fig. 4.2. Distribución promedio mensual de las precipitaciones serie Las Tapias-Los Chañares (1939-2016). Tomado de Andreazzini (2015) y Benito (2018).

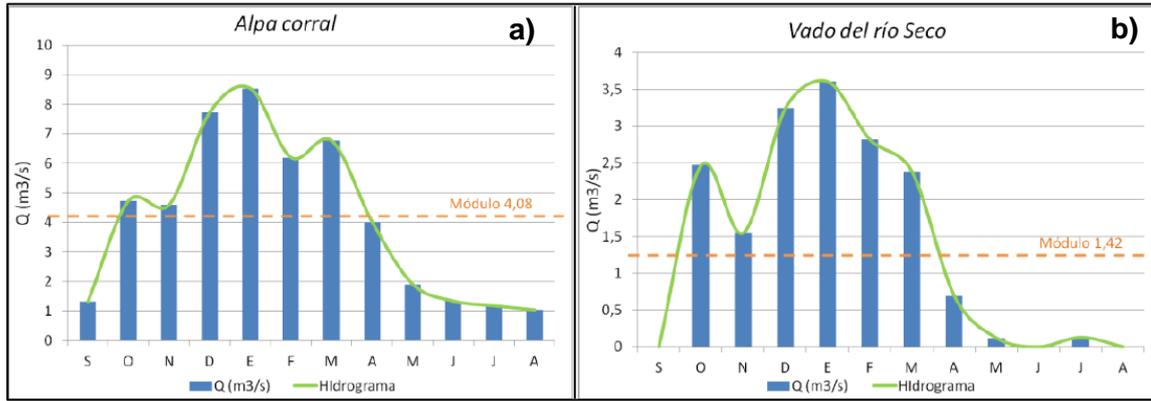
## **4.2. Hidrología superficial**

El área de estudio forma parte de la cuenca del río Cuarto o Chocancharava que drena un área de aproximadamente 2500 km<sup>2</sup> desde sus nacientes en las Sierras de Comechingones hasta sus derrames en los Bajos del Saladillo. Sus principales tributarios desarrollan sus cuencas casi totalmente en el área serrana y confluyen en el sector pedemontano, y son: río Alpa Corral-Las Barrancas-Seco (287 km<sup>2</sup>), Piedras Blancas (339 km<sup>2</sup>), San Bartolomé-La Invernada (120 km<sup>2</sup>), y Las Cañitas (267 km<sup>2</sup>). Conforman una red de drenaje de tipo angular sub-dendrítica, controlada estructuralmente, presentando relación ortogonal en la mayoría de sus confluencias.

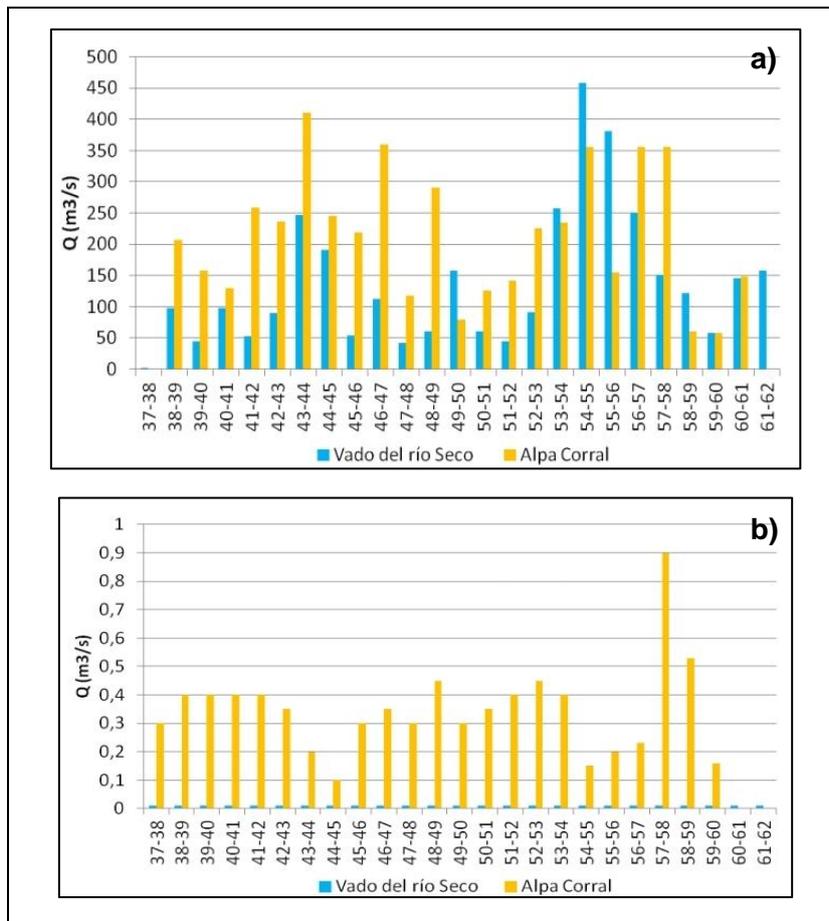
El río Cuarto tiene régimen permanente, con variaciones estacionales muy marcadas y fluye en sentido NNO-SSE. Su principal aporte proviene de las precipitaciones durante la época primavera-verano y el aporte subterráneo, respondiendo al funcionamiento de tipo torrencial, con crecientes de magnitud e hidrogramas conspicuos resultantes de precipitaciones intensas en las sierras. 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 río Seco, es la continuación extraserrana del río Alpa Corral-Las Barrancas y 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. Su caudal sólido está compuesto por materiales arenosos y areno-gravosos como carga de fondo. El caudal líquido fue analizado a partir de datos obtenidos de anuarios estadísticos de EVARSA (1997 y 2008/2009) de dos estaciones que actualmente se encuentran inactivas: la estación Alpa Corral (ubicada a 4 km. de la confluencia de los ríos Talita y Las Moras) que dan inicio al río homónimo y la estación Vado del Río Seco, ubicada sobre el vado del río homónimo.

Los gráficos de caudales medios mensuales, para la serie 1937-1981 de la estación Alpa Corral (Fig. 4.3.a) muestra 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. Mientras que, para la serie 1937-1962 de la estación Vado del Río Seco (Fig. 4.3.b), si bien se observa la misma coincidencia de meses lluviosos con los máximos caudales, el gráfico no muestra registros de caudales en tres de los meses de las estaciones de otoño-invierno, presentando un módulo para dicha serie de 1,42 m<sup>3</sup>/s.



En los gráficos de la figura 4.4 muestra los caudales máximos y mínimos diarios para el período 1937-1962, para las series Vado del río Seco y Alpa Corral.



**Fig. 4.4. a)** Caudales máximos diarios para las series Alpa Corral y Vado del Río Seco (1937-1962). **b)** Caudales mínimos diarios para las series Alpa Corral y Vados del Río Seco (1937-1962).

Para la estación Alpa Corral los picos de crecidas supera los 410 m<sup>3</sup>/s, mientras que si se analizan los mínimos medios diarios, se observa que el río presenta carácter permanente, ya que registra caudal distinto de cero en todos los años. Por su parte en la estación Vado del Río Seco, se registran picos de crecidas que superan los 458 m<sup>3</sup>/s y si se analizan los mínimos medios diarios para cada año, en todos los casos es 0 m<sup>3</sup>/s confirmando el carácter efímero del río Seco en este tramo, registrando sólo caudales en cortos períodos de tiempo durante las crecidas (Fig. 4.4 a-b).

Los escurrimientos superficiales efímeros secundarios desarrollan patrones diferentes en el sector Este y Oeste de la zona estudiada. Al Oeste del río Seco, se observan los cursos superficiales efímeros conformando un patrón de escurrimiento subparalelo, donde las aguas pluviales circulan sobre bajos elongados en dirección NNO-SSE (paralelos entre sí) hasta desembocar en el río Cuarto, generándose erosión hídrica moderada, con presencia de surcos y cárcavas concentrados sobre las barrancas del río Cuarto.

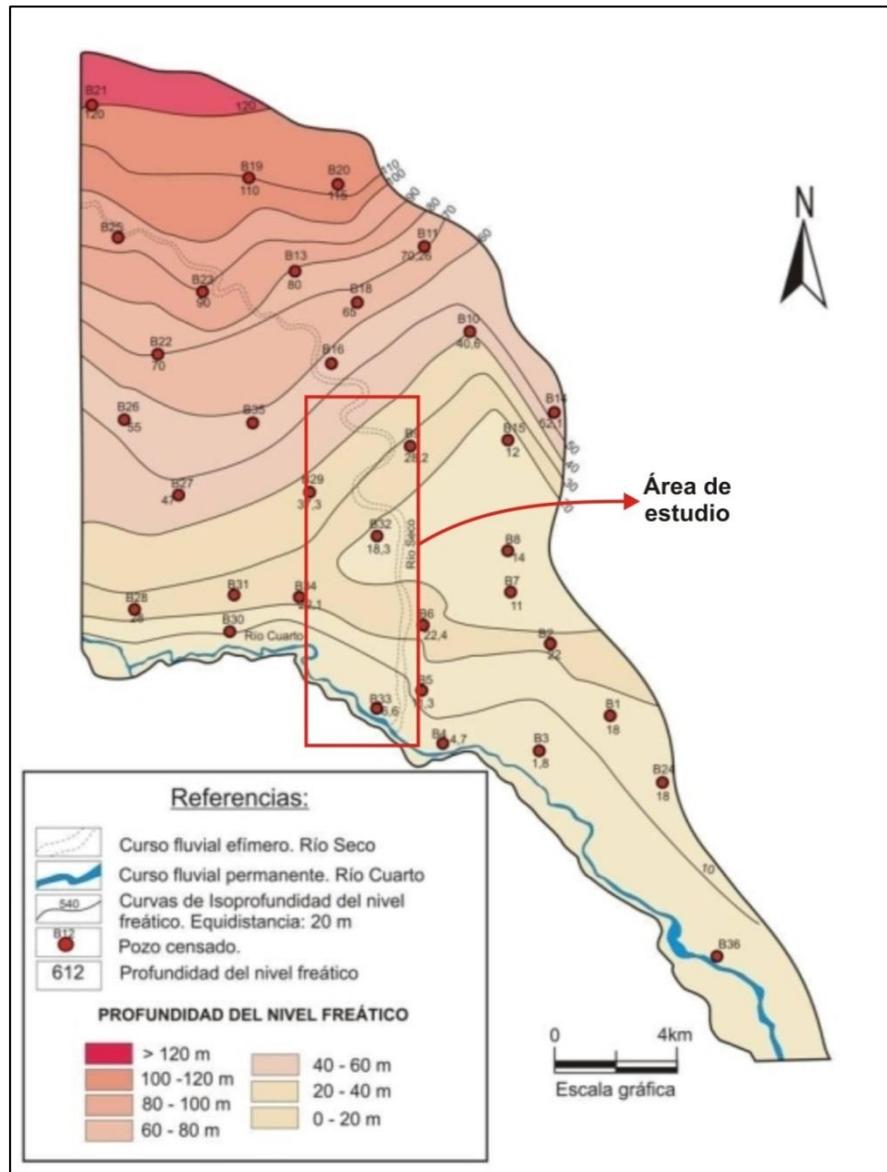
Al Este (fuera ya del área estudiada) los escurrimientos superficiales efímeros conforman una red de drenaje jerarquizada, con un prominente desarrollo de cárcavas e importantes sectores de captura que las conectan. Generando erosión hídrica dominante, que concentra las aguas pluviales en un único colector rectilíneo de dirección N-S, denominado Santa Rita, el cual presenta importantes dimensiones (25-30 m. en cercanías de su intersección con la Ruta Provincial N1 11. En los períodos de tormentas conduce las aguas hacia el Sur desembocando en el río Cuarto, con transporte como carga de fondo de materiales areno-gravosos (Póveda, 2014).

### **4.3. Hidrología subterránea**

En el área de estudio se observa una gran relación entre la topografía, el acuífero libre y la litología de subsuelo. En general, se observa que en el acuífero freático abundan las litologías clásticas de origen fluvial y en menor medida eólico, representadas por materiales de distintas granulometrías. En el ambiente aluvial del río Seco dominan los materiales areno-gravosos, que presentan alta permeabilidad, muy buen comportamiento hidráulico y con conductividades altas (Póveda, 2014).

En la figura 4.5, se muestran las diferentes profundidades del nivel freático en la zona estudiada, las cuales disminuyen gradualmente hacia el SE, encontrándose los valores más altos al NO, varía desde 50 m. hasta 6,6 m. en proximidades del río Cuarto en el SE. Esta disminución gradual de la profundidad, se debe al control estructural

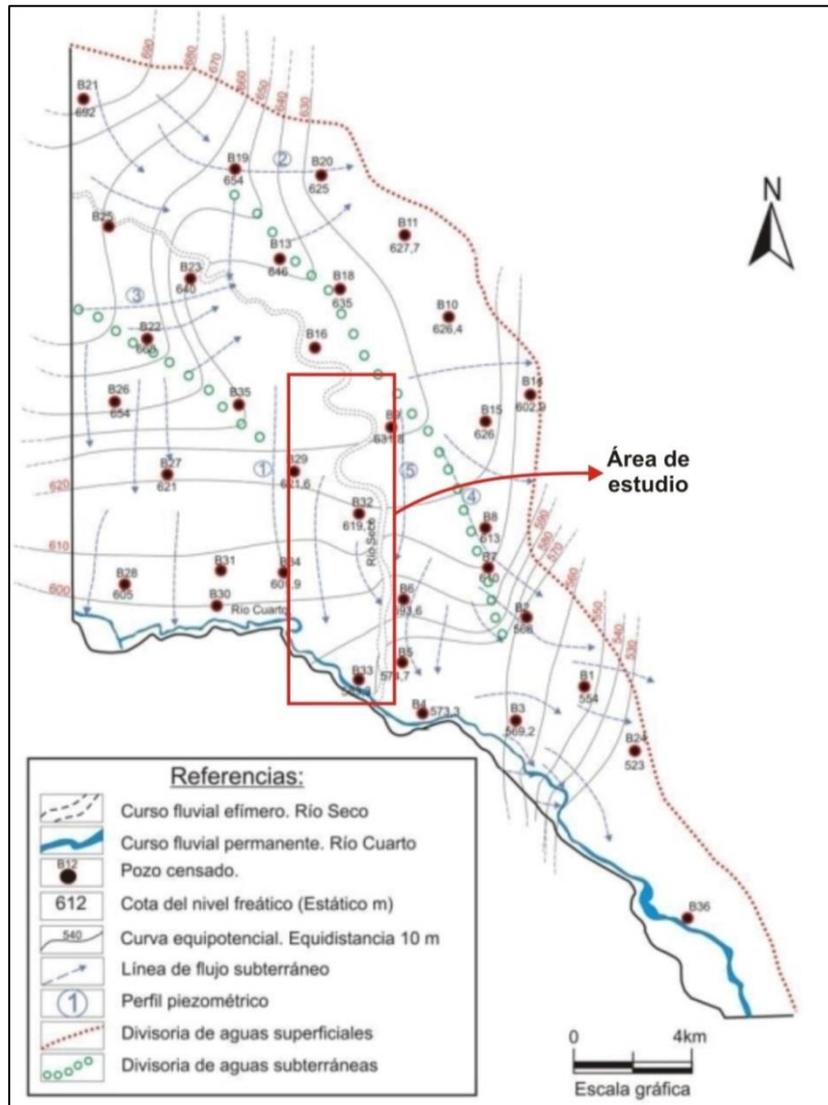
regional que los bloques de basamento basculados, ejercen sobre la misma (Póveda, 2014).



**Fig. 4.5.** Mapa de isopropundidad del nivel freático en el abanico aluvial del río Seco, con recuadro rojo indicando el área de estudio. Tomado y modificado de Poveda (2014).

Como se observa en el mapa de potenciales hidráulicos del acuífero libre de la zona, (Fig. 4.6), la dirección general de circulación con rumbo NO-SE, con la presencia de una divisoria de aguas subterráneas hacia el Este. Esta división corresponde con el límite oriental del sistema aluvial del río Seco, netamente de origen estructural. Se observa una morfología de la superficie freática ondulada, lo cual se debe al condicionamiento topográfico y a los cambios litológicos (Póveda, 2014).

Al Noroeste se observa un bajo freático, en el eje del valle del sistema fluvial del río Seco, donde el acuífero no presenta conexión con el curso fluvial efímero, ya que se encuentra a 90 m. de profundidad. Por otra parte, el río Cuarto (carácter permanente) mantiene una relación de efluencia con el acuífero libre, el cual le aporta su caudal de base (Póveda, 2014).



**Fig. 4.6.** Mapa de potenciales hidráulicos del acuífero freático en el abanico aluvial del río Seco, con recuadro rojo indicando el área de estudio. Tomado y modificado de Poveda (2014).

## CAPÍTULO 5

# GEOLOGÍA LOCAL

### 5.1. Estratigrafía

El área de estudio como ya se explicó en el marco geológico regional, forma parte del ambiente agradacional pedemontano oriental de las sierras de Comechingones, en transición y hacia la llanura pampeana. Las unidades estratigráficas aflorantes en este sector corresponden principalmente al Cuaternario Superior. En el mapa de la figura 5.1 se muestra la ubicación de los perfiles descriptos, los cuales se describen a continuación:



Fig. 5.1. Ubicación de los perfiles sedimentológicos descriptos y sitios de muestreo.

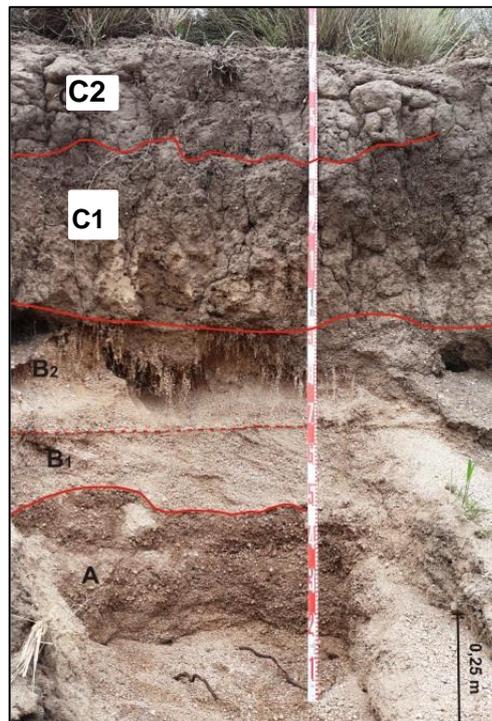
### 5.1.1. Descripción de perfiles sedimentológicos-estratigráficos

#### PERFIL 1

El mismo se expone sobre la margen derecha del río Seco, en cercanías del paraje homónimo (Fig. 5.1).

*Descripción:* el perfil (Fig. 5.2), tiene base cubierta e inicia con un cuerpo tabular (Unidad A) de 0,47 m de potencia, color pardo claro, compuesto por arenas gruesas a medias granodecrescentes, con algunos rodados dispersos tamaño promedio de 0,04 m. En contacto neto y ondulado continúa un nivel de 0,43 m de espesor, de arenas medias a finas y color pardo claro (Unidad B), que presenta clara estratificación cruzada en su parte inferior (0,18 m, B<sub>1</sub>, Fig. 5.2).

La secuencia finaliza con un paquete 0,8 m de espesor de material limo arcilloso con clastos de arenas gruesas y gravas dispersas (Unidad C) que se dispone en contacto neto sobre la unidad infrayacente. Los 0,30 m inferiores presentan un color pardo claro a rojizo (C<sub>1</sub>) mientras que hacia el techo el color es pardo oscuro, incrementa el porcentaje de material arcilloso y el contenido de materia orgánica (C<sub>2</sub>). Toda la unidad presenta actividad de raíces y planos de ruptura verticales y horizontales que definen bloques.



**Fig. 5.2.** Fotografía del perfil 1. A- arenas gruesas a medias. B<sub>1</sub>- arenas medias a finas con estratificación cruzada. B<sub>2</sub>- Arenas medias a finas. C<sub>1</sub>- Material limo arcilloso. C<sub>2</sub>-Material arcillo-limoso.

*Interpretación:* todos los materiales descritos en este perfil pertenecen a depósitos fluviales/aluviales asociados al río Seco, que denotan episodios de desbordes (unidad A), de canal (unidad B) y de desbordes y abandono de canal, con ambientes de baja energía (unidad C). La unidad cuspidal presenta un suelo de moderado desarrollo. Considerando los antecedentes estratigráficos de la región, se asigna esta secuencia al Holoceno superior (equiv. Fm Reducción, Degiovanni et al., 2005)

## **PERFIL 2**

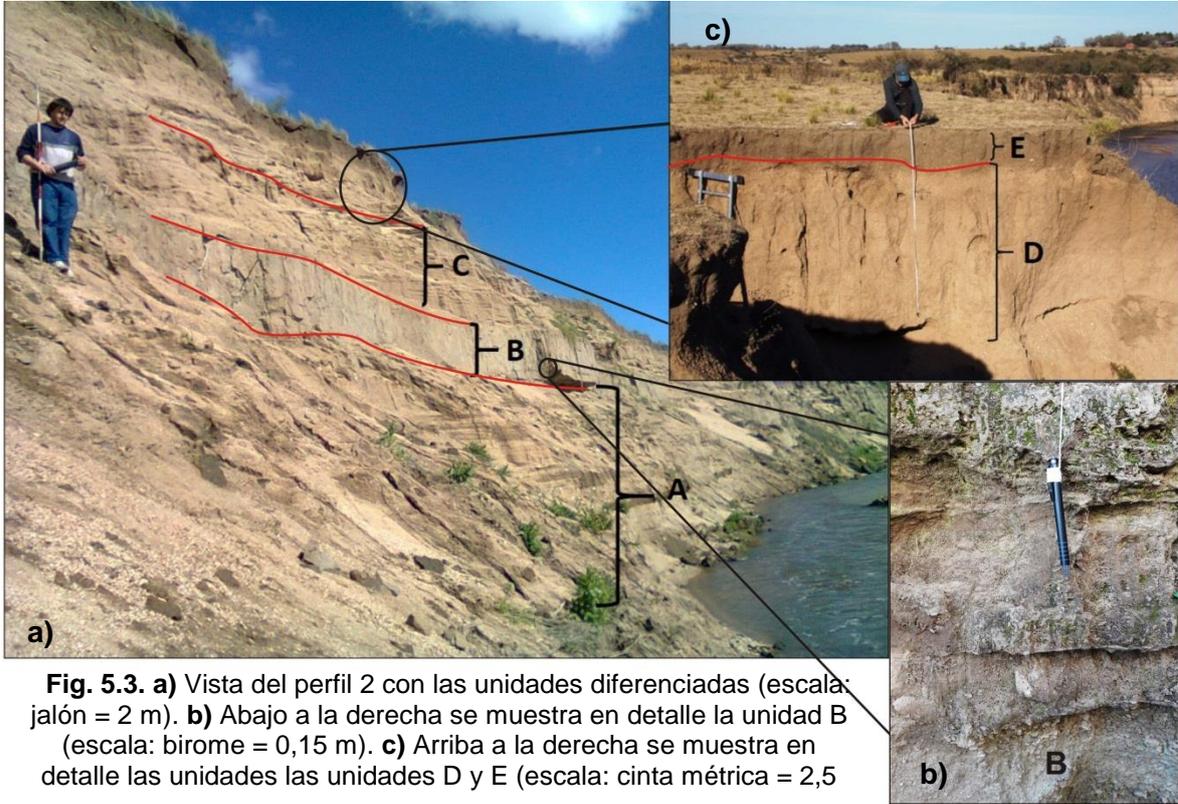
Este perfil se ubica en el borde erosivo de un meandro, en la margen izquierda del río Cuarto (Fig. 5.1), y representa un corte de los materiales que componen la planicie con derrames disipados (mapa geomorfológico, Fig. 7.1).

*Descripción:* el perfil posee una potencia de 20 m (Fig. 5.3) y base cubierta. Los 12 m inferiores (unidad A, Fig. 5.3.a) corresponden a una secuencia de cuerpos tabulares integrada por: a) una unidad basal de 9,5 m de potencia, compuesta por arenas medias, de color pardo rojizo, con una ligera estratificación laminar donde se observan lentes dispersas (0,6 - 0,8 m de potencia) de arenas muy gruesas y gravas, que en contacto neto pasa a b) un nivel tabular, granodecreciente, de 2,5 m de espesor de arenas muy gruesas y gravas, con clastos de hasta 0,2 m de eje mayor, de composición polimíctica (metamorfitas, granitos y pegmatitas), los cuales presentan cierta imbricación. Se visualizan estructuras en artesas poco marcadas. Hacia arriba continúa, en contacto neto, un estrato tabular (unidad B, fig. 5.3.b) de 1,7 m de potencia de material limo-arenoso muy fino, con coloración pardo-grisácea en general. Presenta intercalaciones de bancos (0,15 -0,25 m de espesor), arenosos muy finos y limo arcillosos, con una coloración pardo clara y pardo rojiza, respectivamente.

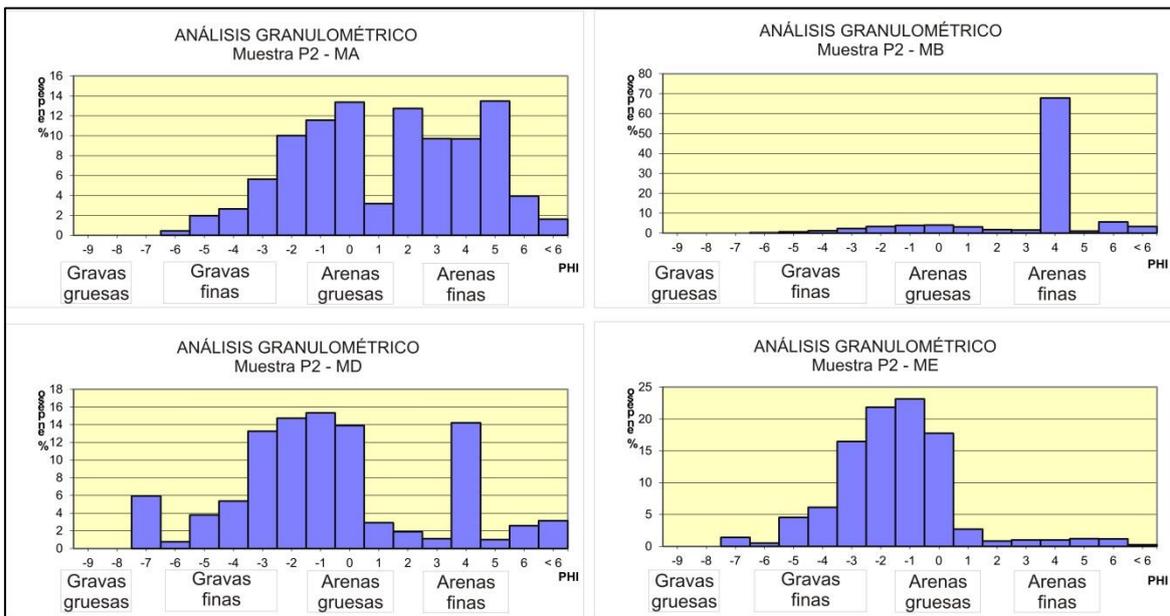
Sobreyace en contacto neto, un nivel de aproximadamente 4 m de espesor de arenas muy gruesas y gravas granodecrecientes (unidad C, Fig. 5.3.a) de composición ígnea-metamórfica y con una ligera laminación. Por encima, se presenta una unidad de 1,6 m de arenas medias y finas (unidad D, Fig. 5.3.c), en contacto neto con las unidades infra y suprayacente, masiva, de coloración pardo-rojiza, con presencia de gravas dispersas con una muy grosera distribución grano decreciente. Le suceden mediante contacto neto un nivel de gravas gruesas con un espesor variable entre 0,4 y 0,6 m que presentan una grosera laminación. El perfil culmina con un paquete de 0,2 m de espesor formado por arenas medias y finas (unidad E, Fig.5.3.c), de color pardo oscuro, con gravillas dispersas que presenta una estratificación poco marcada, moderado a alto

porcentaje de materia orgánica y bioturbación. En la base se observa mayor presencia de gravas y contacto transicional con la unidad inferior.

En la figura 5.4 se muestran los histogramas de barra de la granulometría de muestras representativas de las unidades que componen este perfil.



**Fig. 5.3.** a) Vista del perfil 2 con las unidades diferenciadas (escala: jalón = 2 m). b) Abajo a la derecha se muestra en detalle la unidad B (escala: birome = 0,15 m). c) Arriba a la derecha se muestra en detalle las unidades las unidades D y E (escala: cinta métrica = 2,5

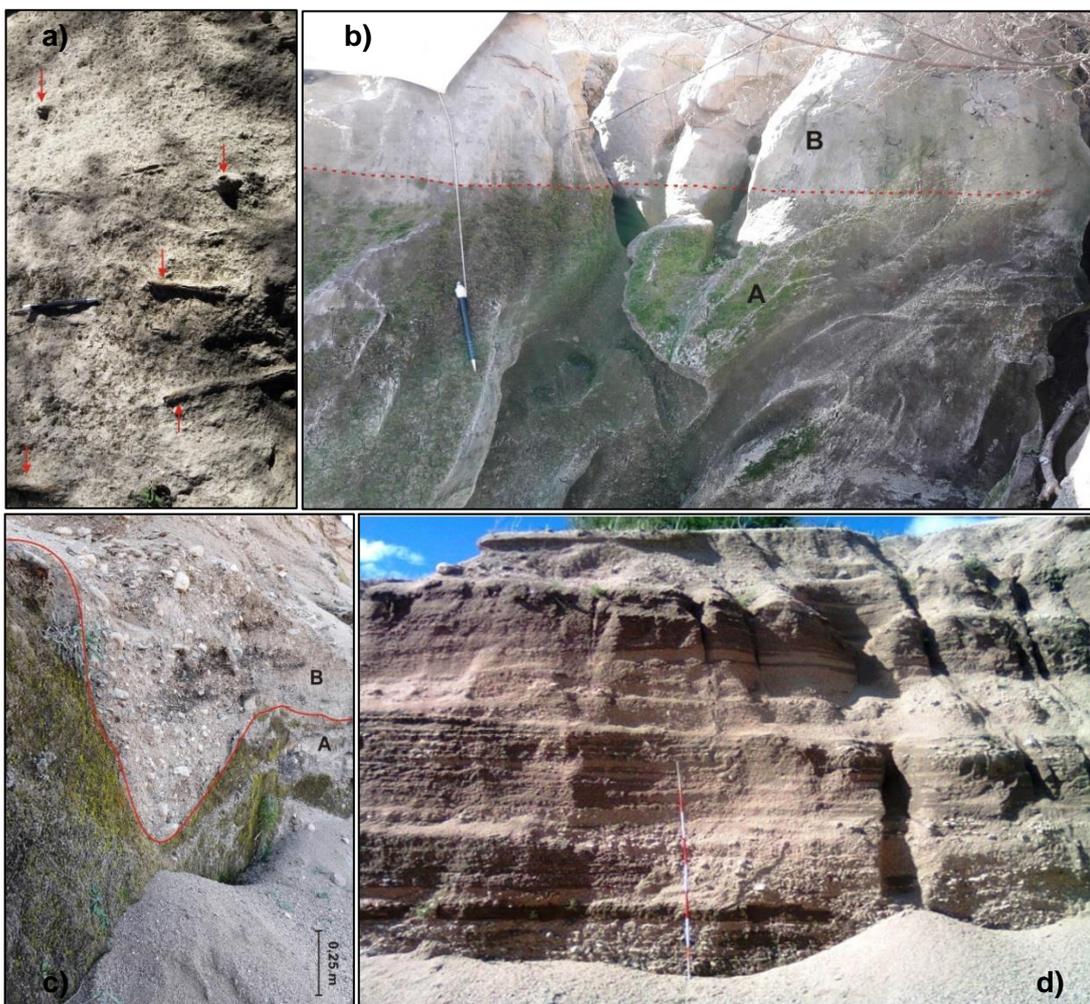


**Fig. 5.4.** Histogramas de distribución granulométrica de muestras extraídas de cada una de las unidades que conforman el perfil 2.

*Interpretación:* toda la secuencia corresponde a depósitos fluviales con diferente grado de energía, donde los más gruesos representan secuencias de canal y lo más finos a desbordes. Los niveles con mayor contenido de materia orgánica representan desarrollo de suelos. La edad de la secuencia se asignaría al Pleistoceno superior-Holoceno superior (Formaciones Chocancharava, Río Cuarto, Las Lajas, Reducción, Degiovanni *et al.*, 2005)

### PERFIL 3

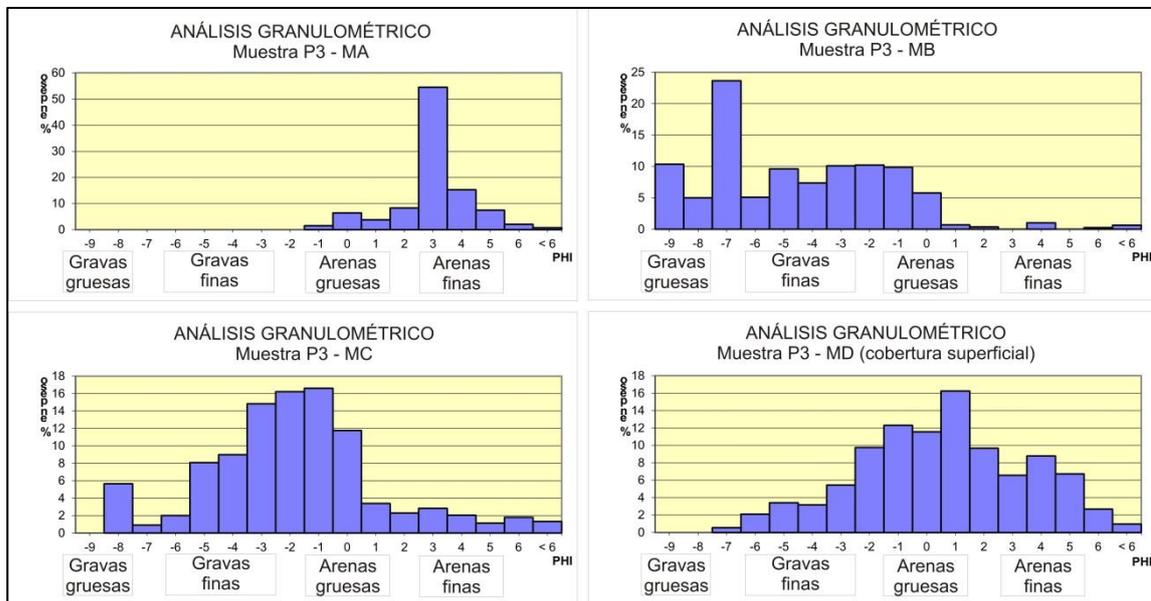
La secuencia descrita se sitúa en la confluencia del paleocanal más occidental del río Seco con el río Cuarto (Fig. 5.1 y 5.5).



**Fig. 5.5.** Fotografías del perfil 3, aflorante sobre margen izquierda del paleocanal colgado del río Seco (zona desembocadura con río Cuarto). **a)** Sedimentos finos palustres con restos vegetales diagenizados en la base de la unidad A (las flechas rojas indican las bioturbaciones y escala: birome = 0,15 m). **b)** Detalle del contacto entre las unidades A y B (escala: birome = 0,15 m). **c)** Contacto entre las unidades A y B, estructura en artesa con relleno granodecreciente . **d)** Niveles gravosos de la unidad C (escala: jalón = 2 m).

**Descripción:** el perfil tiene 12,8 m de potencia (Fig. 5.5), presenta base cubierta y se inicia con un estrato de 4 m de espesor de material areno limo-arcilloso (unidad A, Fig. 5.5.a), con coloración pardo grisácea en seco y negro en húmedo, que presenta abundante bioturbación, como rizoconcreciones, restos de raíces y tallos. En general es masivo, con una fina laminación en sectores cercanos a la base (ligeramente más arenoso). Hacia arriba, mediante contacto neto y erosivo se encuentra un cuerpo de 2,5 m de potencia, de color pardo, compuesto por material gravoso (unidad B, Fig.5.5.b-c) conformando una gran estructura en artesa con relleno granodecreciente. En el primer metro se observan rodados palustres de color pardo oscuro de la unidad infrayacente (que luego desaparecen) y bloques de basamento ígneo-metamórfico groseramente imbricados (tamaño superior a los 0,1 m). Hacia el techo, la sección superior presenta estratificación entrecruzada, y los bloques de basamento disminuyen tanto en presencia como en tamaño. En contacto neto, el perfil culmina con 6,3 m de material gravoso (unidad C, Fig.5.5.d) de color pardo claro a rosado, con estratificación entrecruzada, con lentes de aproximadamente 1 m formadas por rodados de mayor tamaño. Se observan bloques caóticos de entre 0,07 a 0,1 m de eje mayor.

En la figura 5.6, se pueden observar los histogramas de distribución del material que conforma las distintas unidades del perfil.



**Fig. 5.6.** Histogramas de distribución granulométrica de muestras extraídas de cada una de las unidades que conforman el perfil 3.

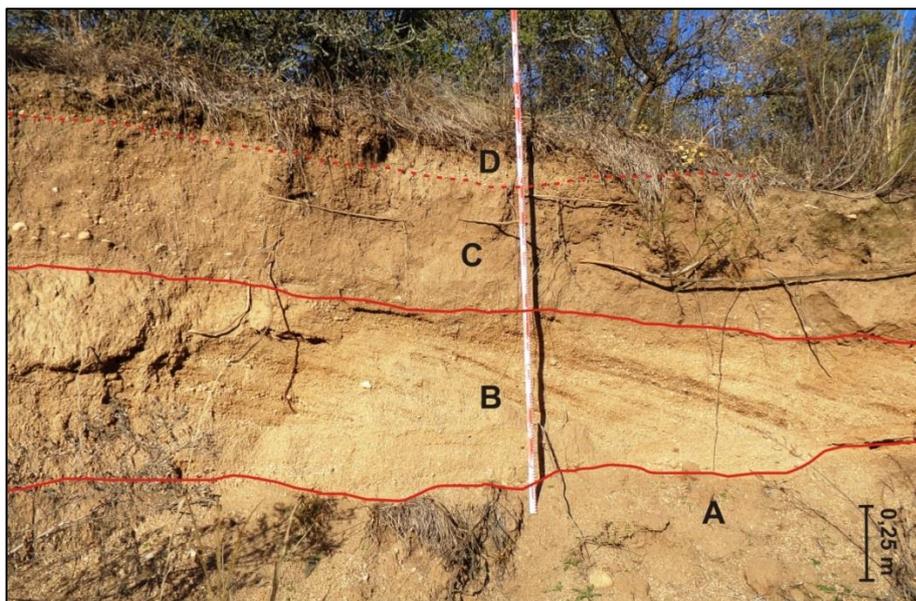
**Interpretación:** se infiere que el material basal (Unidad A) se ha depositado en condiciones de muy baja energía, como pequeños cuerpos lénticos pantanosos en ambientes de llanura de inundación mientras que, la unidad B y C representa el relleno y

migración de barras de un canal con diseño entrelazado. Por el grado de diagénesis y correlación con la estratigrafía regional se asigna a la secuencia inferior al Pleistoceno medio-superior (equiv. Fm. Pampiano/Chocancharava), y las unidades superiores (Unidad B y C), por su posición estratigráfica y geomorfológica (paleocanales de agradación, Fig. 7.1) bajo grado de diagénesis y de edafización, al Holoceno superior tardío.

#### **PERFIL 4**

El perfil se expone en la margen izquierda de una cárcava localizada en el eje de un paleocanal próximo a la confluencia con el río Cuarto (Fig. 5.1).

*Descripción:* la secuencia posee aproximadamente 3 m de potencia y está cubierta en su mayor parte y sólo se exponen los niveles superiores (Fig. 5.7).



**Fig. 5.7.** Perfil 4 expuesto sobre margen izquierdo de sistema de cárcavas del río Cuarto. A- arenas gruesas y sábulos. B- arenas gruesas y gravas. C- arenas gruesas a medias. D- arenas medias.

El perfil se inicia con un estrato tabular de espesor variable (0,15 a 0,25 m) con intercalaciones de arenas gruesas y sábulos, con una ligera estratificación (Unidad A, Fig. 5.7) y color pardo. Por encima, se dispone en contacto neto un cuerpo tabular de material arenoso grueso y gravas, con pequeños bloques dispersos, que presenta una marcada estratificación cruzada y color pardo claro (Unidad B, Fig. 5.7). Sobreyace en contacto neto, un nivel de 0,3 m de potencia de arenas gruesas a medias con sábulos dispersos,

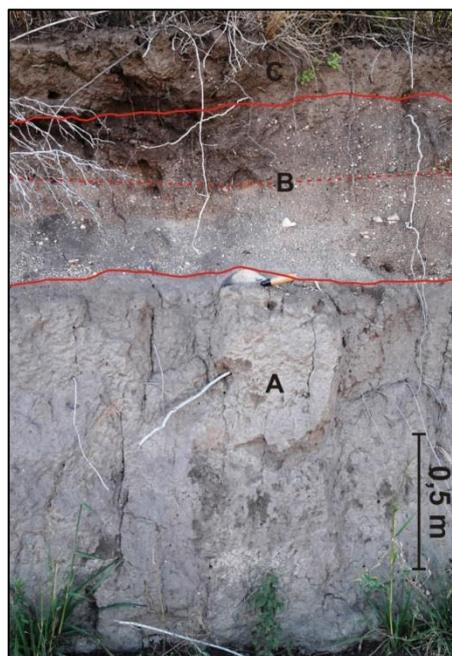
masivos y abundante presencia de raíces (Unidad C, Fig. 5.7). Por encima y en contacto transicional, se puede observar un paquete de aproximadamente 0,3 m de arenas medias masivas con gravillas dispersas y un nivel superior de gravas y sábulos inmersos de una matriz arenosa fina (0,1 m), con raíces y mayor contenido de materia orgánica (Unidad D, Fig. 5.7).

*Interpretación:* toda la secuencia está representada por materiales producto de agradación de canales entrelazados, que exhiben un suelo de escaso desarrollo en su techo. Se asignan estos depósitos al Holoceno superior tardío.

## PERFIL 5

Este perfil se ubica sobre margen izquierda del río Seco (Fig. 5.1)

*Descripción:* posee 2,5 m de potencia total, presenta base cubierta (Fig. 5.8) y se inicia con un nivel de 1,5 m de arenas finas con algunas gravillas dispersas, masivo, color pardo a pardo oscuro, con abundante bioturbación (Unidad A, Fig. 5.8). En contacto neto, sobreyace un nivel de 0,65 m, de color pardo que se hace más oscuro hacia el techo, compuesto por arenas medias a gruesas con algunos bloques dispuestos en forma caótica (Unidad B, Fig. 5.8). Culmina el perfil con un estrato de 0,25 m. de espesor de arenas gruesas y gravas, inmersas en una matriz areno-limosa (Unidad C). Hacia el techo incrementa el contenido de materia orgánica y actividad radicular.



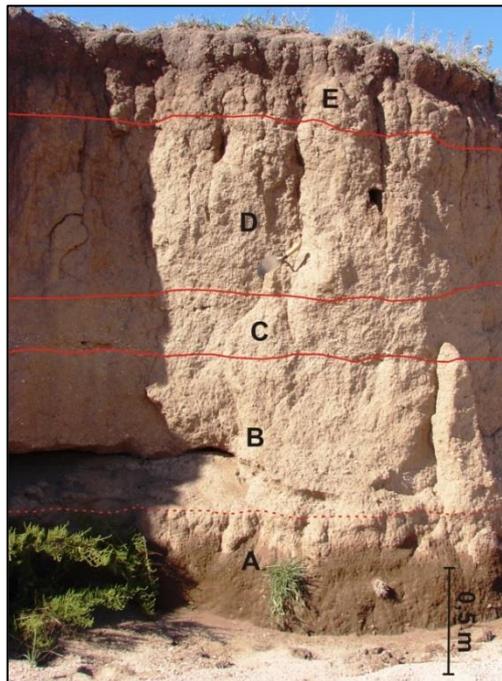
**Fig. 5.8.** Perfil 5 expuesto sobre margen izquierdo del río Seco, en el cual se indican las tres unidades reconocidas.

*Interpretación:* esta secuencia correspondería a los niveles superiores del relleno de un canal (etapa de abandono), que presenta desarrollo de un suelo y se asigna al Holoceno superior tardío.

## PERFIL 6

La secuencia se expone sobre la margen izquierda del río Seco (Fig. 5.1)

*Descripción:* el perfil tiene 3,25 m de espesor y la base se encuentra cubierta. Se inicia con un estrato tabular de 0,5 m de potencia formado por limos y arenas muy finas masivas, color pardo claro (Unidad A, Fig. 5.9). Transicionalmente continúan 0,65 m de espesor de arenas muy finas, de color pardo claro y groseramente estratificadas (Unidad B, Fig. 5.9), que se encuentran en contacto neto con una lente de arenas gruesas y gravas de 0,3 m de espesor de igual coloración (Unidad C, Fig. 5.9).



**Fig. 5.9.** Perfil 6 expuesto sobre margen izquierda del río Seco, mostrando una secuencia de eventos de desbordes de distinta energía. A- limos y arenas muy finas. B- arenas muy finas. C- Arenas gruesas y gravas. D- arenas finas y muy finas. E- intercalación de arenas muy gruesas y finas.

En contacto neto sobreyace un nivel de 1 m. de espesor de arenas finas y muy finas, granodecreciente, groseramente laminadas, color pardo claro (Unidad D, Fig. 5.9). El perfil culmina con una secuencia de bancos tabulares de 0,80 m de espesor (Unidad E, Fig. 5.9) compuesta por una pequeña lente (0,15 m) de arenas gruesas y muy gruesas,

sin estructura; un estrato (0,3 m) de limos y arenas muy finas con gravillas dispersas y un paquete (0,3 m) de arenas gruesas inmersas en una matriz limo arenosa. La coloración varía desde pardo a pardo oscuro hacia el techo de la secuencia, donde hay mayor contenido de materia orgánica y bioturbaciones.

*Interpretación:* La secuencia descrita está conformada por una sucesión de eventos de desbordes de diferente energía y presenta en la parte superior un suelo poco desarrollado. Por su posición estratigráfica y geomorfológica y, considerando antecedentes regionales, se considera que la secuencia basal podría corresponder al Holoceno medio y la superior al Holoceno superior.

## **PERFIL 7**

El perfil se ubica en un corte de camino y muestra los depósitos de una pequeña loma en la planicie de derrames con cubierta eólica, ubicada al Oeste del río Seco, en el sector sur del paleoabanico (Fig. 5.1 - Fig. 7.1).

*Descripción:* la secuencia posee un espesor de 1,50 m (Fig. 5.10) y está conformada en su totalidad por materiales limosos-arenosos muy finos, masivos, color pardo a pardo claro (de húmedo a seco). Hacia el techo hay actividad radicular y un leve enriquecimiento de materia orgánica.



**Fig. 5.10.** Perfil 7 expuesto en una loma al Oeste del río Seco (escala: pala = 1,50 m).

*Interpretación:* estos depósitos se consideran de origen eólico y por su posición estratigráfica y antecedentes regionales, se correlacionan con la Formación Laguna Oscura del Holoceno superior.

## **PERFIL 8**

Se localiza en una cárcava que se ha desarrollado sobre un paleocanal del río Seco que desemboca en el río Cuarto, al igual que el perfil 4 (Fig. 5.1).

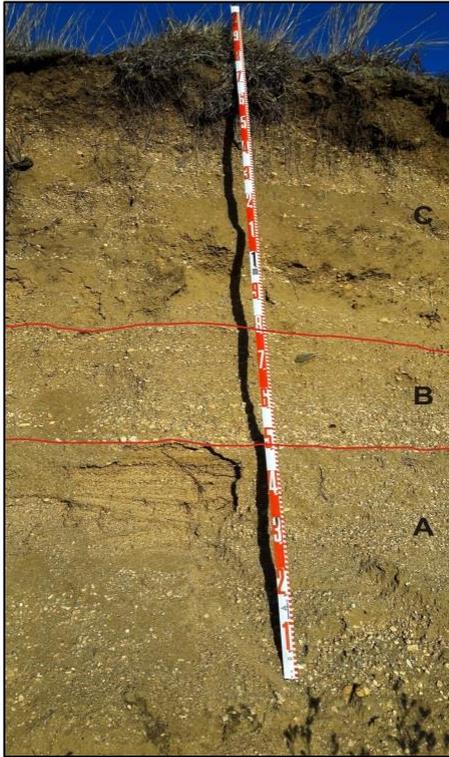
*Descripción:* sólo se observa su parte superior, ya que su base y gran parte del mismo se encuentra cubierto (Fig. 5.11). Posee una potencia aproximada de 1,9 m, comenzando con un nivel de 0,5 m de espesor de arenas medias a gruesas, color pardo claro y con estratificación entrecruzada (Unidad A, Fig. 5.11), al cual le sobreyace transicionalmente otro nivel (0,2 m. de potencia) de arenas muy gruesas con bloques de mayor tamaño, color pardo claro y estratificación plano paralela (Unidad B, Fig. 5.11). Por encima, se presenta un paquete de 1,2 m de espesor (Unidad C, Fig. 5.11) el cual está conformado por intercalaciones de bancos (0,15 – 0,2 m) de materiales de granulometrías finas y gruesas, de coloración parda (hacia el techo pardo oscura debido al mayor contenido de materia orgánica) y una ligera estratificación plano paralela.

*Interpretación:* toda la secuencia representa depósitos producto de agradación de canales con suelo de escaso desarrollo en su techo. Se asignan estos depósitos al Holoceno superior tardío.

## **PERFIL 9**

*Descripción:* tiene una potencia de 0,5 m y se conforma en su totalidad de un cuerpo tabular, groseramente laminado, compuesto por arenas finas a medias con algunas gravillas dispersas, presenta color pardo oscuro y mayor contenido de materia orgánica y actividad radicular hacia el techo (Fig. 5.12.).

*Interpretación:* la secuencia representa depósitos de desbordes con un moderado grado de edafización (planicies con dominios de derrames disipados, Fig. 7.1) y se asignan al Holoceno superior.



**Fig. 5.11.** Perfil 8 que se expone en cárcava del río Seco. A- arenas medias a gruesas. B- arenas muy gruesas. C- intercalaciones de arenas finas y gruesas.



**Fig. 5.12.** Perfil 9 compuesto por arenas finas a medias que representan depósitos de desbordes.

## PERFIL 10

El perfil se localiza en el cauce del río Seco previo a la desembocadura en el río Cuarto y se expone en un relicto de erosión producto de la profundización del canal (Fig. 5.1 y 5.13).

*Descripción:* posee un espesor de 1 – 1,40 m (Fig. 5.13) y está conformado por materiales arenosos finos, cohesivos, masivos a groseramente laminados, de color pardo rojizo, que además afloran en márgenes y lecho del río Seco.

*Interpretación:* esta secuencia correspondería a secuencias aluviales de abanicos distales con un avanzado grado de diagénesis (cementación, compactación), por lo que se infiere que serían del Pleistoceno medio-superior (Fm. Pampiano – Fm. Chocancharava).



**Fig. 5.13.** Vistas del Perfil 8 expuesto en el lecho del río Seco, sector confluencia con el río Cuarto (escala: cinta métrica = 2 m).

### PERFIL 11

El perfil se localiza en una trinchera excavada, en el sector Sur y hacia el lado oriental del río Seco (Fig. 5.1).

*Descripción:* presenta 1 m de espesor, base cubierta e inicia con 0,8 m. de arenas medias a gruesas (Unidad A, Fig. 5.14), de color pardo claro (algo más oscuro hacia la base debido a la humedad del material) que presentan estructuras en artesa. Por encima y en contacto neto, presenta un nivel de 0,2 m de arenas muy finas con gravas dispersas (Unidad B, Fig. 5.14), masivo a groseramente lamido, enriquecido en materia orgánica y con importante actividad radicular.

*Interpretación:* depósitos de agradación de canal entrelazado, con cubierta de materiales más finos en etapa de abandono, los cuales presentan un suelo poco evolucionado. Se consideran depósitos del Holoceno tardío-moderno.

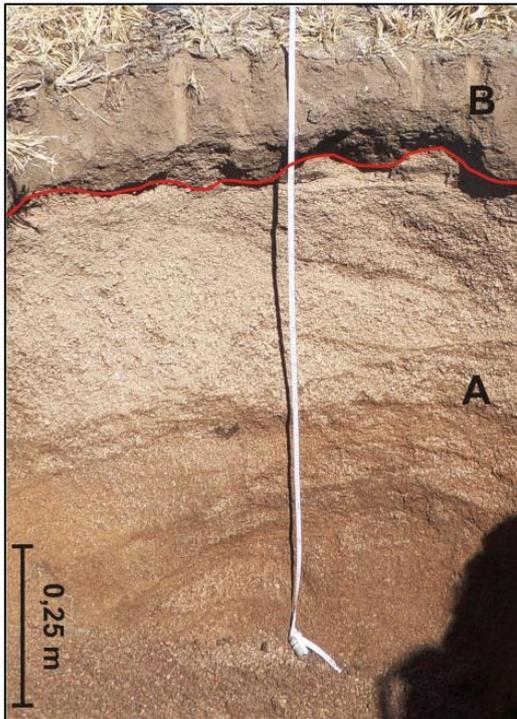
### PERFIL 12

El perfil corresponde a una trinchera excavada en una planicie de derrames, en el sector central del área y al Oeste del río Seco (Fig. 5.1 y Fig. 7.1).

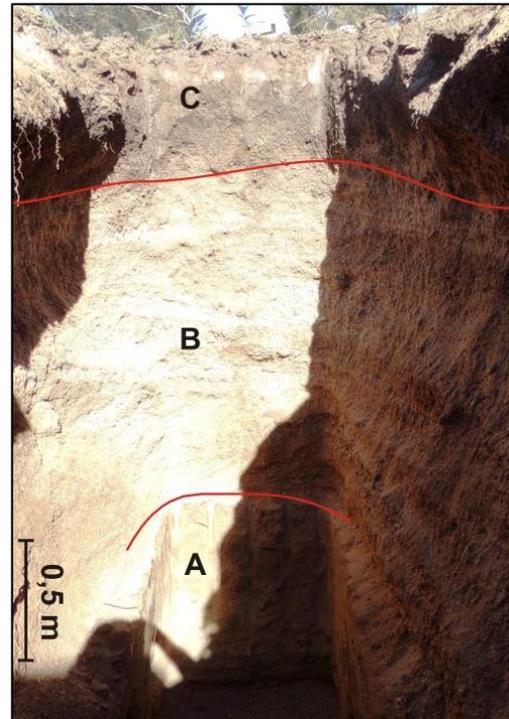
*Descripción:* con una potencia de 2,3 m y su base cubierta, el perfil se inicia con 0,6 m. de limos con arenas medias a finas (Unidad A, Fig. 5.15), masivas, de color pardo claro y muy compactas. Por encima y en contacto neto, sigue un estrato de 1,2 m de espesor, compuesto por arenas gruesas y gravas (Unidad B, Fig. 5.15), de coloración

pardo clara y estratificadas. Culmina la secuencia con un paquete de 0,5 m, de arenas muy finas con gravas dispersas (Unidad C, Fig. 5.15), color pardo oscuro (debido a la presencia de un porcentaje alto de materia orgánica) y masivas.

*Interpretación:* la secuencia representa episodios de desbordes de distinta energía, con desarrollo de un suelo moderado en su parte superior, que se asignan al Holoceno superior.



**Fig. 5.14.** Perfil 11 que se expone en el sector Sur del área estudiada y representa depósitos de agradación de un canal con cubierta de desbordes (etapa de abandono).



**Fig. 5.15.** Perfil 12 que se expone en el sector central de la zona estudiada, representando episodios de desbordes de distinta energía.

### **PERFIL 13**

El perfil corresponde a una trinchera excavada en una planicie con dominio de paleocanales y derrames, en el sector centro-sur del área y al Oeste del río Seco (Fig. 5.1 y Fig. 7.1).

*Descripción:* la secuencia presenta una potencia de 1,5 m y su base está cubierta (Fig. 5.16). Se reconocen dos unidades separadas por un contacto neto: la inferior de (0,8 m espesor), está compuesta por arenas gruesas (Unidad A, Fig. 5.16), muy bien seleccionadas, de color pardo claro y presenta una ligera estratificación. La unidad superior (Unidad B, Fig. 5.16) de 0,7 m de espesor, está conformada por arenas muy finas, masivas, de color pardo oscuro y con abundante contenido de materia orgánica.

*Interpretación:* el nivel basal representa depósitos de canal y el superior secuencias de menor energía, correspondientes a etapa de abandono del canal. La unidad B exhibe un suelo de moderado desarrollo. La secuencia se asigna al Holoceno superior.



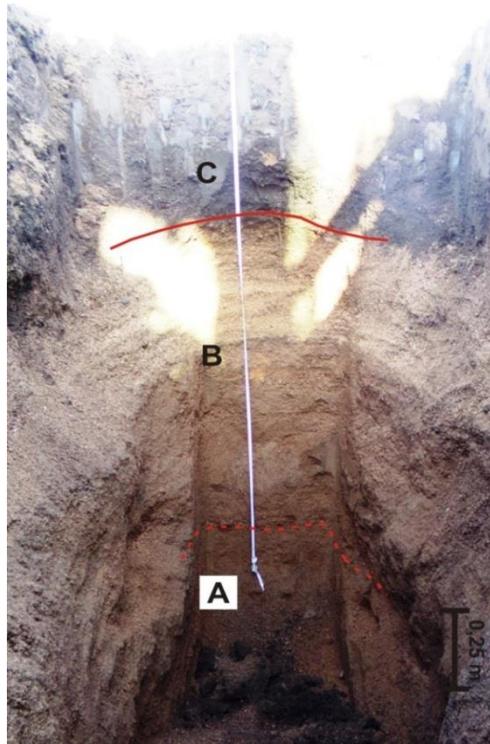
**Fig. 5.16.** Perfil 13 que presenta dos unidades: la inferior (A) son arenas gruesas que representan depósitos de canal y la superior (B) arenas muy finas, correspondientes a etapas de abandono del canal.

#### **PERFIL 14**

El perfil corresponde a una trinchera excavada en el sector norte del área, al oriente del río Seco, donde dominan paleocanales con diseño meándrico (Fig. 5.1 y Fig. 7.1).

*Descripción:* el perfil tiene una potencia de 2 m y presenta su base cubierta (Fig. 5.17). Se inicia con un nivel de 0,3 m de arenas finas con algo de arcillas en su composición (Unidad A, Fig. 5.17), color pardo oscuro y masivas. Por encima y en contacto transicional, se observa una unidad de arenas medias y gruesas, de 1,1 m de espesor (Unidad B, Fig. 5.17), de color pardo claro a rojizo hacia la base y con una grosera estratificación cruzada. Culmina el perfil con un nivel (0,6 m) que se encuentra en contacto neto, de arenas muy finas con gravas dispersas (Unidad C, Fig. 5.17), masivas y de coloración pardo oscuro, con abundante contenido de materia orgánica.

*Interpretación:* la secuencia basal representa depósitos de canal y el nivel superior depósitos de menor energía, correspondientes a etapa de abandono de canal. La unidad C exhibe un suelo de moderado desarrollo. La secuencia de asigna al Holoceno superior.



**Fig. 5.17.** Perfil 14 que se expone en el sector Norte, donde dominan la presencia de paleocanales meándricos. A- arenas finas. B- arenas medias y gruesas. C- arenas muy finas con gravas dispersas.

### 5.1.2. Evolución geológica del área de estudio

A partir de las descripciones realizadas de los perfiles, en conjunto, con la recopilación de antecedentes bibliográficos se elaboró una síntesis de la estratigrafía local enmarcada dentro del ámbito regional. Los depósitos sedimentarios cuaternarios están fuertemente condicionados por cambios climáticos alternantes entre ciclos húmedos y áridos, los cuales son asignados a períodos interglaciares y glaciares respectivamente (Cantú, 1992 y Carignano, 1999). Estos ciclos, representados en el área principalmente por eventos eólicos, y fluviales/aluviales, sumado a la actividad neotectónica (Costa *et al.*, 2014), explican la evolución geológica del área durante el Neógeno-Cuaternario.

Los materiales depositados durante el Pleistoceno medio a superior podrían correlacionarse con un ciclo glacial de aridez, durante este período se produjo la depositación de materiales fluviales de baja energía y secuencias eólicas de un espesor considerable. Durante este ciclo más árido el río Seco habría desarrollado un abanico con ápice situado inmediatamente a la salida del ambiente serrano, con lo cual en la zona de estudio se reconocerían depósitos distales y eólicos interdigitados. Estas secuencias corresponderían a la Fm. Pampiano (Cantú, 1992) y en la zona de estudio, estaría

representada por materiales cohesivos, masivos y con un avanzado grado de diagénesis (cementación, compactación), que se observan en la base de la secuencia estratigráfica aflorante en los perfiles 2, 3 y 10

Durante el Pleistoceno superior las condiciones climáticas estarían caracterizadas por mayores precipitaciones y temperaturas más cálidas (ciclo interglaciar), el ascenso del nivel freático permitió la expansión e incisión de la red de drenaje y la aparición de humedales (Carignano, 1999, Carignano *et al.*, 2014). El río seco habría iniciado su abanico proximal y trasladado su ápice hacia aguas abajo. Esta situación climática, en especial en transición hacia el Último Máximo Glacial, del Pleistoceno superior, generó la depositación de secuencias fluviales y de llanura de inundación en los valles principales de la cuenca. Estos sedimentos son asignados a la Fm. Chocancharava (Cantú, 1992), pudiendo observarse como material basal de barrancas en los márgenes del río Cuarto (unidad A de perfil 3).

En el límite Pleistoceno-Holoceno Temprano, coincidente con el Último Máximo Glacial, se instaló un clima árido y frío, condiciones apropiadas para la sedimentación de potentes secuencias limosas eólicas de gran escala representados por la Fm. La Invernada (Cantú, 1992). En lo que respecta a los sistemas fluviales, los de menor jerarquía se obliteraron, mientras que los mayores, generaron importantes abanicos, con retracción de ápices hacia aguas arriba, continuando con la sedimentación aluvial (equiv. Fm Río Cuarto, Degiovanni *et al.*, 2005). En el área estudiada se pueden observar los depósitos fluviales de este período correspondientes tanto a relleno de canal como de desborde en la parte basal y media de los perfiles 2 y 3.

Durante el Holoceno inferior-medio se instalan condiciones subtropicales húmedas, coincidiendo con un período interglaciar (Optimum Climaticum, Carignano, 1999; Carignano *et al.*, 2014; Cantú, 1992), etapa en la cual se produce la expansión de las redes de drenaje y progradación de los abanicos hacia aguas abajo. Los materiales depositados son equivalentes a la Fm. Las Lajas (Cantú, 1992) y en el área de estudio son reconocidos en los perfiles 2, 3 y 6.

Hacia el Holoceno superior las condiciones climáticas se tornaron cálidas y secas (clima semiárido), los sistemas fluviales se retrajeron y los procesos eólicos se tornaron predominantes, depositándose preferentemente sedimentos limosos y arenosos muy finos, agrupados en la Fm. Laguna Oscura por Cantú (1992), que interdigitan y/o cubren a los fluviales (equiv. Fm. Reducción, Degiovanni *et al.*, 2005). En la zona estudiada los depósitos eólicos se encuentran representados por una pequeña loma que fue descrita en el perfil 7 y, los fluviales están presentes en la mayoría de los perfiles (2, 3, 5, 6).

Según Iriondo (1999), hace 1400 años comenzaron a instalarse las condiciones actuales predominantemente húmedas y templadas (clima Atlántico), correspondiente con un período interglaciar. El aumento de las precipitaciones limitó el desarrollo de los procesos eólicos, favoreciendo la formación de suelos y la reinstalación de las redes de drenaje actuales, progradando el ápice del abanico nuevamente hacia aguas abajo, situándose hacia la posición del área estudiada. Los materiales depositados durante este período están presentes, generalmente en casi todos los perfiles, tratándose de sedimentos de diversa granulometría, en general gruesos, producto a la acción depositacional de cursos fluviales entrelazados de energía variable. Estas condiciones fueron interrumpidas por un nuevo avance glacial, conocido como Pequeña Edad de Hielo (800-200 años AP., Iriondo, 1999), marcado por una leve aridización que favoreció la removilización de los materiales limo-arenosos antes depositados (Fm. Laguna Oscura). En el río Seco se intensificaron los eventos de desbordes, derramando su carga en forma aluvional, mediante procesos de avulsión.

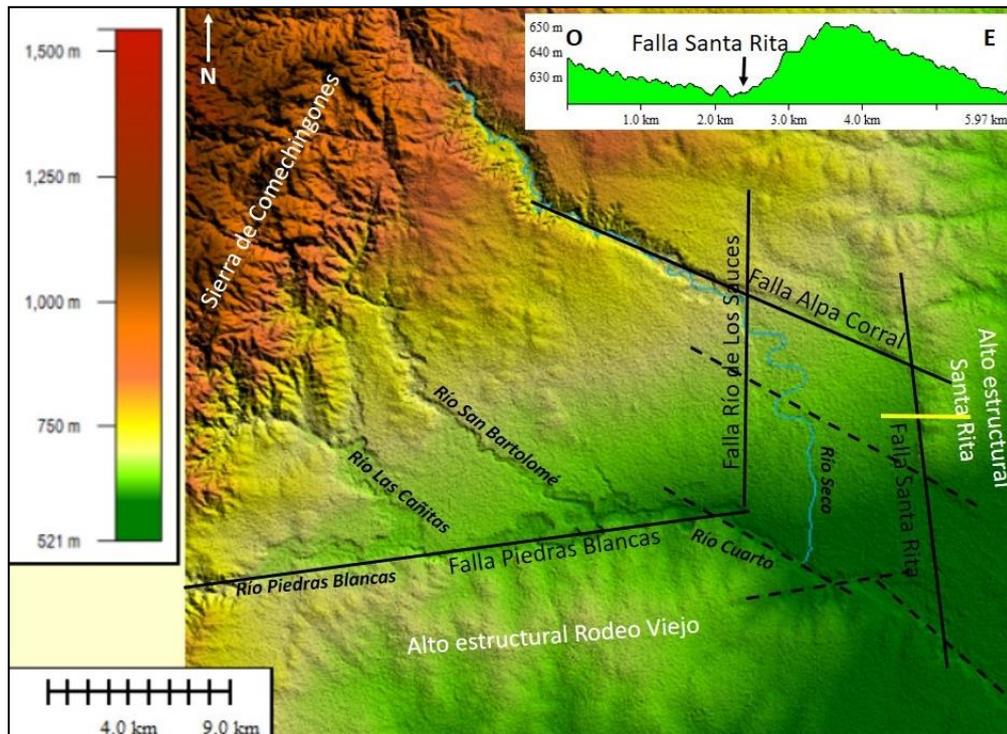
En la actualidad domina un clima templado subhúmedo, el río Seco ha incidido y el abanico aluvial está inactivo, y sus depósitos muestran distinto grado de edafización.

## **5.2. Estructura**

Los sistemas de estructuras del área de estudio conforman un conjunto de bloques diferencialmente ascendidos y basculados, provocando un fuerte control en el relieve y el sistema fluvial (Fig. 5.18). Las principales estructuras reconocidas, algunas de ellas de carácter regionales, pueden agruparse según su rumbo en tres sistemas: N-S, NO-SE y SO-NE (Fig. 5.18):

Las fallas de Santa Rita y Río de los Sauces, de rumbo N-S, tienen mucha relevancia en la zona de estudio ya que definen una depresión tectónica de pequeña escala, donde se acumularon grandes volúmenes de material sedimentario por el sistema Alpa Corral-río Seco

La **falla de Santa Rita** define hacia el Este, el alto estructural homónimo, que constituye el límite oriental del abanico aluvial del río Seco (Fig. 5.20). Mientras que el bloque occidental, que se encuentra a una cota inferior, constituye la cuenca de agradación (Fig. 5.19).

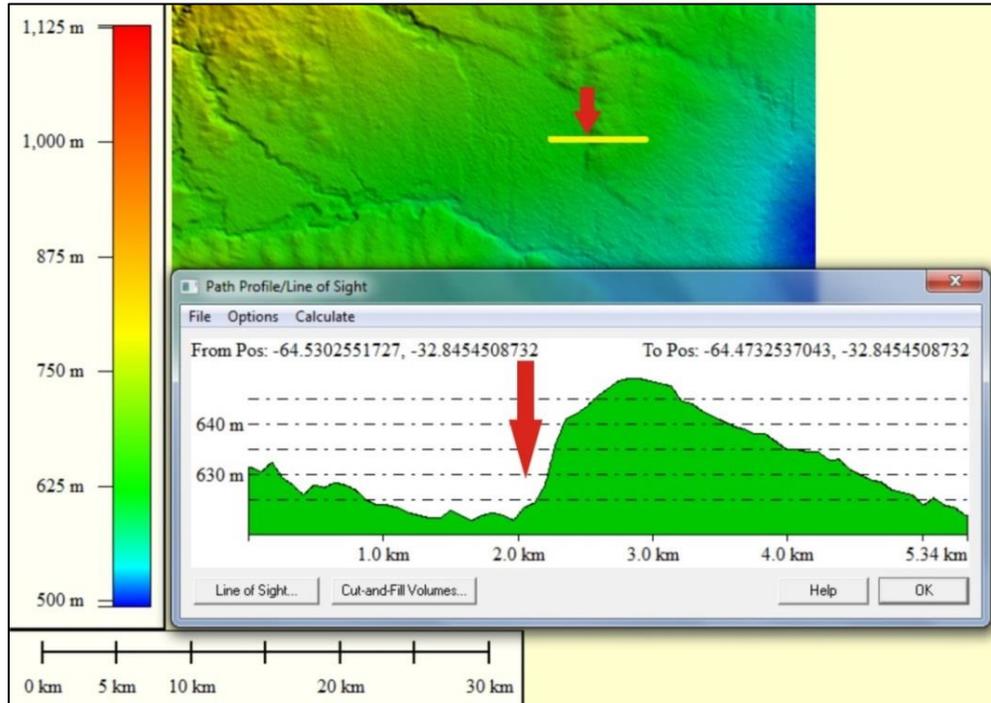


**Fig. 5.18.** Modelo de elevación del terreno (30 m de resolución) donde se indica la ubicación de las principales fallas (líneas continuas negras) y fallas inferidas (línea de trazos negras) en el área de estudio. La línea amarilla indica la traza del perfil topográfico mostrado en el sector superior derecho de la imagen, mostrando el bloque elevado al Este (Alto Santa Rita) y el deprimido al Oeste de la falla Santa Rita.

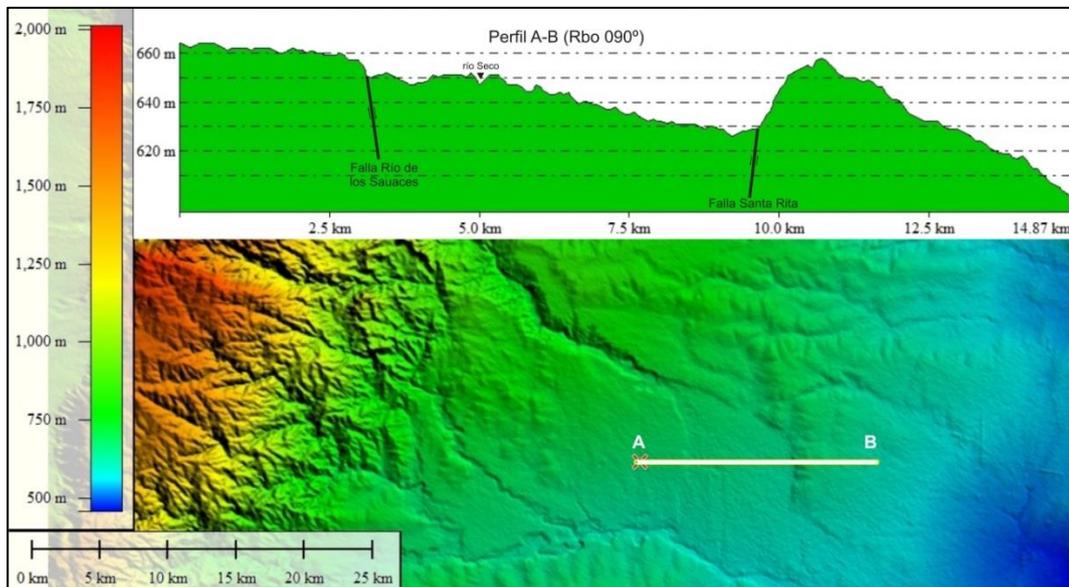
La **falla Río de los Sauces** es el límite occidental del abanico aluvial del río Seco (Fig. 20), el cual se desarrolla en su totalidad sobre el bloque Este (bloque descendido).

Por su parte la **falla de Alpa Corral**, perteneciente al sistema NO-SE es el límite norte del abanico aluvial del río Seco que tiene su evolución sobre el bloque deprimido de esta estructura (Fig. 5.21).

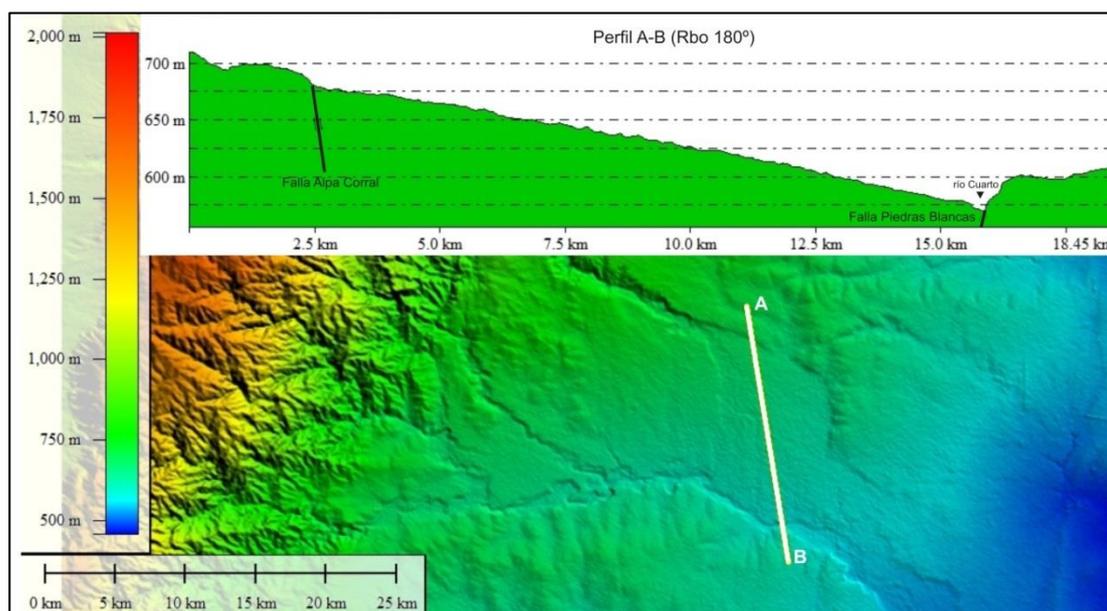
Finalmente, la **falla Piedras Blancas**, de rumbo SO-NE, controla la traza del río Cuarto en el tramo inferior previo a su confluencia con el río Seco (Fig. 5.18) y junto a otros sistemas conjugados define el Alto de Rodeo Viejo hacia el Sur (Fig. 5.21), que explica la conformación asimétrica de la cuenca del río Cuarto en la zona pedemontana que sólo recibe afluentes desde el Norte.



**Fig. 5.19.** Imagen y perfil topográfico trabajado con el programa Global Mapper, línea amarilla indica sector en el cual se trazó el perfil y flecha roja indica la ubicación de falla Santa Rita.



**Fig. 5.20.** Perfil topográfico con base en el programa Global Mapper, el cual atraviesa el abanico aluvial del río Seco de Oeste a Este y se observan las fallas de Rio de los Sauces y Santa Rita que se comportan como los límites del mismo. La línea blanca indica la ubicación en la cual se trazó el perfil.



**Fig. 5.21.** Perfil topográfico con base en el programa Global Mapper, el cual atraviesa el abanico aluvial del río Seco de Norte a Sur y se observan las fallas de Alpa Corral y Piedras Blancas que se comportan como los límites del mismo. La línea blanca indica la ubicación en la cual se trazó el perfil.

## **CAPÍTULO 6**

# **GEOMORFOLOGÍA**

### **6.1. Introducción**

Como surge del análisis del contexto geológico-geomorfológico regional el área de estudio se encuentra en el pedemonte oriental de las Sas. de Comechingones, que constituye un ambiente agradacional, donde se acumularon potentes secuencias fluviales interdigitadas y/o cubiertas por depósitos eólicos, desde el neógeno a la actualidad, fuertemente controlados por la tectónica (Degiovanni, 2005; Carignano et al., 2014). Tal es el caso del río Seco, que en su tramo final, previo a la confluencia con el río Cuarto ha desarrollado un abanico aluvial en una depresión tectónica definida por estructuras locales y regionales (Fig. 5.18 – capítulo 5).

En el presente trabajo se analiza el sector occidental de este abanico, donde se reconocieron las unidades y subunidades geomorfológicas que se muestran en el mapa de la Figura 6.1.

### **6.2. Descripción de unidades geomorfológicas**

#### **I) Planicie fluvio-eólica La Invernada**

Planicie suavemente ondulada que se encuentra en el sector Oeste del área de estudio, con pendientes bajas (1 - 1,5 %) que generalmente inclinan hacia el SE (Fig. 6.1 y 6.2). Se conforma de lomadas anchas, en sentido NO-SE, de materiales limo-arenosos finos, masivos, de origen eólico, correspondientes a la Fm. La Invernada (Cantú, 1992). Se destaca la ausencia/escasos paleorasgos de origen fluvial, además de la baja densidad de cárcavas. Los sectores más bajos, funcionan como redes de escurrimiento superficial en épocas de lluvias, encauzando las aguas pluviales hacía el sector sur hasta desembocar en el río Cuarto. Los suelos son molisoles de variado desarrollo.

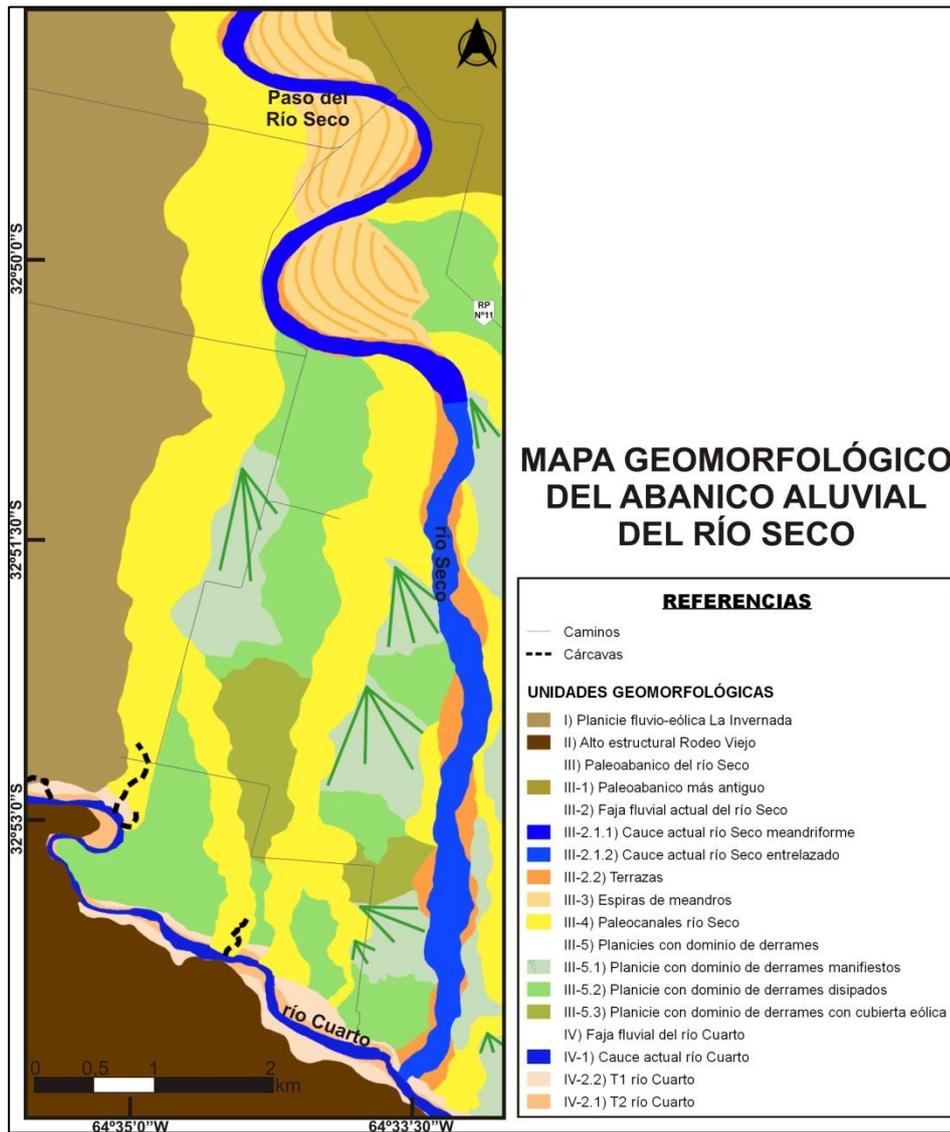


Fig. 6.1. Mapa geomorfológico del sector occidental del abanico aluvial del río Seco.

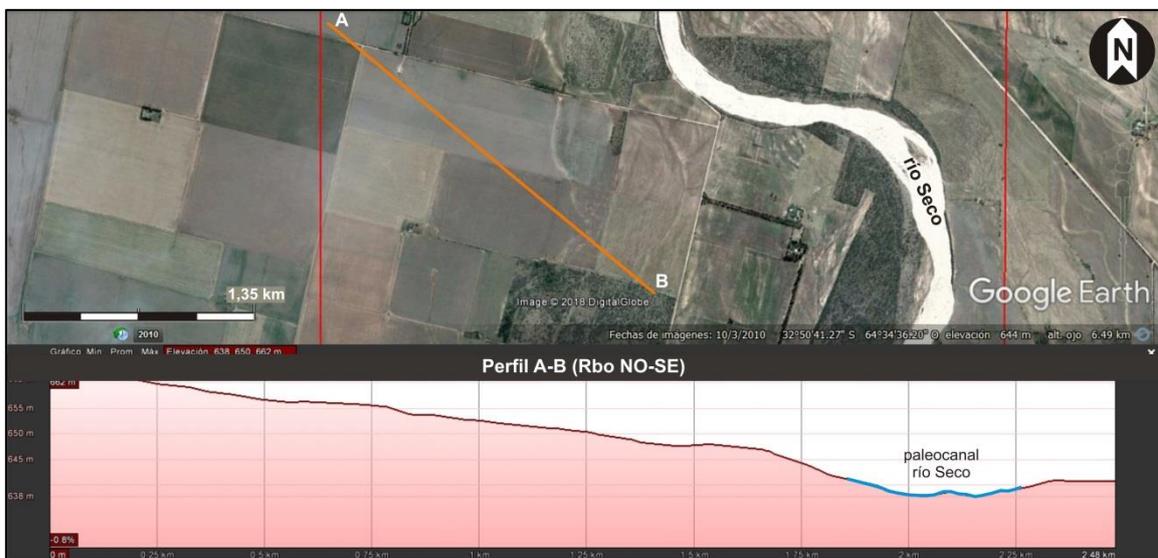
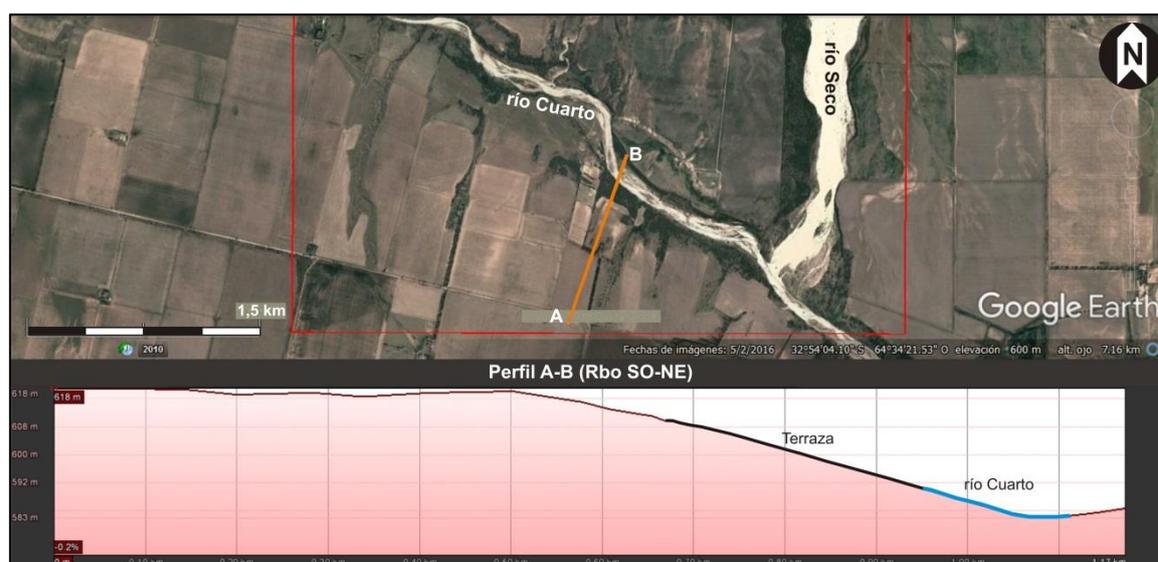


Fig. 6.2. Perfil (línea naranja) en sector de planicie eólica La Invernada en área de estudio (delimitada en rojo). Perfil de Google Earth (imagen año 2016).

## II) Alto estructural de Rodeo Viejo

Alto topográfico con cumbre plana donde se exponen secuencias eólicas, localizado al Sur del río Cuarto que presenta un basculamiento general hacia el S y SE, controlado estructuralmente por la falla de Piedras Blancas y el sistema conjugado NO-SE (Fig. 6.1). En el área de estudio sólo está representado parte del flanco nororiental de esta morfoestructura, el cual muestra una pendiente del orden de 1,8 % y un relieve ondulado asociado a la presencia de rasgos de erosión hídrica, principalmente. Éstos rasgos son más importantes en el sector occidental, donde se registra una mayor pendiente (entre 1,5 y 3 %) y ondulación, generado por un sistema de cárcavas parcialmente inactivo, que drenan hacia el río Cuarto. En el sector central y oriental, el relieve es más suave (pendiente promedio 0,8 %) con lomadas más anchas, dominando aquí los rasgos eólicos y, los sistemas de cárcavas sólo se desarrollan en cercanías a la faja fluvial del río Cuarto (Fig. 6.3). Los suelos en esta unidad son molisoles de moderado desarrollo.



**Fig. 6.3.** Perfil transversal al rumbo del Alto estructural de Rodeo Viejo, observándose el sector cumbre al SO y el flanco hacia el río Cuarto (NE). Perfil de Google Earth (imagen año 2016).

## III) Paleoabanico aluvial del río Seco

Está conformado por un sistema de abanicos aluviales, controlados estructuralmente, desarrollados por el río Seco sobre las planicies eólicas y fluvio-eólicas. En general, presenta una orientación SSE producto de la pendiente regional del terreno, con algunas ondulaciones de variadas orientaciones, ya que se encuentran rasgos de paleocanales del río Seco y desbordes de distinta magnitud.

Las subunidades identificadas en esta unidad son las siguientes:

### **III-1) Paleoabanico más antiguo**

Esta unidad sólo está representada en el sector N-NE del paleoabanico (Fig. 6.1) y tiene un relieve muy suavemente ondulado (pendiente 0,8 - 0,6 %), donde se reconocen paleocanales rectilíneos de orientación NO-SE y rasgos de desbordes muy disipados, indicando su antigüedad y grado de evolución. Los perfiles descritos muestran secuencias aluviales granodecipientes que rematan en depósitos de desborde con mayor proporción de materiales finos, debido a su prolongada inactividad y evolución presenta suelos muy desarrollados (Fig. 6.4).

Esta unidad es parte de un abanico cuyo ápice se situaba aproximadamente 4-5 km aguas arriba del vado del río Seco y que posteriormente fue parcialmente cubierto por el paleoabanico más moderno con ápice en proximidades de ese paraje.



**Fig. 6.4.** Vista hacia el N de la unidad III-1) Paleoabanico más antiguo, en el cual se puede observar el desarrollo de suelos trabajados por el hombre.

### **II-2) Faja fluvial actual del río Seco**

Esta unidad incluye morfologías desarrolladas por el río Seco en períodos recientes, y se puede dividir en dos tramos dentro del área de interés. Un primer tramo que se encuentra en el sector N-NO, generada por un canal meandriforme de 200 – 350 m, similar al cauce actual que en ese segmento se encuentra levemente incidido.

Por otro lado, el segundo tramo, es el correspondiente al sector en el cual el curso del río Seco se torna rectilíneo-entrelazado en la parte S, hasta desembocar en el río Cuarto con orientación N-S. Presenta ancho variable, alcanzando localmente 600 – 800 m aproximadamente.

### **III-2.1) Cauce actual del río Seco**

El canal actual del río Seco (Fig. 6.1 y 6.5) posee un ancho variable entre 150 y 350 m y una alta relación ancho/profundidad (superior a 150-200), el cual se puede segmentar en dos:

#### **II-2.1.1) Cauce actual meandriforme**

Al igual que la faja fluvial, el tramo superior del área de estudio, presenta diseño meandriforme con moderada sinuosidad (aprox. 1,3 - 1,5), un ancho del orden de 100-150 m, con un patrón entrelazado sobreimpuesto. Las formas de acumulación dominantes son barras laterales y centrales y, subordinadamente, espiras, ya que la migración lateral es muy baja en el segmento.

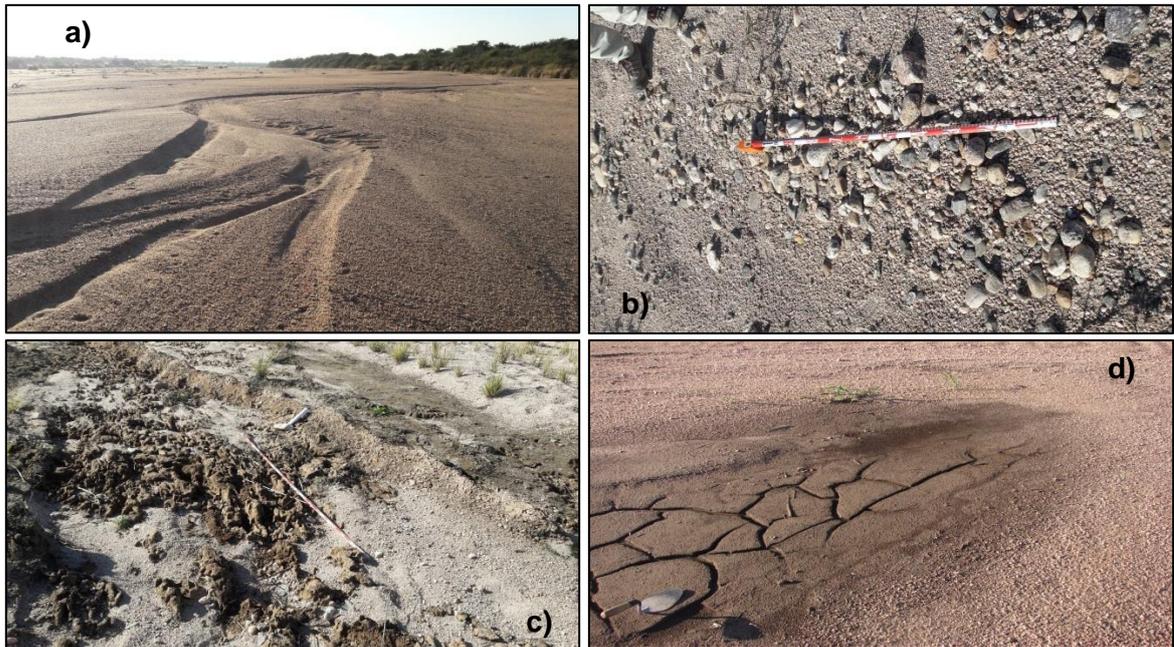
#### **II-2.1.2) Cauce actual entrelazado**

El tramo inferior, confluye en el río Cuarto, presenta diseño rectilíneo entrelazado y orientación N-S, ancho variable entre 150 y 350 m, posee formas de acumulación de barras tanto laterales como centrales y sus márgenes son relativamente estables (producto de la vegetación) aunque exhibe sectores activos con barrancas de 2-4 m producto del proceso de incisión de las últimas décadas (Fig. 6.5). El lecho es aluvional de potencia variable, la cual se reduce en el tramo previo a la desembocadura, donde se exponen materiales cohesivos y cementados antiguos.

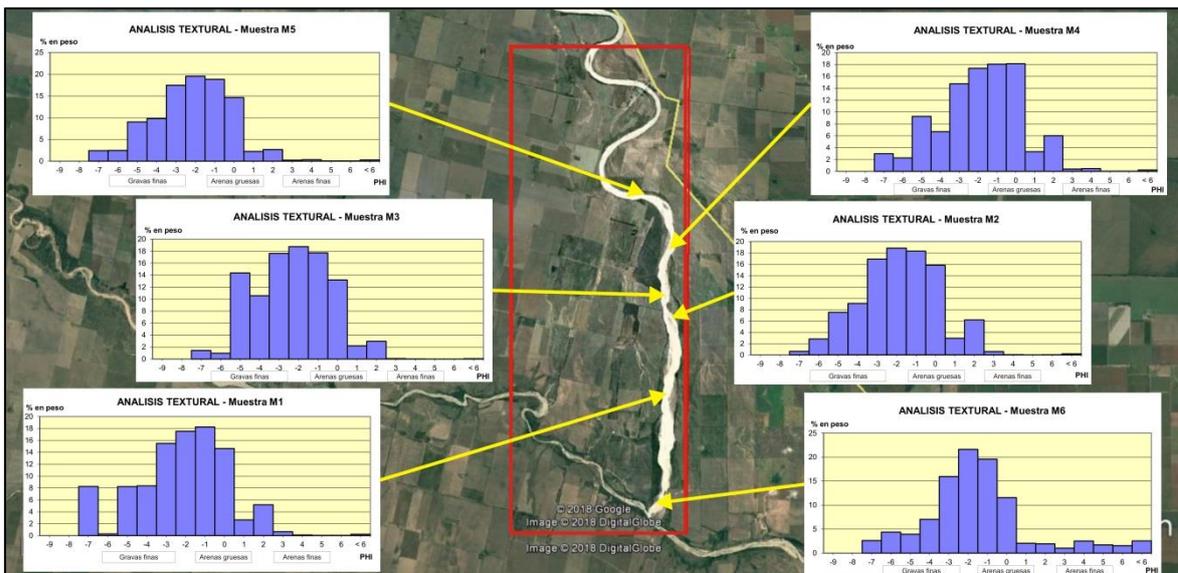
La carga transportada por el río Seco es predominantemente tractiva (de fondo), compuesta por arenas medias a gruesas, gravas y clastos de hasta 10 cm de eje mayor (Fig. 6.6).

### **III-2.2) Terrazas**

Sólo es posible reconocer un nivel de terrazas, discontinuo, y de limitada extensión, asociadas al tramo inferior rectilíneo-entrelazado que evidencian la propagación aguas arriba (a partir de la confluencia con el río Cuarto) de procesos de profundización/incisión del cauce en las últimas décadas (Fig. 6.7).



**Fig. 6.5.** Fotografías que muestran las distintas formas de lecho del río Seco en el área estudiada. **a)** Canal entrelazado con barras centrales de arena gruesa y gravas. **b)** Acumulación de bloques de hasta 8 cm. de eje mayor (escala: jalón = 2 m). **c)** Material cohesivo y cementado (Fm. Pampiano/Chocancharava) que compone el lecho del canal previo a la desembocadura con el río Cuarto. Obsérvese la poca potencia de material aluvional (escala: jalón = 2 m). **d)** Formación de grietas de desecación en material muy fino y cohesivo en canal secundario (escala: cuchara = 0,3 m).



**Fig. 6.6.** Histogramas de análisis textural y ubicación de las muestras analizadas sobre el canal actual del río Seco.



**Fig. 6.7.** Fotografías de los niveles de terrazas del río Seco.

### **III.3) Espiras de meandros**

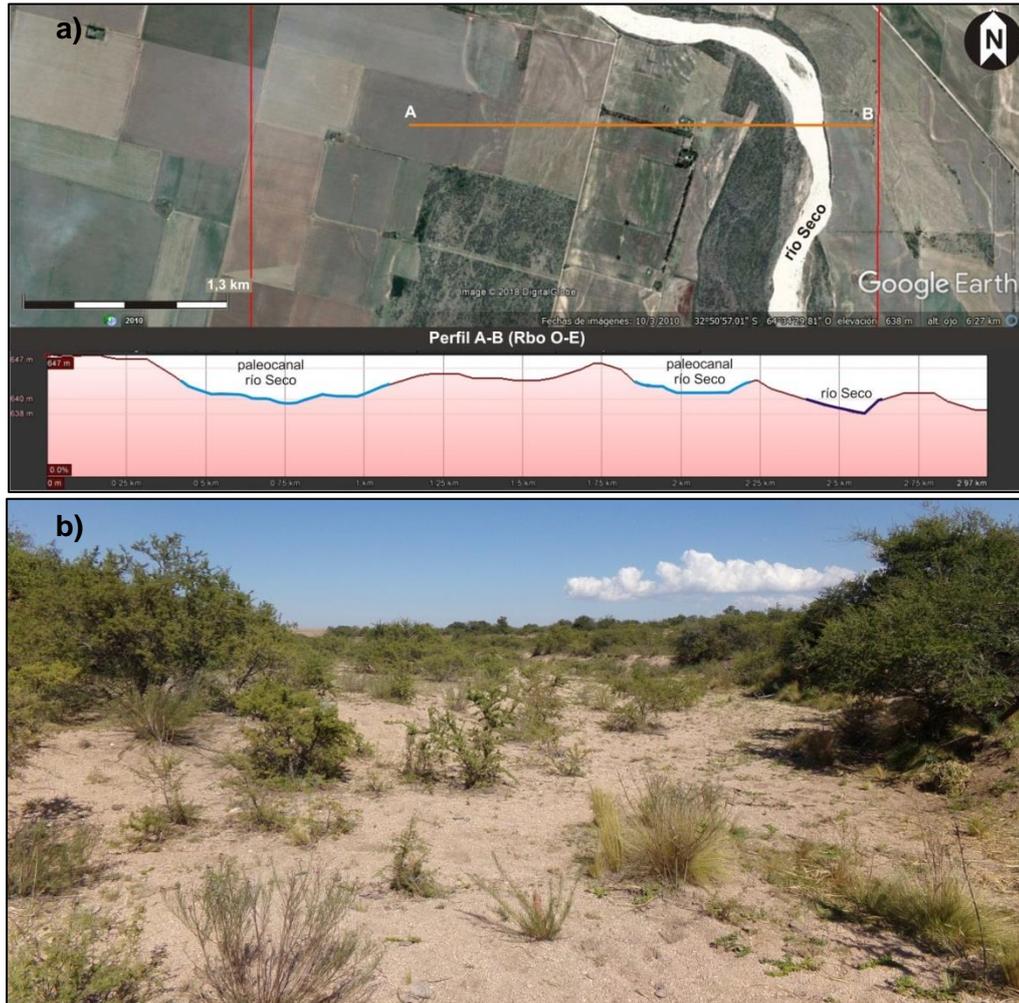
Esta unidad está compuesta por una sucesión de barras semilunares que se encuentran en la parte interna de las curvas del sector méandrico del río Seco (Fig. 7.1 y 6.8). Las mismas son resultantes del proceso de migración y acreción lateral del canal. La granulometría de estos depósitos es la misma que la del canal actual, con algo de material más fino en los surcos entre espiras.



**Fig. 6.8. a)** Vista en campo de espiras de meandros. **b)** Imagen de Google Earth, en la cual se observan espiras de meandros (delimitadas en amarillo) a ambos márgenes del río Seco

### **III.4) Paleocanales principales**

Los paleocanales presentes en la zona de estudio son producto de cambios en la posición del canal principal, en general por procesos de avulsión; muestran distintos diseños, dominando el rectilíneo entrelazado y, en general, están compuestos de materiales areno-gravosos similares a los presentes en el canal actual. La potencia de aluvión de fondo depende de los predominantes cuando estaban activos (Fig. 6.9). Así se distinguen dos tipos:



**Fig. 6.9. a)** Imagen de Google (2010) mostrando el segmento N de paleocanales principales con perfil topográfico (línea naranja) transversal al eje de los mismos, en el se delimitan 2 paleocanales y el cauce actual del río Seco. **b)** Vista en campo hacia el S de paleocanal en el sector S del área de estudio.

- *Paleocanales con dominio de transporte/erosión:* se localizan principalmente al Oeste de cauce actual del río Seco (Fig. 6.1 y 6.9) y se caracterizan por presentar un relieve negativo del orden de 5 m, lo que indica el dominio de procesos de transporte y erosión sobre la sedimentación. Presentan un rumbo principal N-S y, secundariamente, NNO-SSE, y muestran características morfológicas (ancho y orientación) muy similares al cauce actual del río Seco. Poseen diseño meandriforme en el sector norte y entrelazado-rectilíneo hacia el Sur, sus anchos son variables, entre los 75 m en los sectores más angostos y cercanos a los 300 m en los más anchos. Los dos paleocanales más occidentales muestran evidencias de haber alcanzado su desembocadura en el río Cuarto, mientras que, el más oriental ha desarrollado un abanico de descarga terminal y no muestra conexión directa con el río Cuarto. En general, sus bordes presentan un moderado grado de evolución y el relleno sedimentario areno-gravoso está edafizado,

aunque dominan suelos de muy pobre desarrollo. En los ejes de estos paleocanales se han instalado cárcavas, especialmente en su tramo inferior previo a su conexión con el río Cuarto. Estos paleocanales habrían funcionado en ciclos más húmedos descargando directamente en el río Cuarto, erogarían mayores caudales lo que explicaría la mayor transferencia de sedimentos al río Cuarto y la profundización/ incisión del paleoabanico.

- *Paleocanales con dominio de agradación*: se ubican principalmente al Este del cauce actual del río Seco (Fig. 6.1) y contrastan con los anteriores por tener una escasamente perceptible expresión topográfica. Su orientación general es NO-SE, de los tres paleocanales reconocidos, el emplazado al Norte ha sido el generador de un abanico lateral cuyo desarrollo estuvo controlado por del bloque elevado del Alto estructural Santa Rita. Los materiales de relleno presentan suelos poco desarrollados. Como su nombre lo indica el proceso dominante era la sedimentación y habrían funcionado en períodos más secos, erogado menores caudales lo que condiciona su capacidad de transporte.

En la figura (Fig. 6.10) se muestra el histograma de distribución granulométrica de la muestra Mc2 (Fig. 6.1), la cual fue extraída de calicatas abiertas en uno de los paleocanales principales.

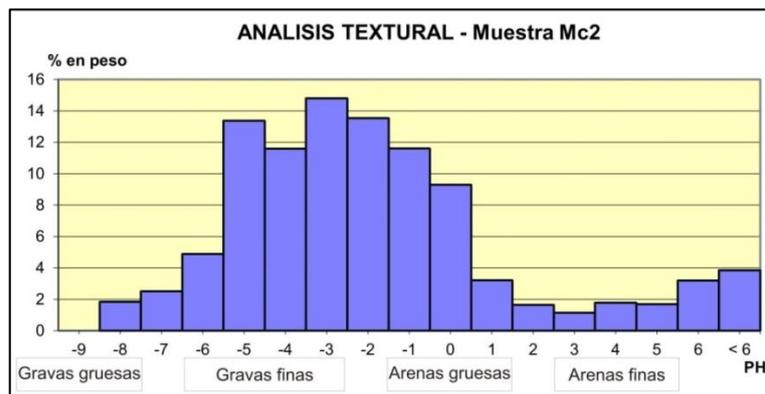


Fig. 6.10. Histograma de muestra Mc2 mostrando un dominio de gravas finas y arenas gruesas.

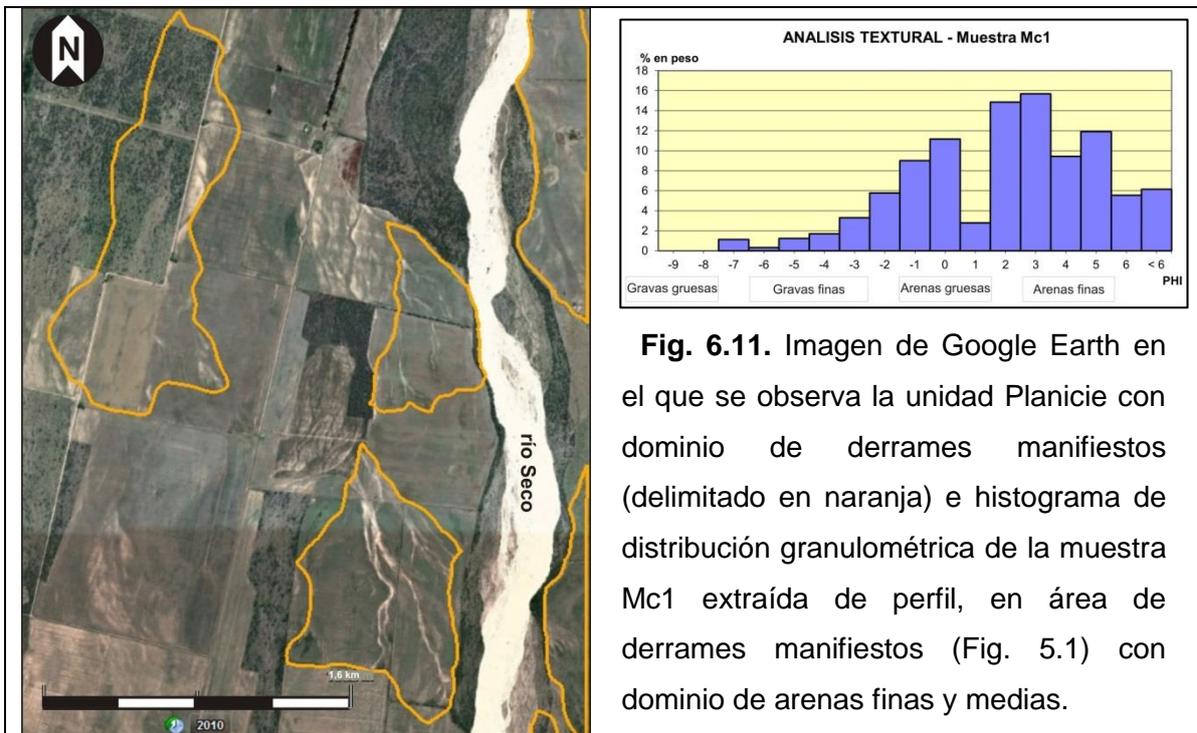
### III-5) Planicie con dominio de derrames

Esta unidad es la de mayor extensión areal dentro del abanico y en ella se agrupan rasgos de desbordes y derrames de muy diferente envergadura (Fig. 6.1). Algunos de ellos constituyen un conjunto de paleocanales de baja sinuosidad y menores dimensiones que los anteriormente descritos, que exhiben un diseño radial y representan los abanicos de descarga de los paleocauces mayores. Otros conforman rasgos de desbordes laterales menores desde un paleo canal principal. Respecto al grado de evolución, algunos de estos rasgos son antiguos y exhiben suelos bien desarrollados,

otros están cubiertos por materiales arenosos muy finos eólicos, mientras que otro grupo se reconoce fácilmente en el terreno y presenta mínimos rasgos de edafización.

### III-5.1) Planicie con dominio de derrames manifiestos

Se agrupan en esta unidad sectores donde predominan depósitos y rasgos (canales menores) de abanicos terminales mayores y desbordes laterales de canal relativamente modernos debido a su expresión superficial y preservación (Fig. 6.1 y 6.11). Los primeros constituyen la zona de descarga de un colector principal y abarcan un área mayor y, gradualmente en dirección aguas abajo las formas/canales disminuyen, al igual que la granulometría de los materiales. En el segundo grupo pueden incluirse los que deben su origen a la ruptura/superación de los bordes de canal producto de la corriente principal, provocando la sedimentación de materiales con poca selección. En general, estos depósitos tienden a situarse en los lugares más bajos en las inmediaciones del canal. Esta unidad tiene mayor expresión en el sector centro-Norte del paleoabanico y representaría las etapas previas a la incisión y actual integración con el río Cuarto. En la figura 6.11, se muestra el histograma con la distribución granulométrica de una muestra (Mc1) extraída de esta unidad.



**Fig. 6.11.** Imagen de Google Earth en el que se observa la unidad Planicie con dominio de derrames manifiestos (delimitado en naranja) e histograma de distribución granulométrica de la muestra Mc1 extraída de perfil, en área de derrames manifiestos (Fig. 5.1) con dominio de arenas finas y medias.

### III-5.2) Planicie con dominio de derrames disipados

Se incluyen aquí sectores del paleosistema aluvial que se encuentran relativamente sobre elevados y representan antiguos desbordes, con mayor desarrollo de suelos, lo que

favorece la disipación de los rasgos y depósitos. Esta unidad se reconoce hacia la zona Sur del paleoabanico en contacto con la faja fluvial del río Cuarto (Fig. 7.1).

### **III-5.3) Planicie con dominio de derrames con cubierta eólica**

Sectores de planicies suavemente onduladas, con lomadas extendidas compuestas de material arenoso muy fino-limoso masivos (Fig. 6.12). Estas morfologías de origen eólico, están sobreimpuestas a rasgos aluviales/fluviales, indicando falta de actividad fluvial al menos desde el Holoceno superior (edad que tendrían los materiales eólicos, cap. 5). Esta unidad al igual que la anterior también se reconoce hacia la zona Sur del paleoabanico en contacto con la faja fluvial del río Cuarto (Fig. 6.1).



**Fig. 6.12.** Planicie con dominio de derrames con cubierta eólica. **a)** Vista desde arriba de una loma. **b)** Vista de la loma desde el E.

### **V) Faja fluvial actual del río Cuarto**

El sector analizado corresponde a una faja de 30 km de longitud y 1,5 km de ancho máximo, donde se reconocen dos niveles de terrazas y el cauce actual del río Cuarto (Fig. 7.1).

#### **IV-1) Canal actual río Cuarto**

De régimen permanente, posee un diseño en planta rectilíneo-entrelazado con importante control estructural, y está semi-confinado en secuencias cohesivas de la Formación Pampeano (Fig. 6.13). Se reconocen formas de lecho de acumulación como barras centrales y laterales y formas erosivas en algunos sectores.

En este tramo domina principalmente la carga tractiva, y el aluvión de fondo está compuesto por arenas gruesas y material psefítico de composiciones muy variadas con bloques de hasta 40 cm de eje mayor.



**Fig. 6.13.** Confluencia río Seco – río Cuarto, vista desde Alto estructural de Rodeo Viejo. Observe la potencia del aluvión de fondo del río Seco.

#### **IV-2) Terrazas**

De régimen permanente, posee un diseño en planta rectilíneo-entrelazado con importante control estructural, y está semi-confinado en secuencias cohesivas de la Formación Pampeano. Se reconocen formas de lecho de acumulación como barras centrales y laterales y formas erosivas en algunos sectores.

En este tramo domina principalmente la carga tractiva, y el aluvión de fondo está compuesto por arenas gruesas y material psefítico de composiciones muy variadas con bloques de hasta 40 cm de eje mayor.

## CAPÍTULO 7

# PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

### 7.1. Sondeos eléctricos verticales (SEV)

Los SEV constituyen un método indirecto de auscultar los cambios en la composición litológica del subsuelo, es decir un reconocimiento de los distintos estratos o niveles, cuya representación gráfica se denomina electrocapa,

Con la finalidad de inferir los cambios de la litología del subsuelo y tener una primera aproximación de la distribución y espesores de las capas de sedimentos areno-gravosos de potencial interés económico, se han realizado 12 SEV distribuidos en diferentes sectores del abanico aluvial (Fig. 7.1).



Fig. 7.1. Ubicación de los SEV realizados en el sector occidental del abanico aluvial del río Seco.

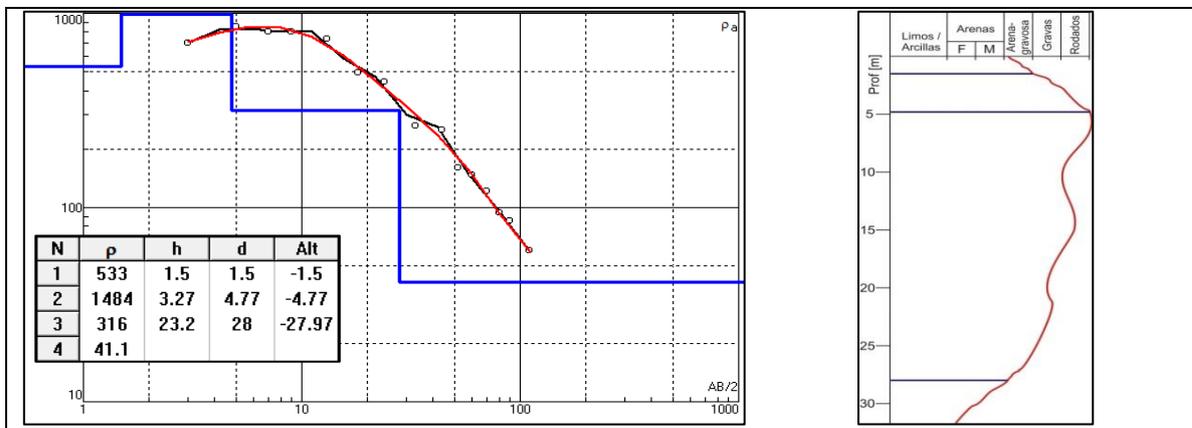
Los sitios elegidos son representativos de distintos subambientes geomorfológicos aluviales y, en la mayoría de ellos se dispuso de perfiles expuestos en la cercanía o bien, en el marco del proyecto de extensión que se está llevando a cabo en el Dpto de Geología-UNRC, se abrieron calicatas o realizaron perforaciones, con el propósito de relacionar los cambios de resistividades con la disposición y composición real de las distintas capas de sedimentos en subsuelo.

### 7.1.1. Descripción y análisis de SEV

Se presentan a continuación los gráficos con los cambios de resistividad y las electrocapas y su interpretación. Las tablas que complementan cada gráfico indican: N= número de electrocapas,  $\rho$  = resistividad (en  $\Omega m$ ) , h = espesor (en metros), d = profundidad (en metros).

#### SEV 1

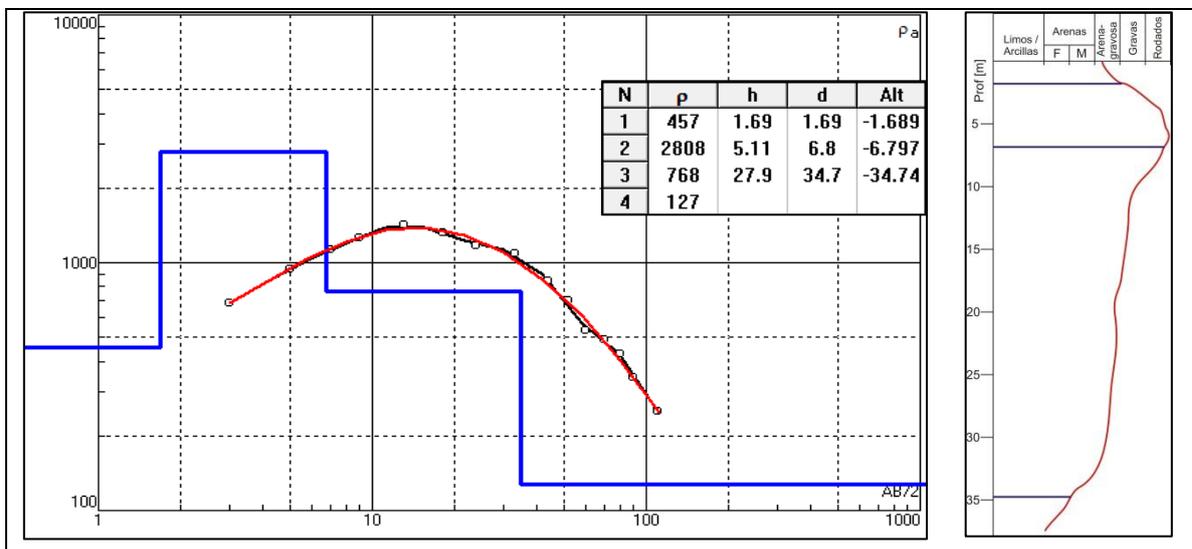
En el presente SEV, ubicado en un paleocanal (Fig. 6.1 y 7.1), se observan 4 electrocapas (Fig. 6.2), la primera de ellas con una resistividad de 533  $\Omega m$  y 1,5 m de espesor representando posiblemente *materiales arenosos y areno-gravosos*. Por debajo, en la segunda capa, hasta los 4,77 m el tamaño de grano aumenta notablemente (presenta una resistividad de 1484  $\Omega m$ ) pudiendo tratarse *de gravas gruesas y rodados*. En la tercera, los valores de resistividades disminuyen, pero el tamaño de grano continúa siendo similar a la capa de arriba, hasta alcanzar los 28 m. La última capa (por debajo de los 28 m) advierte un cambio notable en la resistividad, pudiendo indicar la presencia de materiales de una *granulometría más fina (material arenoso fino a medio)*.



**Fig. 7.2.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 2

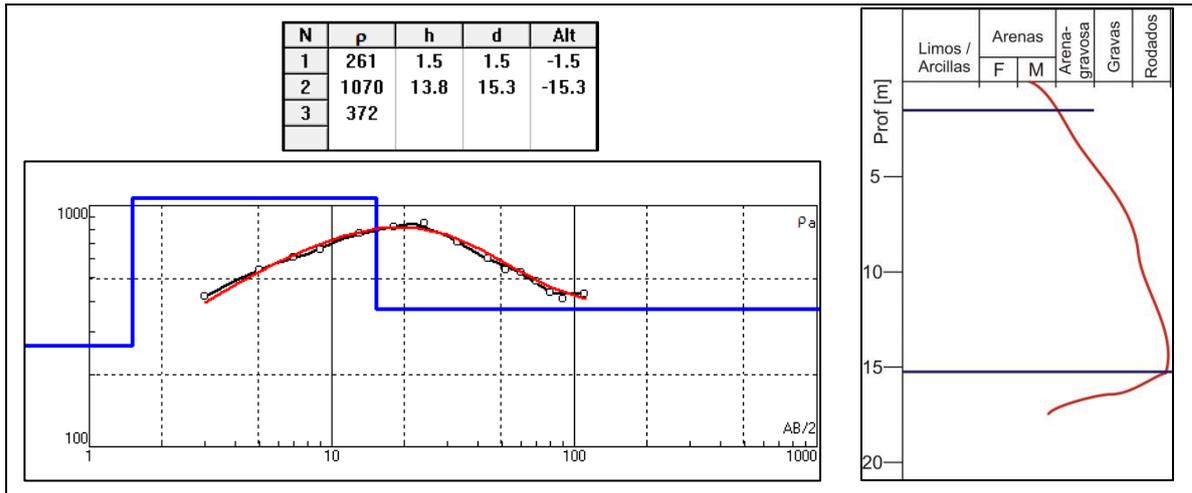
En este SEV (Fig. 7.3), realizado en un paleocanal principal (Fig. 6.1 y 7.2) también se observan 4 electrocapas; la primera de ellas con un espesor de 1,69 m podría tratarse de *material arenoso y/o areno-gravoso* (resistividad de 457  $\Omega$ m). La segunda capa llega hasta los 6,8 m de profundidad con notable cambio en la resistividad de los materiales atravesados (2808  $\Omega$ m), pudiendo evidenciar la presencia de *gravas gruesas y rodados*. Por debajo, en la tercer capa, hasta alcanzar los 34,8 m de profundidad la resistividad disminuye pero los materiales siguen siendo de granulometría gruesa (arenas y gravas). Mientras que en la última electrocapa (por debajo de los 34,8 m) la resistividad disminuye bastante, mostrando una *reducción en la granulometría de los materiales*.



**Fig. 7.3.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 3

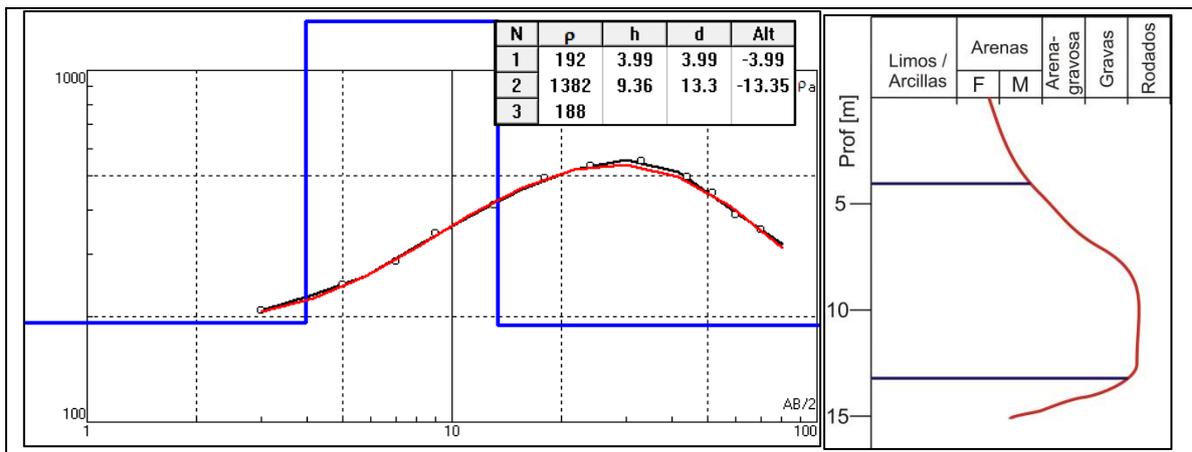
En este SEV, ubicado en uno de los paleocanales principales (Fig. 6.1 y 7.1) se identificaron 3 electrocapas (Fig. 7.4). La primer electrocapa tiene 1,5 m de espesor, presentando una resistividad promedio de 261  $\Omega$ m representando *material arenoso (posiblemente de granulometría media a gruesa)*. Subyacen 13,8 m de material gravoso, evidenciado por su aumento notable de la resistividad hasta alcanzar los 1070  $\Omega$ m (segunda capa). Por debajo de los 13,8 m de profundidad, en la tercer electrocapa, la resistividad disminuye (372  $\Omega$ m) indicando que también se *reduce la granulometría del material* presente en profundidad.



**Fig. 7.4.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

#### SEV 4

En el presente SEV que representa la planicie con dominio de derrames con cubierta eólica (Fig. 6.1 y 7.1) se pueden observar 3 electrocapas (Fig. 7.5), la primera con un espesor de 3,99 m de arenas (posiblemente de granulometría media a finas) evidenciadas por su resistividad de 192  $\Omega$ m. Por debajo, en la segunda capa, hasta los 13,4 m de profundidad, la resistividad de los materiales aumentó considerablemente (1382  $\Omega$ m) indicando la probable presencia de gravas gruesas y rodados. En la última capa, por debajo de la profundidad antes mencionada, los valores de resistividades disminuyeron nuevamente asemejándose a los materiales de la electrocapa superficial (188  $\Omega$ m).



**Fig. 7.5.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 5

Este SEV, se realizó en ambiente de planicies con dominio de derrames disipados (Fig. 6.1 y 7.1). En la figura 7.6 se observan 4 electrocapas, la primera y más superficial de ellas con un espesor de 2,24 m podría tratarse de *materiales arenosos y areno-gravosos* (resistividades promedio 614  $\Omega$ m). La subyace una segunda capa de *granulometría más gruesa* (resistividad 1115  $\Omega$ m) con 3,86 m de potencia. A partir de los 6,1 m de profundidad (tercer capa) el material presente es nuevamente de *menor granulometría* por un marcado descenso de la resistividad (186  $\Omega$ m), continuando con esta tendencia en la última capa, por debajo de los 23,1 m llegando a resistividades menores a 49,1  $\Omega$ m (pudiendo interpretarse como *arenas con limos*).

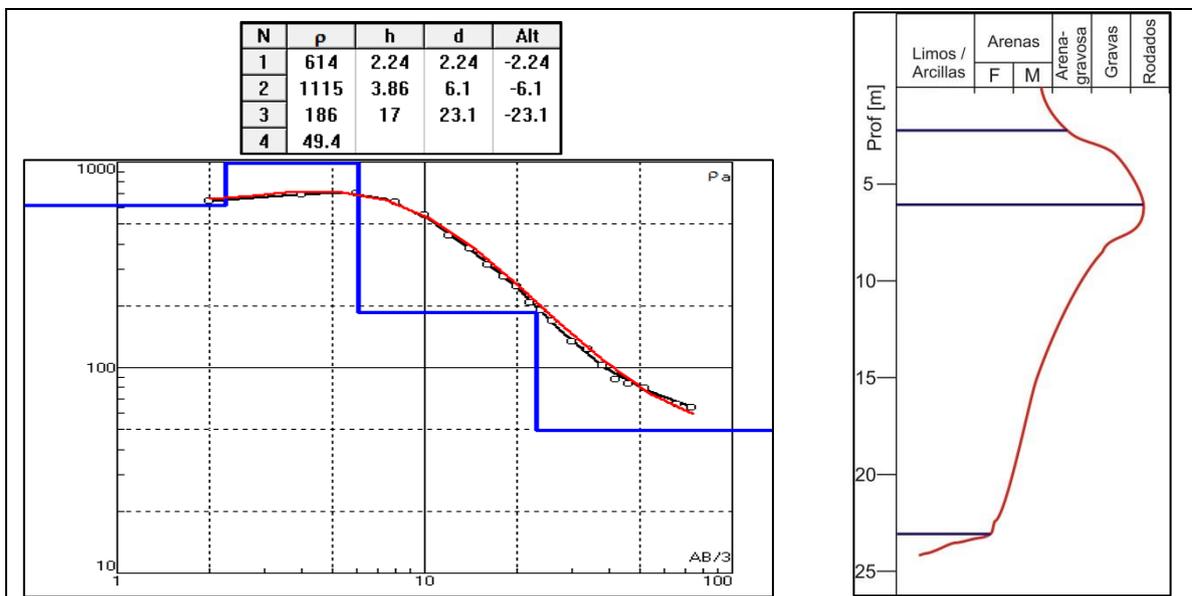
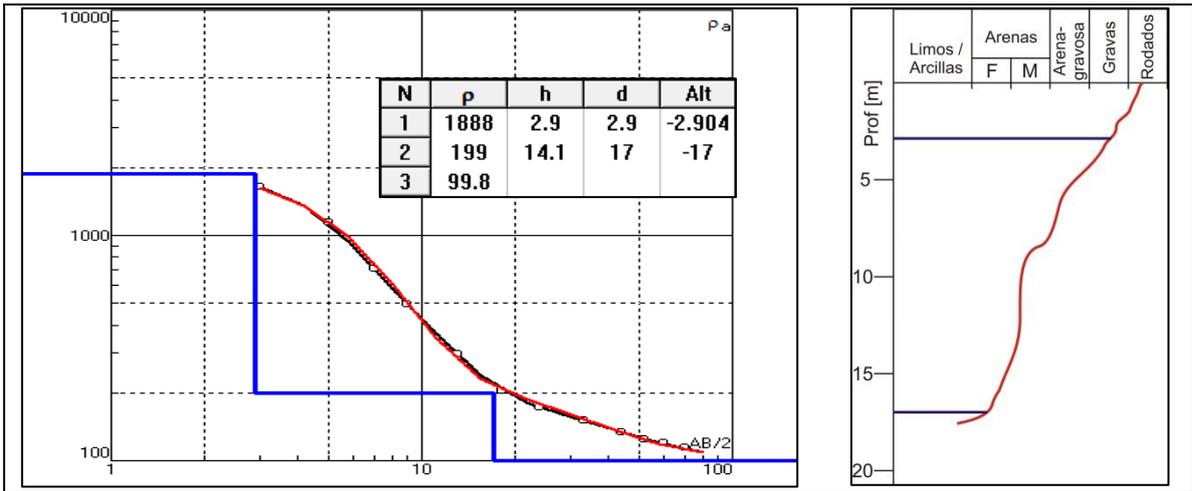


Fig. 7.6. Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 6

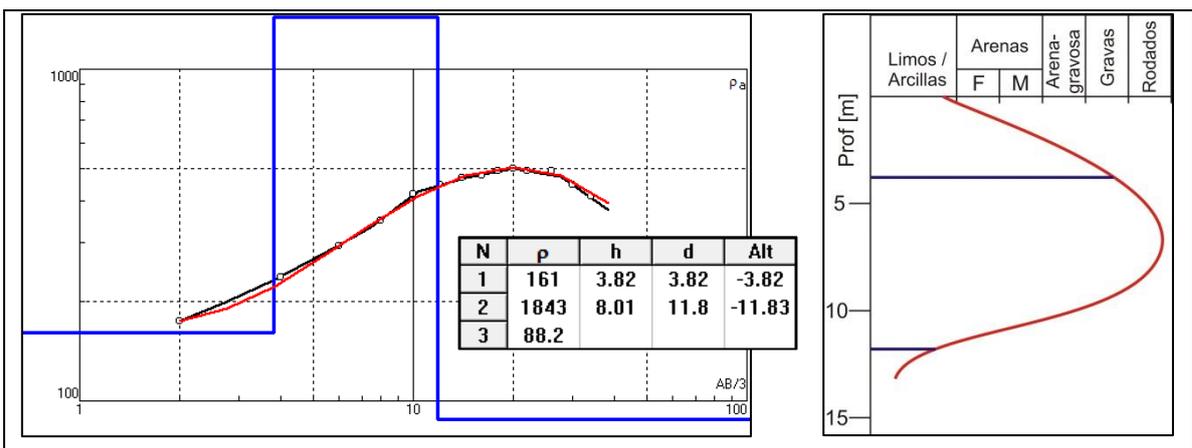
En el presente SEV, situado sobre el eje central de un paleocanal principal (Fig. 6.1 y 7.1) se muestran 3 electrocapas, comenzando por la de mayor resistividad (1888  $\Omega$ m) que se extiende hasta los 2,9 m de profundidad, pudiendo interpretarse estos materiales como *gravas gruesas y rodados*. Los siguientes 14,1 m (segunda capa) representan *materiales de mucha menor granulometría*, evidenciado por el marcado descenso de la resistividad (198,9  $\Omega$ m). Por último, más allá de los 17 m de profundidad, los *materiales continúan disminuyendo su granulometría* (Fig. 7.7).



**Fig. 7.7.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

### SEV 7

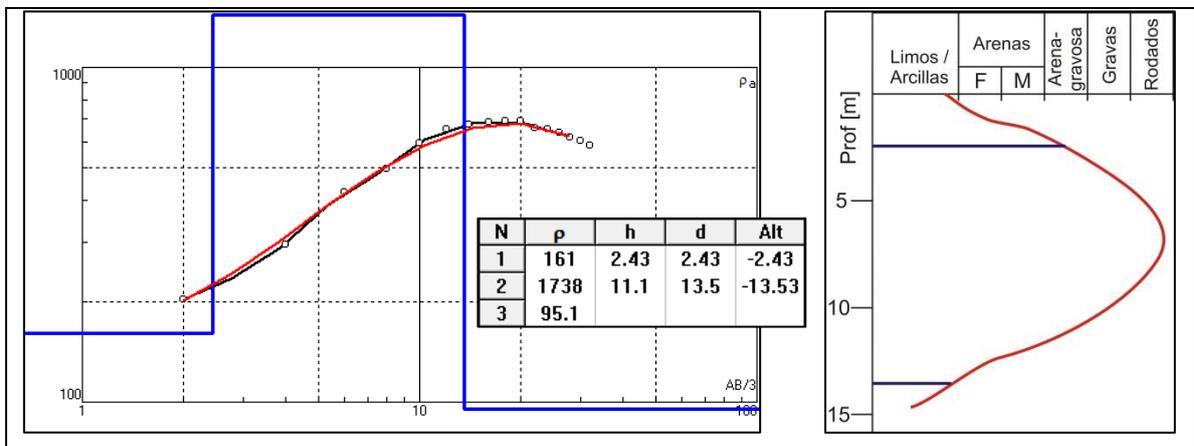
En este caso (Fig. 7.8), el SEV se realizó en la planicie con dominio de derrames manifiestos (Fig. 6.1 y 7.1) muestra tres electrocapas. La primera de *material arenoso (posiblemente de granulometría fina/media)* con un espesor cercano a los 4 m (3,82 m y 161  $\Omega$ m). La capa subyacente muestra un marcado ascenso en la resistividad, alcanzando valores de 1843  $\Omega$ m, con una potencia de 8 m y corresponderían a *materiales gravosos y rodados*. Mientras que por debajo de los 11,8 m de profundidad, los materiales disminuyen notablemente su granulometría (posiblemente sean *arenas finas y limos*).



**Fig. 7.8.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

### SEV 8

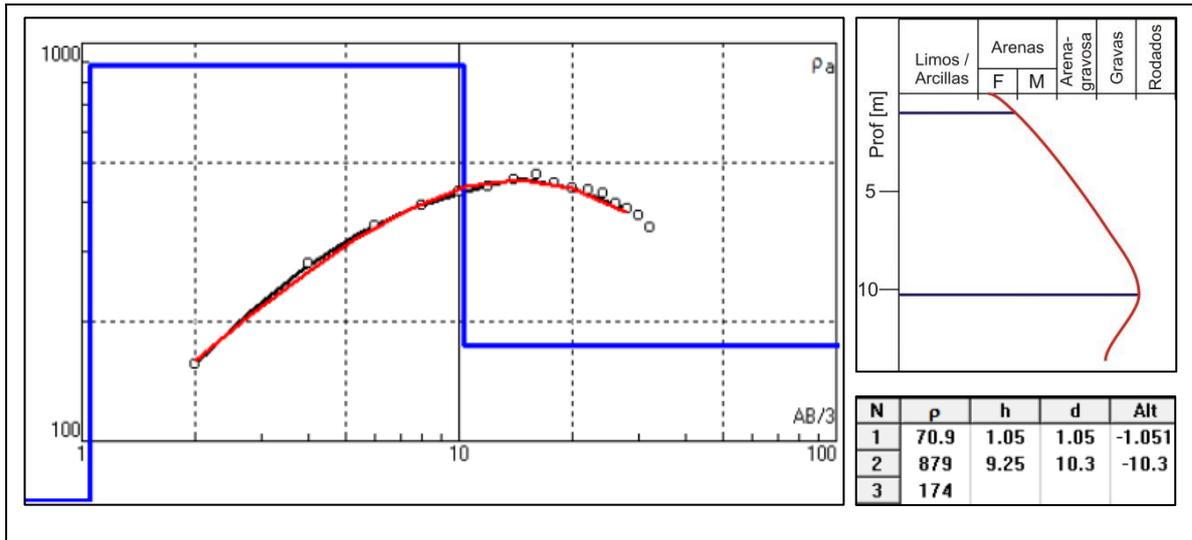
En el presente SEV (Fig. 7.9), llevado a cabo en la planicie con dominio de derrames manifiestos (Fig. 6.1 y 7.1), de las tres electrocapas que se pueden observar la más superficial de ellas se caracteriza por tener una resistividad de 161  $\Omega\text{m}$  y 2,43 m de potencia, lo que podrían tratarse de *materiales arenosos de granulometría finas y medias*. Por debajo, siguen 11,1 m de *material gravoso grueso y rodados sueltos* (1738  $\Omega\text{m}$ ). Mientras que más allá de los 13,5 m de profundidad los *materiales vuelven a ser más finos* (95  $\Omega\text{m}$ ).



**Fig. 7.9.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

### SEV 9

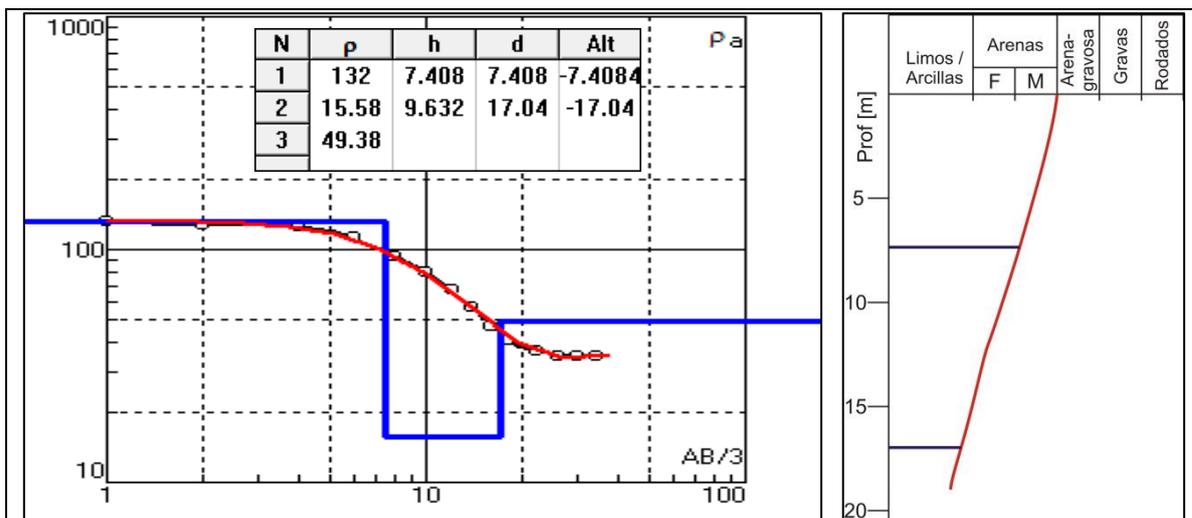
En el presente SEV (Fig. 7.10), que representa los desbordes de derrames disipados (Fig. 6.1 y 7.1) se pueden observar 3 electrocapas, la primera con un espesor de 1,05 m de *arenas (posiblemente de granulometría media a finas)* con resistividad de 70,9  $\Omega\text{m}$ . Por debajo, hasta los 10,3 m de profundidad, la resistividad de los materiales aumentó considerablemente (879  $\Omega\text{m}$ ) indicando la probable presencia de *gravas gruesas y/o rodados*. La última capa, por debajo de la profundidad antes mencionada, los valores de resistividades disminuyeron nuevamente mostrando la disminución en el tamaño de grano (174  $\Omega\text{m}$ ).



**Fig. 7.10.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 10

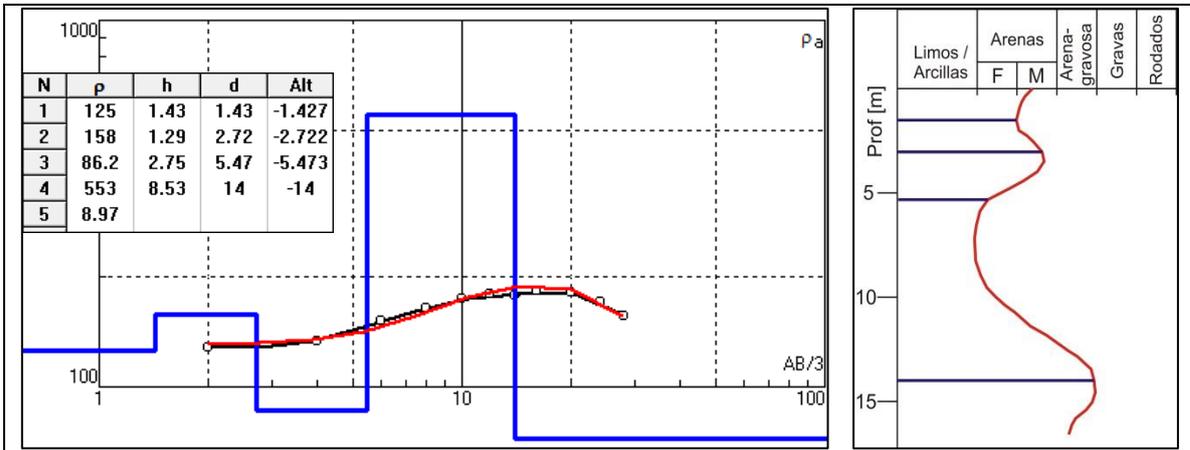
En este caso (Fig. 7.11), el SEV se realizó en la planicie con dominio de derrames con cubierta eólica (Fig. 6.1 y 7.1) muestra tres electrocapas. La primera de *material arenoso (posiblemente de granulometría fina/media)* con un espesor cercano a los 7,4 m (132  $\Omega\text{m}$ ). La capa subyacente muestra un marcado descenso en la resistividad, alcanzando valores de 15  $\Omega\text{m}$ , con una potencia de 9,6 m y corresponderían a *materiales limo-arenosos*. Mientras que por debajo de los 17 m de profundidad, los materiales aumentan levemente su resistividad, continuando con una granulometría similar (posiblemente sean *arenas finas y limos*).



**Fig. 7.11.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 11

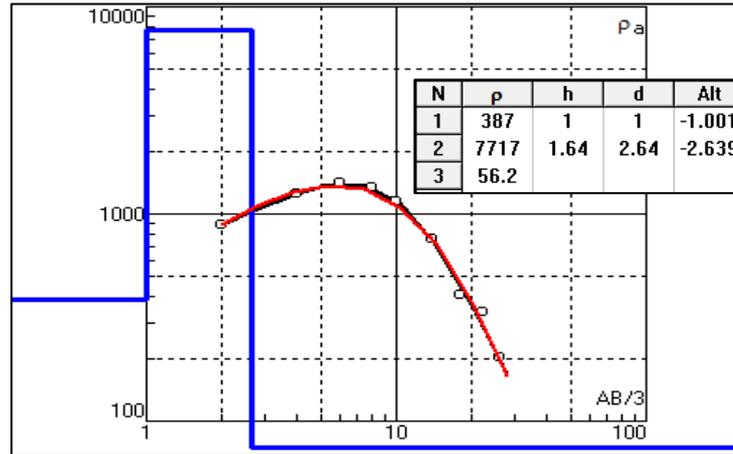
Este SEV, se realizó en ambiente de planicies con dominio de derrames cubierta eólica (Fig. 6.1 y 7.1). En la figura 7.12 se observan 5 electrocapas, las primeras dos y más superficiales de ellas con un espesor de 2,8 m entre ambas (1,5 y 1,3 m) podría tratarse de *materiales arenosos de granulometría media/fina* (resistividades promedio 141  $\Omega$ m). La subyace una tercera capa de *granulometría más fina* (resistividad 86  $\Omega$ m) con 2,75 m de potencia. A partir de los 5,55 m de profundidad (cuarta capa) el material presente es de mayor granulometría por un marcado ascenso de la resistividad (553  $\Omega$ m), pudiendo interpretarse como *gravas*. Por debajo de los 14 m (quinta capa), la resistividad de los materiales cae bruscamente (8,5  $\Omega$ m), posiblemente por estar en presencia de *material areno-limoso*.



**Fig. 7.12.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria (izquierda) y esquema interpretativo de la granulometría en subsuelo (derecha).

## SEV 12

En el presente SEV (Fig. 7.13), situado sobre la planicie con derrames manifiestos (Fig. 6.1 y 7.1) se muestran tres electrocapas, comenzando por una resistividad de 387  $\Omega$ m que se extiende el primer metro de profundidad, pudiendo interpretarse estos materiales como *areno-gravosos*. Los siguientes 2,6 m (segunda capa) representan *materiales gravosos con rodados*, evidenciado por el marcado ascenso de la resistividad. Por último, más allá de los 4 m de profundidad, los *materiales disminuyen bruscamente su granulometría (arenas finas)*.



**Fig. 7.13.** Curva de campo con cambios de resistividades de los materiales con tabla de datos complementaria.

## 7.2. Interpretación y correlación de perfiles esquemáticos de SEV

### Perfil 1 (A – A')

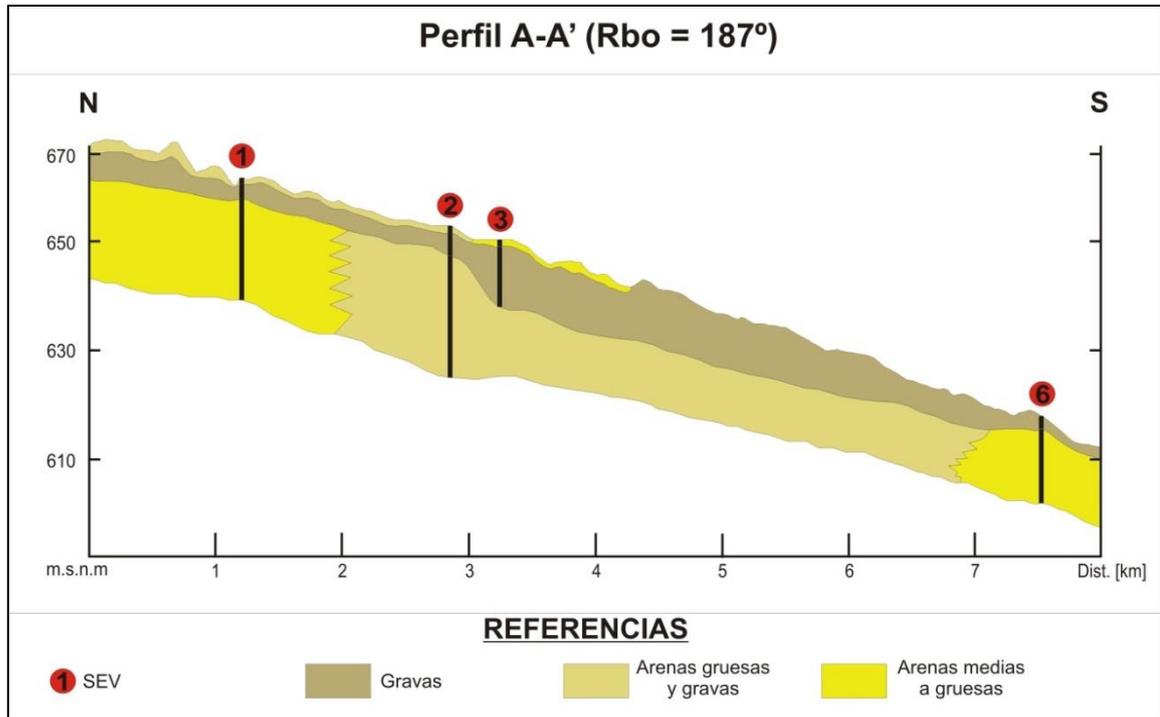
Fue realizado siguiendo la traza del paleocanal principal más occidental que se encuentra en el área de estudio, con un rumbo aproximado N-S.

En los SEV 1, 3 y 6 (Fig. 7.14), se hallaron importantes electrocapas que indicarían la presencia de materiales areno-gravosos en el subsuelo. Se puede observar que las electrocapas con mayores resistividades se encuentran más cercanas a la superficie hacia el Sur (incluso en el SEV 6 se encuentra aflorando), estas podrían interpretarse como gravas gruesas y rodados. Por debajo de las electrocapas más resistivas, el material es de menor granulometría pero siempre dentro del campo de las arenas, al menos entre los 17 y 25 m de profundidad aproximadamente. El hecho de que la capa con mayor resistividad se encuentre cada vez más cerca de la superficie hacia el Sur, se atribuye a un proceso de erosión retrocedente en ese paleocanal que avanzó aproximadamente 1.150 m hacia el Norte desde la ubicación del SEV 6.

El SEV 2 también se realizó sobre uno de los paleocanales principales (cercano al SEV 3) en una zona aledaña al canal actual del río Seco, se escogió este sector con la finalidad de poder correlacionar los datos obtenidos con los materiales expuestos sobre las barrancas del río Seco e inferir a su vez los materiales que ha transportado el cauce a lo largo de su historia. La primer electrocapa muestra una resistividad característica de arenas (coincidente a lo descrito en el perfil 1), la electrocapa subyacente con valores muchos mayores de resistividad es correlacionable al material areno-gravoso que transporta el río Seco en la actualidad. En profundidad, al menos hasta los 34 m se

puede inferir la presencia de material arenoso aunque con una granulometría menor a la analizada en la capa intermedia (Fig. 7.14 y 7.16).

En síntesis, en este perfil se observa que los ambientes de paleocanales principales se encuentran aflorando o con poca cobertura superficial, como así también se determina que éstas geoformas han tenido su desarrollo sobre materiales gruesos.



**Fig. 7.14.** Perfil A-A' (N-S), el cual representa ambiente de paleocanales principales.

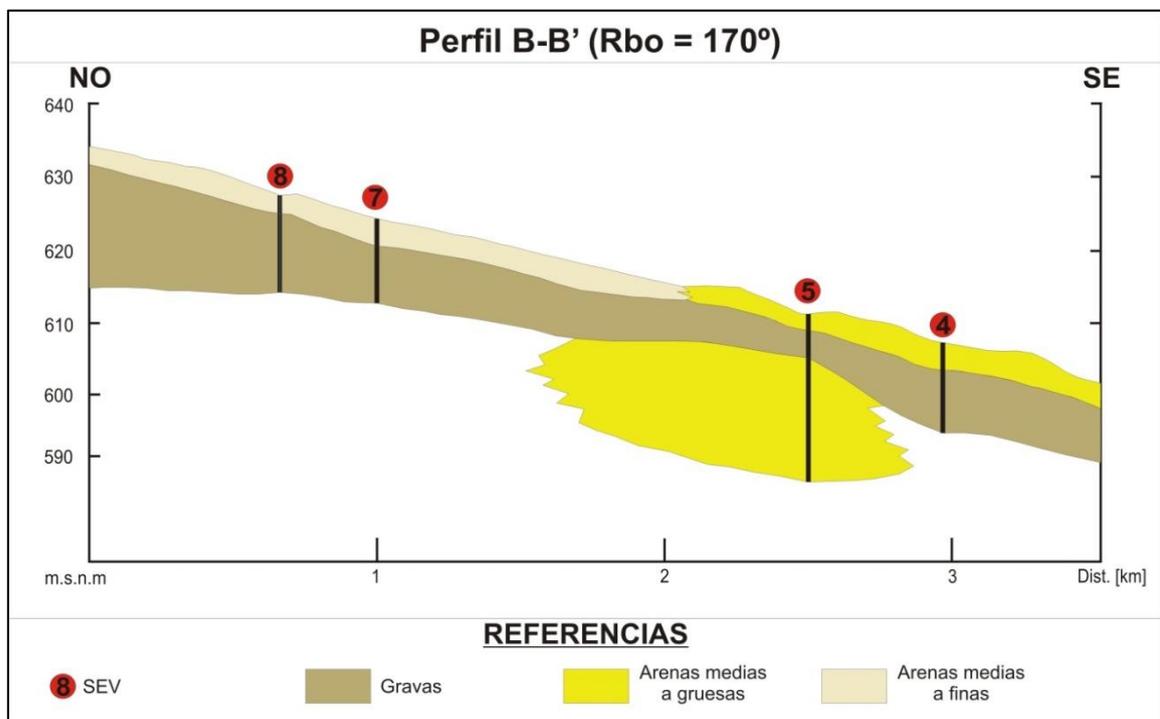
### **Perfil 2 (B – B')**

Este perfil es representativo de los ambientes geomorfológicos de derrames con distinto grado de manifestación.

Los SEV 4 y 5, se efectuaron sobre la subunidad geomorfológica de derrames disipados. En el análisis de cada uno muestra una clara evidencia de la presencia de materiales arenosos (posiblemente de granulometría media a gruesa) que han cubierto los rasgos fluviales mayores. Específicamente el SEV 4 se realizó en proximidades a una loma con presencia de materiales de granulometría fina y de origen eólico (planicie con dominio de derrames con cubierta eólica), es por tal motivo que concuerda que la potencia de la primer electrocapa sea mayor y con resistividades menores. Subyacente a esta capa, se encuentran materiales de mucha mayor resistividad (1200  $\Omega$ .m aproximadamente) que son característicos en todo el contexto geomorfológico del área estudiada, en estos sectores con potencias promedio de 8 metros (Fig. 7.15).

Por último, los SEV 7 y 8 se llevaron a cabo dentro de la subunidad de derrames mayormente manifestados, sector en el cual se pueden visualizar algunos rasgos fluviales en superficie pero no tan manifiestos como sí ocurre en los paleocanales (Fig. 7.15). En la interpretación de los resultados se puede observar una primera electrocapa con resistividades relativamente bajas para las observadas en el área de estudio, indicando que los materiales aflorantes con una potencia promedio de 3 m son arenas (de granulometría media) que cubren a la electrocapa de mayor resistividad (indicarían presencia de gravas con espesores que oscilan 9 m, que luego van disminuyendo su granulometría hasta los 20 m de profundidad).

Analizando este perfil se observa que las planicies con dominios de derrames, en general cubren las geoformas fluviales/aluviales de mayor energía.



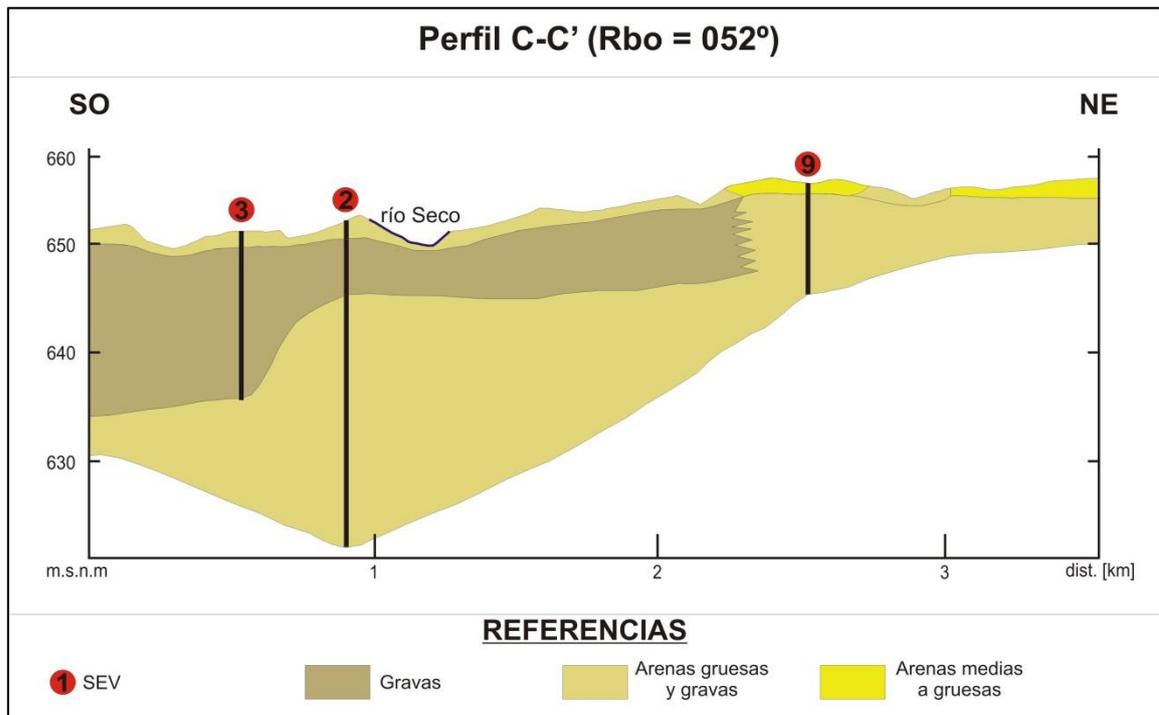
**Fig. 7.15.** Perfil B-B' (N-S), representativo de unidades de derrames.

### Perfil 3 (C-C')

Este perfil fue realizado transversalmente a los ejes de paleocanales y del río Seco, con rumbo SO-NE, con el objetivo de observar los cambios hacia ambos lados de los mismos. La transecta también atraviesa una zona de espiras y derrames disipados.

Los SEV 2 y 3, ya interpretados en el perfil 1 (A-A'), muestran una importante potencia de materiales areno-gravosos con relativamente poca cubierta, características similares se observan al atravesar el sector de la zona de espiras. Contrario a esto es lo

que se observa en el SEV 9 (Fig. 7.16), donde la potencia de estos cuerpos disminuye notoriamente y la cubierta superficial es de materiales de menor granulometría. En síntesis, los sectores de paleocanales principales que no han sido cubiertos por derrames modernos la granulometría de los materiales es mayor en los primeros metros de profundidad, que aquellos en los cuales se pueden observar rasgos de derrames.



**Fig. 7.16.** Perfil C-C' (SO-NE), representativo de ambientes agradacionales..

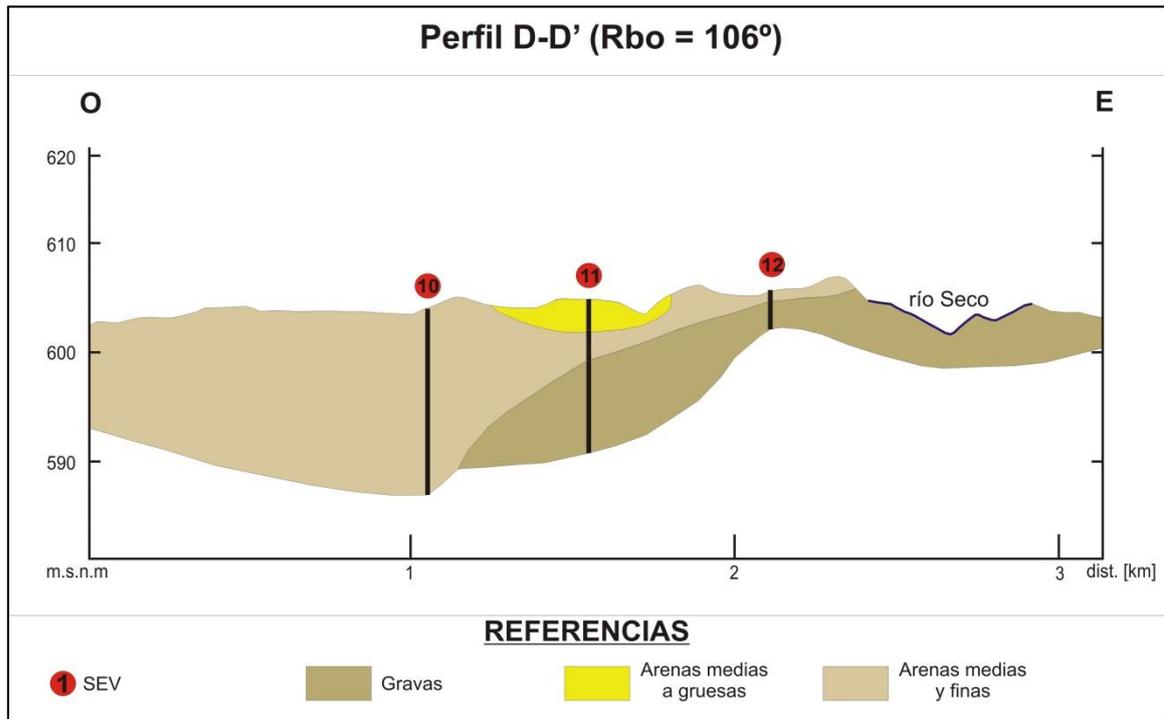
#### **Perfil 4 (D-D')**

Perfil representativo de los ambientes geomorfológicos de planicies con dominio de derrames con distinto grado de manifestación.

Para los SEV 10 y 11 que fueron realizados sobre planicies con cubierta eólica, se observan importantes potencias de arenas medias y finas, principalmente para el primero de ellos ya que se encuentran en toda la profundidad explorada. Para el SEV 11, se modifica este comportamiento, llegando a observarse materiales gravosos. En lo que respecta al SEV 12, que se realizó en la planicie con derrames disipados, los materiales presentan una granulometría mayor ya que en algunos sectores afloran arenas gruesas y gravas.

En resumen, se observa que a medida que se aleja del canal del río Seco hacia el occidente, la potencia de los materiales que cubren los depósitos fluviales/aluviales, va

en aumento y su granulometría es más fina, debido a que el agente que los ha depositado es el viento.



**Fig. 7.17.** Perfil D-D' (O-E), representativo de unidades de derrames.

## **CAPÍTULO 8**

# **APTITUD DEL TERRITORIO**

### **8.1. Introducción**

Para evaluar si es factible el desarrollo de actividad minera de áridos en el abanico aluvial del río Seco, es necesario determinar la aptitud/potencialidad del territorio para este fin, lo cual permitirá zonificar al mismo según la disponibilidad de recursos de interés económico y, conjuntamente con el análisis de otras variables, de realizar un ordenamiento de la actividad. Es evidente que el aprovechamiento minero de los recursos naturales puede entrar en conflicto con otros usos del suelo: urbanización, utilización de los acuíferos para abastecimiento, agricultura, industria, esparcimiento y recreo, transporte, entre otros (Barretino, 2002). Sin duda, una integración efectiva de la minería en la ordenación territorial pasa por conocer con suficiente detalle y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que albergan los recursos minerales, evaluando la cantidad y calidad de estos (Barrettino *et al.*, 2003). Específicamente en este trabajo, el análisis se centra en la potencialidad de cara al establecimiento futuro de proyectos de explotación de áridos, delimitando las áreas con mayor o menor aptitud para su desarrollo.

Existen una serie de metodologías de trabajo que, junto al estudio de la distribución de los recursos geológicos, proponen analizar otras variables ambientales de importancia. Las metodologías que se han denominado de ordenación u ordenamiento minero-ambiental intentan ajustarse a las fórmulas y métodos de trabajo de la ordenación territorial, e incluyen una fase de diagnóstico territorial para evaluar la capacidad de acogida ante la actividad extractiva mediante un modelo de impacto/aptitud. En lo que corresponde a la valoración del potencial geológico, es la información disponible y la escala de trabajo (a veces definida, considerando la información disponible sobre otros elementos del medio) las que condicionan los procedimientos para la delimitación cartográfica y la calificación de los recursos potencialmente explotable.

Como ya se mencionara, para el desarrollo de este trabajo, se utilizó como base la propuesta metodológica denominada Ordenación Minero-Ambiental de los recursos minerales (impulsada por el Instituto Geológico y Minero de España –IGME–), cuyo

objetivo principal es la elaboración de cartas de ordenación minero-ambiental. En los mapas se definen y delimitan diferentes categorías sobre las áreas con recursos potencialmente explotables, con el fin de lograr una propuesta de ordenación de zonas explotables con diferentes niveles de prioridad. Los mapas de ordenación minero-ambiental surgen de un diagnóstico territorial en el que se efectúan valoraciones de los elementos del medio y se determina en qué medida resulta más o menos adecuado desarrollar la actividad en ese sector del territorio, es decir, se determina la potencialidad del mismo. Con estas premisas, todas las valoraciones hechas a partir de la cartografía geológica-geomorfológica base, que culminan con la confección de la carta de potencialidad/aptitud del territorio para la extracción de áridos, se realizaron por métodos de desagregación en componentes sobre unidades territoriales previamente definidas (Gómez Orea, 1994).

## **8.2. Índice de aptitud/potencialidad del territorio para extracción de áridos**

### **8.2.1. Definición y desarrollo**

La aptitud representa la medida en que el territorio cubre los requisitos que exige la localización y el aprovechamiento minero de los recursos, lo que equivale en este caso a la potencialidad de cada *unidad territorial*, tomando como base las *unidades geomorfológicas* previamente definidas (mapa geomorfológico del abanico aluvial del río Seco, Fig. 6.1 – Cap. 6). Cabe aclarar que sólo se evaluaron las unidades que integran el abanico aluvial. Se exceptuaron de la evaluación las unidades del paleoabanico más antiguo y cauce actual del río Seco (Unidades III-1 y III-2.1, Fig. 6.1, respectivamente) ya que la primera presenta mayor cubierta de materiales finos, y principalmente, posee suelos con alto potencial productivo (o alto valor), y, la segunda, contradice los requerimientos de la provincia, quien sólo admite extracción de áridos en canteras secas

La estimación de la aptitud del territorio se realizó en función de la información generada en este trabajo y, además, se han utilizado algunos datos del proyecto de extensión “*Evaluación de la potencialidad del territorio para la extracción de áridos y delimitación de líneas de ribera y riesgo hídrico en el abanico aluvial del río Seco, Córdoba*”, como perfiles de calcatas poco profundas, abiertas con palas retroexcavadoras, en zonas con ausencia de exposiciones, e información de subsuelo provista por dos perforaciones que se han llevado a cabo dentro del sector estudiado.

Se desarrolló un *índice de aptitud para la extracción de áridos*, de carácter cualitativo/semicuantitativo, que responde a la siguiente expresión matemática:

$$I_{ApEA} = (A_G \cdot A_L \cdot A_{ME}) \cdot A_H$$

donde

$A_G$  = *Aptitud geomorfológica*: para definirla se tuvieron en cuenta especialmente los aspectos morfogenéticos (procesos eólicos, fluviales y sus variantes) y morfodinámicos (erosión, agradación, migración, edafización, entre otros) de las geoformas presentes y su grado de evolución.

$A_L$  = *Aptitud litológica*: tiene en cuenta la granulometría y potencia de los cuerpos sedimentarios de interés económico (areno-gravosos) que componen las geoformas evaluadas. Esta información surge de los perfiles sedimentológicos y calicatas descriptas, perforaciones e interpretación de SEV y análisis granulométrico de muestras de perfiles, calicatas y perforaciones.

$A_{ME}$  = *Aptitud según potencia de material estéril*: aquí se considera la potencia del material estéril o de destape que se encuentra como cobertura superficial y debe ser removido para acceder al cuerpo de interés económico.

$A_H$  = *Aptitud hidrológica*: está definida por la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, considerando que la proximidad del agua hacia la superficie reduce la potencialidad del terreno para explotación de áridos, suponiendo una limitación real en cuanto a la profundidad de explotación.

En cada una de las unidades geomorfológicas definidas se realizó la valoración individual de  $A_G$ ,  $A_L$  y  $A_{ME}$ , mientras que, para evaluar  $A_H$  se tomó como unidad territorial a la superficie comprendida entre las curvas de isoprofundidad del nivel freático.

### **8.2.2. Definición de clases de aptitud según $I_{ApEA}$**

Para cada variable de aptitud ( $A_G$ ,  $A_L$ ,  $A_{ME}$  y  $A_H$ ) se definieron *cinco clases*: *baja*, *moderadamente baja*, *moderada*, *moderadamente alta* y *alta*; y una de ellas fue asignada a cada unidad territorial.

Así, considerando la *aptitud geomorfológica* ( $A_G$ ), las geoformas de agradación de origen fluvial con poca cobertura y evolución pedogenética, se incluyen en la *clase alta* mientras que, aquellas asociadas a desbordes o derrames con cubierta eólica o muy evolucionados, representan la *clase baja*.

En la evaluación de la *aptitud litológica* ( $A_L$ ) se asignó *clase alta* a las unidades que involucraban las mayores potencias de materiales areno-gravosos y, por el contrario,

clase *baja* a aquellas constituidas por cuerpos de menores espesores y materiales más finos.

Por otro lado, se consideró que la aptitud para extracción de áridos decrece con la cantidad de material estéril que se encuentra por encima de los cuerpos de áridos a explotar ( $A_{ME}$ ), por tal motivo a las unidades que presentaban mayor potencia de destape se les asignó *clase baja*, mientras que, a las que tenían menor espesor de estéril, *clases altas*.

Por último, la *aptitud hidrológica* ( $A_H$ ), es *clase alta*, cuando el nivel freático está profundo y, *baja* cuando se encuentra más próximo a la superficie.

Luego de obtener una valoración cualitativa para cada una de las variables, los datos se volcaron en diferentes mapas temáticos, utilizando para su identificación los colores del código del semáforo (rojo, lo peor y verde, lo mejor). Así, las unidades de más baja aptitud se colorean de rojo, las intermedias de naranja y amarillo y las clases altas de verde. Para la valoración se utilizó una matriz de cálculo de variables cualitativas (Tabla. 8.1) adoptando un criterio conservador, es decir, en los cruzamientos entre dos parámetros siempre tuvo mayor peso el de menor categorización. En una primera etapa se obtuvo una subclase de aptitud, para cada unidad territorial/geomorfológica, resultante de la combinación de las correspondientes clases de  $A_G$ ,  $A_L$  y  $A_{ME}$  (Tabla. 8.6).

**Tabla 8.1.** Matriz de cálculo para variables cualitativas, donde A = alta, MA = moderadamente alta, M = moderada, MB = moderadamente baja, B =baja.

	Alta	Moderadamente alta	Moderada	Moderadamente baja	Baja
Alta	A	MA	MA	M	M
Moderadamente alta	MA	MA	M	M	MB
Moderada	MA	M	M	MB	MB
Moderadamente baja	M	M	MB	MB	B
Baja	M	MB	MB	B	B

En una segunda etapa el valor de esta subclase se confrontó con las diferentes clases de  $A_H$  reconocidas en la unidad territorial evaluada, utilizando la misma matriz e igual criterio conservador ya aplicado en la tablas 8.1 y 8.6. En la tabla 8.7, se presenta la

matriz resultante de las distintas interacciones y el Índice de Aptitud para Extracción de Áridos ( $I_{ApEA}$ ) asignado. Este valor es representado en la carta de aptitud del territorio para la extracción de áridos.

### 8.3. Determinación del índice $I_{ApEA}$ en el área de estudio

#### 8.3.1. Aptitud geomorfológica

Considerando las características geomorfológicas descriptas se proponen las clases de aptitud que se presentan en la tabla 8.2 y en el mapa de la figura 8.1 se muestra su distribución areal.

<b>Tabla 8.2. Clases de aptitud geomorfológicas.</b>		
<b>CLASES</b>	<b>UNIDAD TERRITORIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>BAJA</b>		Geoformas de agradación compuestas por materiales finos con poco valor económico para minería de áridos
<b>MODERADAMENTE BAJA</b>	<b>-Planicie de derrames con cubierta eólica</b>	Geoformas de agradación, areno-gravosas con cubierta (> 2m) de materiales areno-limosos eólicos.
<b>MODERADA</b>	<b>-Planicie de derrames disipados</b> <b>-Paleoabanico más antiguo</b>	Sectores del paleosistema aluvial más evolucionados, en general areno-gravosos, con importante desarrollo edáfico.
<b>MODERADAMENTE ALTA</b>	<b>-Planicie de derrames manifiestos</b> <b>-Terrazas río Seco</b> <b>-Terraza T1 río Cuarto</b>	Geoformas extendidas de desbordes de canal y crevasse, con depósitos heterométricos con dominio de fracción areno-gravosa, y con pobre desarrollo edáfico, relativamente modernos. Terrazas aluviales, donde dominan materiales areno-gravosos poco edafizado.
<b>ALTA</b>	<b>-Espiras de meandros</b> <b>-Paleocanales río Seco</b> <b>-Terraza T2 río Cuarto</b>	Geoformas constituidas por depósitos casi totalmente areno-gravosos modernos con pobre o nulo desarrollo edáfico.

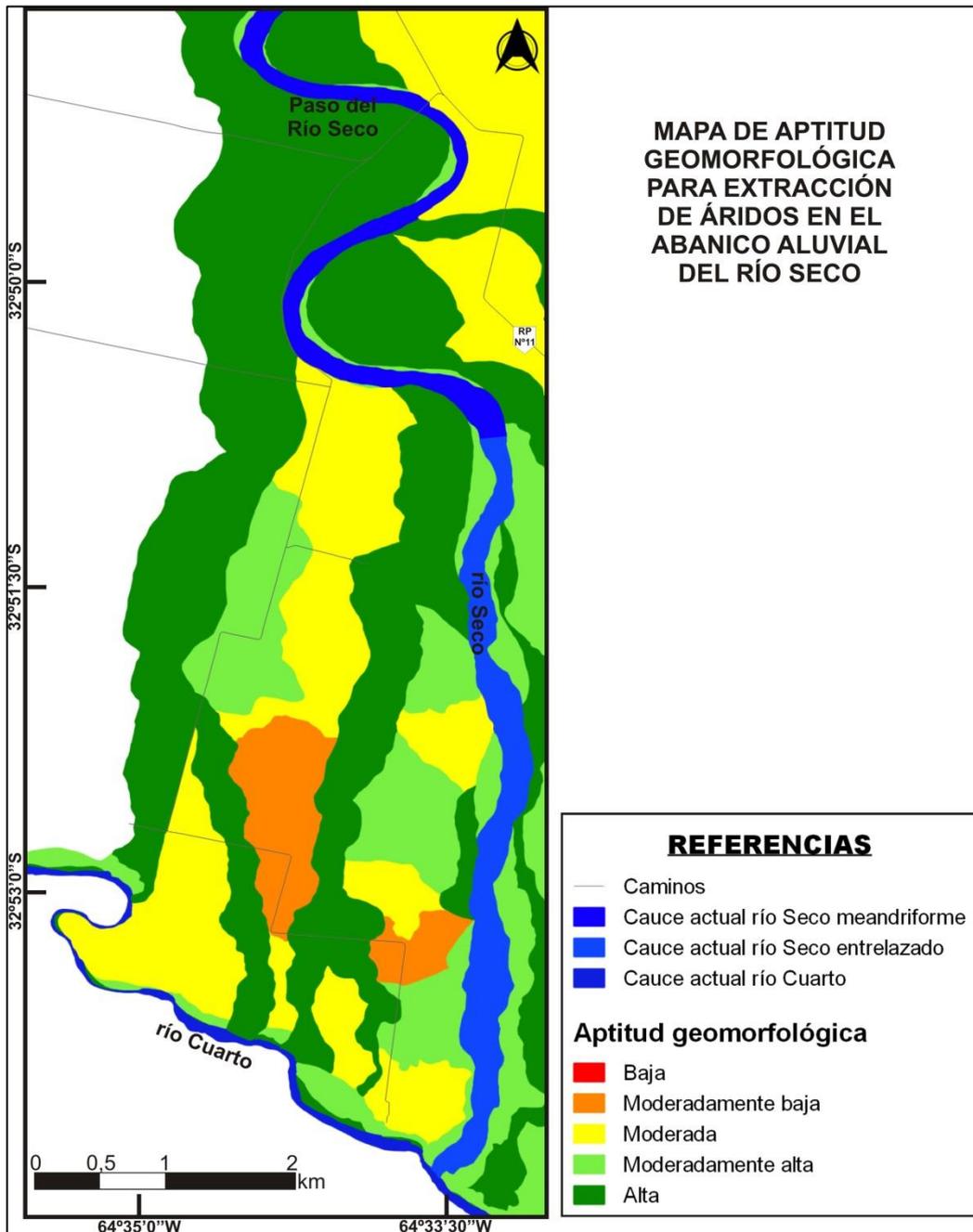


Fig. 8.1. Mapa de aptitud geomorfológica.

Claramente de la figura 8.1 surge que la aptitud geomorfológica del área es moderadamente alta a alta, clases que en conjunto representan un 63,54 % de la superficie evaluada, a lo que se suma el 31,94 % de área con aptitud moderada y sólo 4,52 % tiene aptitud moderadamente baja. No se observa ninguna zona a la que le corresponda la clase baja.

### 8.3.2. Aptitud litológica

En la tabla 8.3 se describen las clases determinadas y en la figura 8.2 se presenta su valoración en cada una de las unidades geomorfológicas.

<b>Tabla 8.3. Clases de aptitud litológica.</b>		
<b>CLASE</b>	<b>UNIDAD TERRITORIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>BAJA</b>		Potencia de materiales areno-gravosos menor a 2,5 metros.
<b>MODERADAMENTE BAJA</b>		Potencia de materiales areno-gravosos entre 2,5 y 5 metros.
<b>MODERADA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Planicie de derrames disipados</li> <li>-Planicie de derrames con cubierta eólica</li> <li>-Terraza T2 río Cuarto</li> </ul>	Potencia de materiales areno-gravosos entre 5 y 7,5 metros.
<b>MODERADAMENTE ALTA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Paleoabanico más antiguo</li> <li>-Terraza T1 río Cuarto</li> </ul>	Potencia de materiales areno-gravosos entre 7,5 y 10 metros.
<b>ALTA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Espiras de meandros</li> <li>-Paleocanales río Seco</li> <li>-Planicie de derrames manifiestos</li> <li>-Terrazas río Seco</li> </ul>	Potencia de materiales areno-gravosos mayor a 10 metros.

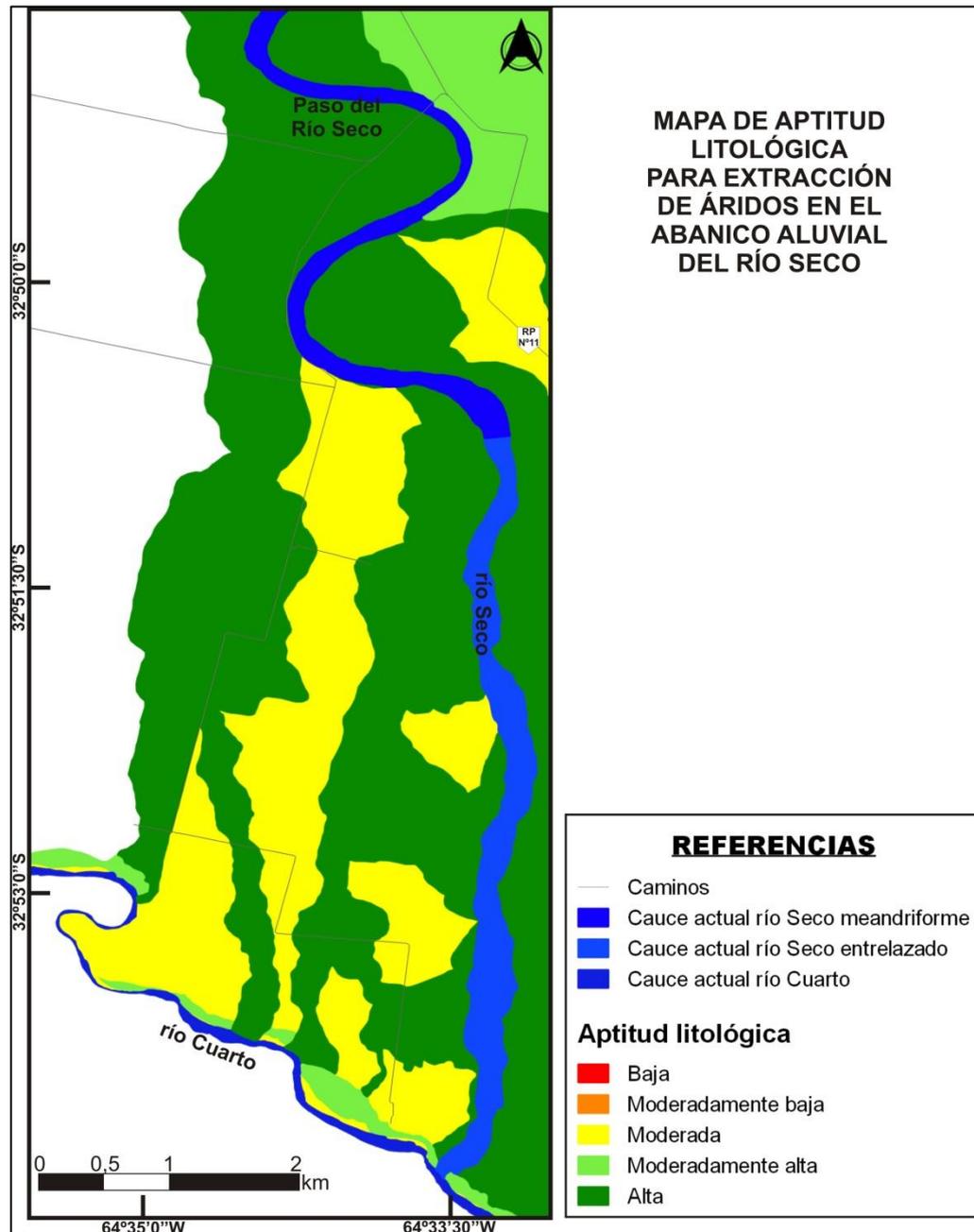


Fig. 8.2. Mapa de aptitud litológica.

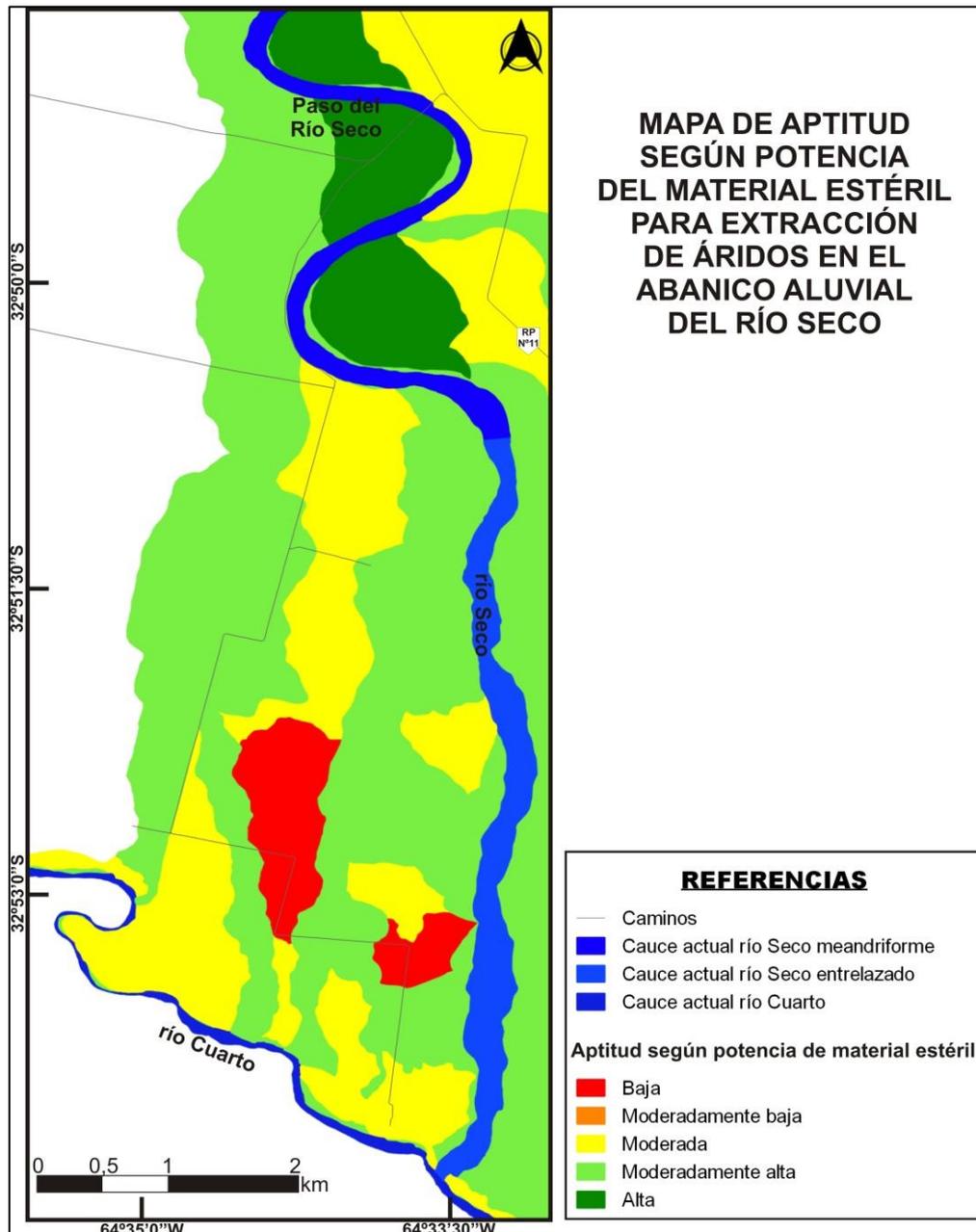
Analizando el mapa de la figura 8.2 se puede observar que *no existen áreas que presenten una aptitud baja o moderadamente baja*. Por el contrario el 68,67 % de la superficie posee *aptitud alta - moderadamente alta*, mientras que al 31,33 % restante le corresponde una *categoría moderada*.

### 8.3.3. Aptitud según la potencia del material estéril

En la tabla 8.4 se muestran las clases definidas, mientras que, en la figura 8.3 se observa esta valoración en cada una de las unidades territoriales.

**Tabla 8.4.** Clases de aptitud de potencia del material estéril.

<b>CLASE</b>	<b>UNIDAD TERRITORIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>BAJA</b>	-Planicie de derrames con cubierta eólica	Potencia de material estéril/destape mayor a 1,6 metros.
<b>MODERADAMENTE BAJA</b>		Potencia de material estéril/destape entre 1,2 y 1,6 metros.
<b>MODERADA</b>	-Paleoabanico más antiguo -Planicie de derrames disipados -Terraza T1 río Cuarto	Potencia de material estéril/destape entre 0,8 y 1,2 metros.
<b>MODERADAMENTE ALTA</b>	-Paleocanales río Seco -Planicie de derrames manifiestos -Terrazas río Seco -Terraza T2 río Cuarto	Potencia de material estéril/destape entre 0,4 y 0,8 metros.
<b>ALTA</b>	-Espiras de meandros	Potencia de material estéril/destape menor a 0,4 metros.



**Fig. 8.3.** Mapa de aptitud según potencia de destape.

En el mapa (Fig. 8.3) se observa que de la superficie valorada total: el 4,52 % presenta una *aptitud baja*, 35 % *moderada*, 51, 67 % *moderadamente alta* y 8,83 % *alta*, sin encontrarse áreas que le correspondan la clase moderadamente baja.

### 8.3.4. Aptitud hidrológica

En la tabla 8.5 se muestran las cinco clases de aptitud definidas para el área de estudio teniendo en cuenta la profundidad del nivel freático, y en el mapa de la figura 8.4 se presenta su distribución areal.

Tabla 8.5. Clases de aptitud hidrológica.	
CLASE	CARACTERÍSTICAS
BAJA	Prof. nivel freático: a 0 metro (aflorando).
MODERADAMENTE BAJA	Prof. nivel freático entre 0 y 10 metros.
MODERADA	Prof. nivel freático entre 10 y 20 metros.
MODERADAMENTE ALTA	Prof. nivel freático entre 20 y 30 metros.
ALTA	Prof. nivel freático mayor a 30 metros.

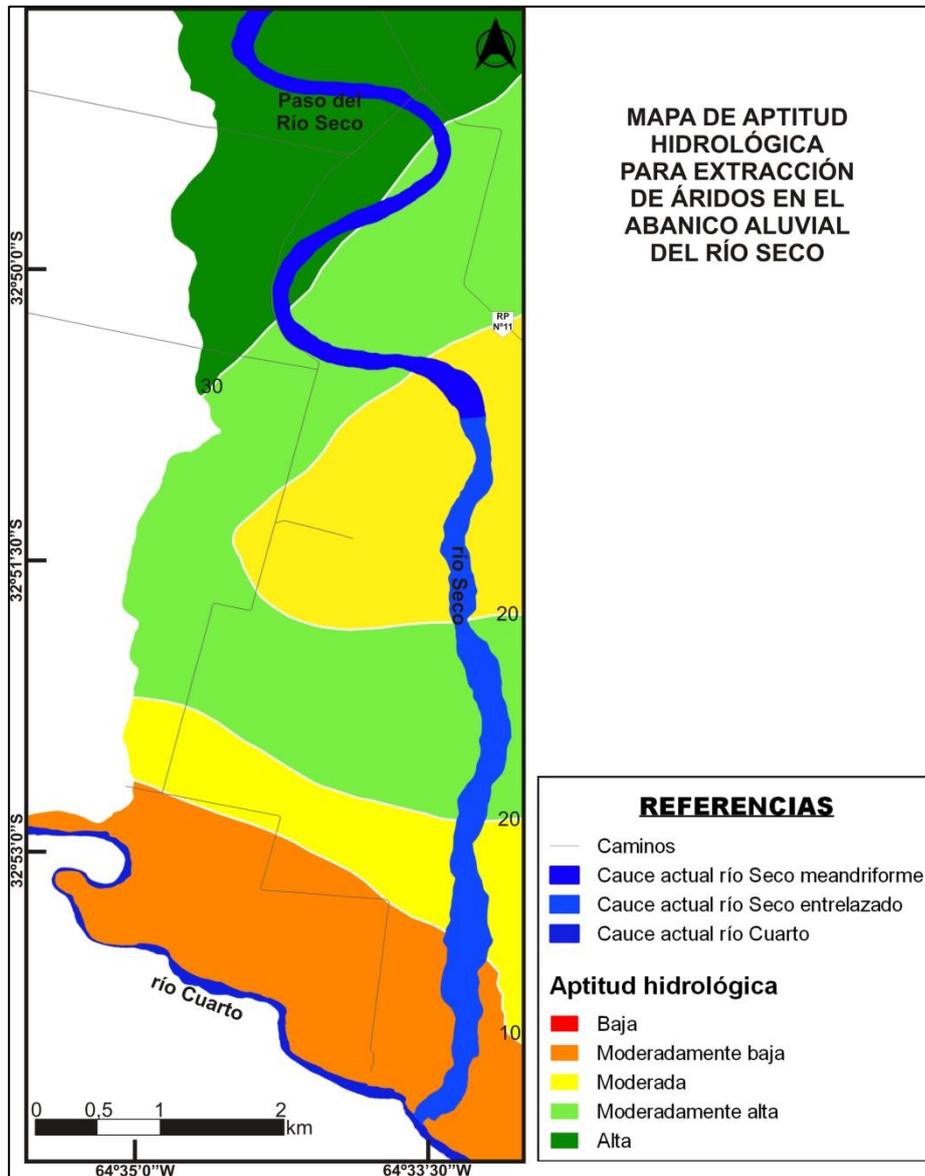


Fig. 8.4. Mapa de aptitud hidrológica.

Como puede observarse en la figura 8.4 casi la mitad de la superficie (48, 40 %) tiene *potencialidad alta - moderadamente alta*, el 29,30 % presenta una *aptitud media* y sólo el 22,30 % podría tener algún impedimento por tener nivel freático relativamente alto.

### 8.3.5. Carta de potencialidad del territorio para la extracción de áridos

Para obtener esta carta, como se indicara anteriormente, en una primera etapa, se combinaron en cada unidad geomorfológica las clases de  $A_G$ ,  $A_L$  y  $A_{Me}$  asignadas, obteniéndose las subclases de aptitud que se muestran en la Tabla 8.6.

**Tabla. 8.6.** Subclase de aptitud resultante de la combinación de aptitud geomorfológica, litológica y según la potencia de material estéril, en cada unidad geomorfológica.

Unidad territorial	Aptitud geomorfológica	Aptitud litológica	Aptitud potencia de estéril	Subclase (sin prof NF)
1) Espiras de meandros	Alta	Alta	Alta	<b>Alta</b>
2) Paleocanales río Seco	Alta	Alta	Moderadamente alta	<b>Alta</b>
3) Paleoabanico más antiguo	Moderada	Moderadamente alta	Moderada	<b>Moderada</b>
4) P. de derrames manifiestos	Moderadamente alta	Alta	Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
5) P. de derrames disipados	Moderada	Moderada	Moderada	<b>Moderada</b>
6) P. de derrames con cubierta eólica	Moderadamente baja	Moderada	Baja	<b>Moderadamente baja</b>
7) Terrazas río Seco	Moderadamente alta	Alta	Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
8) Terrazas T1 río Cuarto	Moderadamente alta	Moderadamente alta	Moderada	<b>Moderada</b>
9) Terrazas T2 río Cuarto	Alta	Moderada	Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>

Como puede observarse en la tabla 8.6, que evaluadas las variables en las cuales la unidad geomorfológica corresponde a la unidad territorial, un alto porcentaje del área resulta con *alta aptitud* y sólo una unidad presenta *moderadamente baja*. Ninguna de ellas con *aptitud baja*.

Finalmente el  $I_{ApEA}$  definitivo se obtuvo de la combinación de estas subclases con las de aptitud hidrológica, resultando las clases que se presentan en la tabla 8.7 y cuya distribución espacial se muestra en la figura 8.5.

**Tabla 8.7.** Matriz que muestra combinación de subclases integrada de aptitud según  $A_G$ ,  $A_L$  y  $A_{Me}$  y con  $A_H$  en unidades territoriales diferentes e índice de aptitud para extracción de áridos resultante.

Unidad territorial	Subclase (sin prof NF)	Aptitud hidrológica	Índice ApEA
1) Espiras de meandros	<b>Alta</b>	Alta	<b>Alta</b>
		Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
2) Paleocanales río Seco	<b>Alta</b>	Alta	<b>Alta</b>
		Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderada	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderadamente baja	<b>Moderada</b>
3) Paleoabanico más antiguo	<b>Moderada</b>	Alta	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderadamente alta	<b>Moderada</b>
4) P. de derrames manifiestos	<b>Moderadamente alta</b>	Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderada	<b>Moderada</b>
		Moderadamente baja	<b>Moderada</b>
5) P. de derrames disipados	<b>Moderada</b>	Moderadamente alta	<b>Moderada</b>
		Moderada	<b>Moderada</b>
		Moderadamente baja	<b>Moderadamente baja</b>
6) P. de derrames con cubierta eólica	<b>Moderadamente baja</b>	Moderada	<b>Moderadamente baja</b>
		Moderadamente baja	<b>Moderadamente baja</b>
7) Terrazas río Seco	<b>Moderadamente alta</b>	Alta	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderadamente alta	<b>Moderadamente alta</b>
		Moderada	<b>Moderada</b>
		Moderadamente baja	<b>Moderada</b>
8) Terrazas T1 río Cuarto	<b>Moderada</b>	Moderadamente baja	<b>Moderadamente baja</b>
8) Terrazas T2 río Cuarto	<b>Moderadamente alta</b>	Moderadamente baja	<b>Moderada</b>

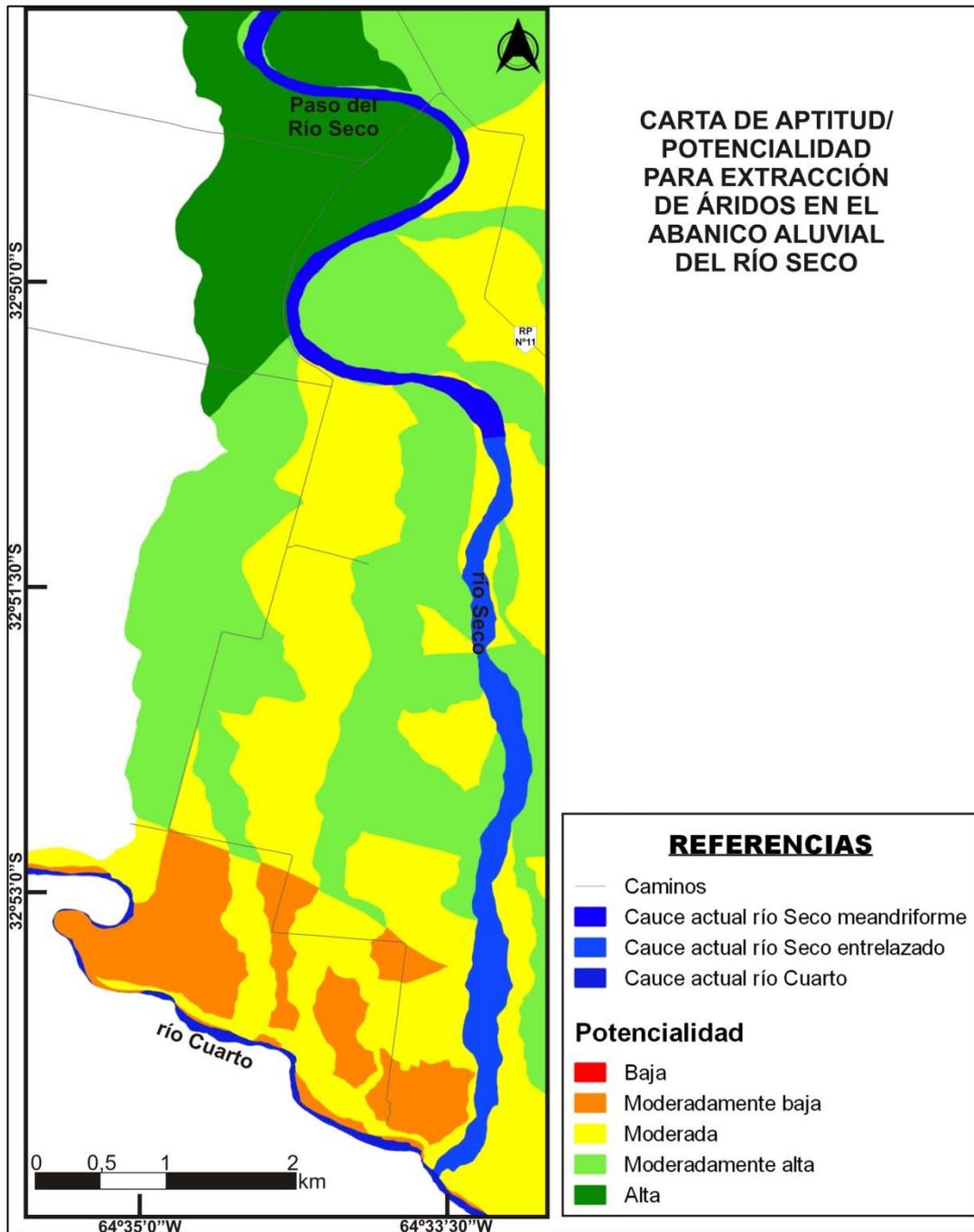


Fig. 8.5. Carta de potencialidad para extracción de áridos en el abanico aluvial del río Seco.

De la aplicación del  $I_{ApEA}$  en el área de estudio surge que en el abanico aluvial del río Seco, el 47,12 % de la superficie es potencialmente muy productivo para la explotación de áridos (12,83 % presenta *aptitud alta* y 34,29 % *moderadamente alta*), el 40,64 % del territorio tiene un índice de *aptitud moderada* y sólo el 12,23 % muestra condiciones *moderadamente bajas* para ser explotados (principalmente como consecuencia de la proximidad del nivel freático a la superficie).

## **CAPÍTULO 9**

# **CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES**

### **9.1. Consideraciones metodológicas**

Con el objetivo de analizar la potencialidad de aplicación del índice propuesto ( $I_{ApEA}$ ) en este trabajo, se presentan aquí otras opciones metodológicas para definir la aptitud de un área para la extracción de áridos, y se efectuaron algunas consideraciones comparativas con el  $I_{ApEA}$ .

Schenk (1993) con el objetivo de identificar y proponer medidas de protección para los depósitos de áridos, a escala regional en Minnessotta (Estados Unidos), realizó mapas en los que se indican los recursos potenciales en sentido amplio, sobre la base de una serie de criterios, que guardan similitud con los utilizados en este trabajo. Específicamente, para los recursos de arenas y gravas este autor tuvo en cuenta a) proporción de gravas (> 35 %), b) espesor 6 m, c) espesor del recubrimiento (destape) 3 m, d) profundidad nivel freático 6 m, e) extensión del depósito, y f) calidad relativa de la información disponible. Como puede observarse los ítems a y b, en el  $I_{ApEA}$  desarrollado, son considerados en la definición de la aptitud litológica ( $A_L$ ), c) en la  $A_{Me}$ , d) en la  $A_H$  y e) en la  $A_G$ . Fundamentalmente, hay diferencias en la información cuantitativa usada en cada variable, que obviamente depende de la escala e información disponible. Para trabajos regionales y levantamientos de menor detalle, como el realizado en el río Seco, algunos de estos parámetros son difíciles de extrapolar en el espacio, por eso se evalúan en unidades geomorfológicas, asumidas como unidades territoriales de síntesis de un conjunto de características.

En el trabajo de Colegial Gutierrez (2004) sobre los recursos áridos o agregados naturales existentes en la cuenca del río Jarama (Madrid), se utiliza la metodología del IGME, al igual que en esta tesis, pero allí se completa efectuando un balance entre la aptitud del territorio para la extracción de áridos y el impacto que ésta podría generar (que aquí no se evalúa). Este autor expresa la aptitud en función de tres parámetros: a) porcentaje de finos, b) espesor promedio del depósito (en función de criterios geomorfo-

topográficos), y c) distancia a centros de consumo. El recubrimiento o destape fue desestimado, por ser poco discriminante en esa zona de estudio, y la profundidad del nivel freático fue considerada para evaluar el impacto de la actividad extractiva sobre el agua subterránea.

Por su parte, Arranz González *et al.*, (2009) en la zona occidental de la ribera de Ebro (Navarra), aplica otra variante de la metodología del IGME para Ordenación Minero-Ambiental del sector de áridos naturales. Las variables utilizadas para definir la aptitud fueron: a) granulometría del material (considerando contaminación con material fino y grado de cementación), b) mapas de potencia del recurso potencialmente explotable (analizando perfiles y SEV), c) posición del nivel freático, también considerado como un factor limitante desde el punto de vista de la aptitud, ya que supone una limitación real en cuanto a la profundidad de explotación. En este trabajo se realizó una valoración directa, sin utilizar unidades territoriales, utilizando un enfoque analítico, el cual permite minimizar la subjetividad pero necesita nutrirse de mapas temáticos para cada atributo seleccionado, de una calidad mayor.

En *síntesis*, en general hay una importante coincidencia o similitud entre los *parámetros evaluados* para determinar la aptitud de un territorio como fuente de áridos, a excepción de algunas propuestas (Colegial Gutierrez, 2004) que incorporan aspectos vinculados a la factibilidad económica o bien consideran la profundidad del acuífero sólo cuando se evalúa el impacto de la actividad minera sobre el agua subterránea. En este trabajo *se considera que los aspectos relacionados con la viabilidad económica de la comercialización deben ser evaluados en una etapa posterior, porque son independientes de la fuente de recursos que incluye aspectos definidos por la geología (geomorfología, litología, hidrología). Considerarlos conjuntamente dificultan el ordenamiento territorial, porque responden a distintos factores de control.*

En relación a la unidad territorial de análisis y evaluación, se pueden obtener buenos resultados tanto a partir de metodología analítica (Colegial Gutierrez, 2004 y Arranz González *et al.*, 2009) como sintética. La primera requiere de alta disponibilidad de datos reflejados en cartas temáticas, mientras que la segunda, aplicada en este trabajo, considera las unidades geomorfológicas como sintetizadoras de aspectos morfométricos, litológicos, morfodinámicos, que permiten efectuar estas ponderaciones con menor cantidad de información y buenos resultados.

Finalmente, como lo expresa Hernandez Durán (2015), no existe una manera universal para abordar la necesidad de delimitar y evaluar los recursos mineros como paso previo a la planificación territorial de la actividad minera. Sin embargo, se observa

una tendencia clara a emplear conceptos de aptitud o potencial geológico-minero, que intentan mejorar la simple delimitación de las formaciones geológicas que albergan los recursos y son de gran utilidad para afrontar la planificación mediante la valoración de la capacidad de acogida.

## **9.2. Conclusiones**

El río Seco, en su tramo final, previo a la confluencia con el río Cuarto ha desarrollado un abanico aluvial, cuya evolución se vincula a las variaciones climáticas neógenas cuaternarias y al marcado control estructural, con lineamientos tectónicos que se presentan en tres familias con rumbos N-S, NO-SE y SO-NE. Las fallas más relevantes son la Falla Río de los Sauces y Falla Santa Rita, ambas de rumbo N-S, las cuales limitan y conforman un bloque central hundido, basculado hacia el Sur y Norte, donde tiene desarrollo el abanico aluvial del río Seco. El límite sur de esta depresión está definido por estructuras SO-NE (Piedras Blancas<sup>9</sup> Y NO-SE, que definen el Alto de Rodeo Viejo.

El análisis geomorfológico, muestra una historia agradacional muy importante, vinculada a canales meandriformes y, fundamentalmente entrelazados, de régimen no permanente, el cual habría permanecido, durante la mayor parte de construcción del abanico.

El abanico muestra en el sector analizado dos ápices bien marcados, uno situado pocos kilómetros aguas arriba del paraje Río Seco, en el borde NO de la depresión, y el otro, aguas abajo, en proximidades del paraje Río Seco. Las distintas posiciones del ápice se vinculan a cambios climáticos: la retracción del ápice a condiciones más áridas, mientras que la progradación aguas abajo, a ciclos más húmedos. Esto indica que la conectividad con el río Cuarto ha variado durante el Neógeno-Cuaternario, llegando en algunos ciclos más áridos a conexiones esporádicas, quizás no canalizadas.

La incisión del abanico y desarrollo de la faja fluvial actual, en base a las evidencias geomorfológicas y estratigráficas, habría ocurrido en el Holoceno superior tardío, vinculado a la instalación del clima húmedo actual y a la profundización del río Cuarto, por causas climáticas y actividad neotectónica, principalmente. Las causas antrópicas están muy subordinadas.

Las unidades y subunidades geomorfológicas más modernas (*espiras de meandros, paleocanales principales y planicie con dominio de derrames manifiestos*) se localizan en

el sector centro-occidental y noroccidental del paleoabanico y, en general están compuestas por materiales areno-gravosos con un bajo grado de edafización. Las geoformas más antiguas, disipadas, interdigitadas y/o yuxtapuestas por morfologías eólicas (*planicies con dominio de derrames disipados y con cubierta eólica*), se localizan hacia el Este y Sur, presentan materiales superficiales limo-arenosos y un mayor desarrollo de suelos. Esta distribución, indica que el abanico generado a partir del ápice más moderno, no cubre totalmente al anterior y que, al menos habría sido abandonado en el Holoceno superior, considerando la edad de los depósitos eólicos.

La caracterización textural de los materiales aflorantes y subaflorantes (perfiles expuestos, calicatas abiertas) en el paleoabanico y el cauce actual del río Seco, muestran un dominio de sedimentos arenosos gruesos-gravosos finos en todos los casos con diferencias en los primeros metros superficiales, que pueden ser arenosos fino-limosos, en las unidades geomorfológicas donde las geoformas aluviales han sido cubiertas por materiales eólicos o tenido una mayor evolución pedogenética.

La exploración geofísica del subsuelo, muestra una clásica curva que se interpreta como correspondiente a cuerpos areno-gravosos, cuya potencia varía entre 10 y 25 metros, con una cubierta superficial de material de granulometría más fina (entre 2 a 3 metros de espesor). Por debajo de estos cuerpos de material areno-gravoso (más allá de los 20 m de profundidad aproximadamente) los materiales presentes comienzan a tener una menor resistividad, indicando de esta manera una granulometría más fina. Las variaciones en el espesor de estas unidades del subsuelo se corresponden con los ambientes reconocidos.

La potente secuencia neógena-cuaternaria acumulada en esta depresión, indica mantenimiento de espacio de acomodación de sedimentos y esto se atribuye a la actividad neotectónica de las estructuras principales.

En relación a la potencialidad de la zona para el desarrollo de actividad minera, se ha desarrollado el **Índice de Aptitud para Extracción de Áridos  $I_{ApEA}$** , que considera la aptitud geomorfológica ( $A_G$ ), aptitud litológica ( $A_L$ ), aptitud según potencia de material estéril ( $A_{Me}$ ) y aptitud hidrológica ( $A_H$ ), que presentan en unidades territoriales de síntesis, en este caso las unidades geomorfológicas.

De la aplicación del Índice de Aptitud para Extracción de Áridos ( $I_{ApEA}$ ) surge que: **a) el 47,12 % de la superficie del abanico tiene características muy aptas para llevar a cabo la actividad extractiva, b) el 40,64 % presenta una aptitud media, c) sólo el**

12,23 % exhibe cierto impedimento, d) y no se identificaron áreas en las cuales la explotación de áridos se vea imposibilitada.

Teniendo en cuenta que el índice aplicado sólo incluye variables geológicas e hidrológicas, y no evalúa impacto que la actividad generaría, ni aspectos legales, económicos y financieros, se puede **concluir que la zona tiene alta potencialidad para la minería de áridos desde el punto de vista geomorfológico y litológico y que la mayor limitante para el desarrollo de la actividad en esta zona es la profundidad del nivel freático en el sector Sur de la misma.**

## **CAPÍTULO 10**

# **BIBLIOGRAFÍA**

### **10.1. Citas bibliográficas**

- Andreazzini, M. J., 2015.** Análisis de los procesos de ajuste en sistemas fluviales serranos-pedemontanos frente a cambios ambientales. Cuenca del río Las Cañitas, Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, UNRC (inédita). Río Cuarto, Córdoba.
- Arranz González, J. C. Alberruche del Campo, E. y Trapote Redondo, M.M., 2009.** *En Metodología para la ordenación minero-ambiental de los recursos de áridos naturales. Aplicación a la ribera occidental del Ebro en Navarra. II Congreso Nacional de Áridos, Valencia.*
- Barettino, D., Martínez-Plédel, B., Arranz, J. C., & Alberruche, E., 2003.** Las bases para la integración de los recursos minerales en la ordenación del territorio: el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental. Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio. ESPOL-CYTED, Guayaquil, Ecuador.
- Barrettino, D., 2002.** Ordenación Minero-Ambiental de recursos de rocas industriales. Aplicación a la reserva estatal de pizarras de la Cabrera (León). Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Inédito.
- Benito, M.G, 2018.** Estudio de conectividad hidrológica y sedimentológica en dos ambientes litológicos de la cuenca del río Las Tapias, cuenca alta del río Cuarto, Córdoba. Tesis de Licenciatura. Dpto Geología, UNRC (Inédito). Río Cuarto, Córdoba.
- 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 geoambiental. Ed. UNRC.
- 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., 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.
- Blarasin, M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas, M., 2005.** Aguas superficiales y subterráneas del sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Blarasin, M., Degiovanni, S., Cantú, M., Eric, C., Cabrera, A., Villegas, M., Doffo, N., Becker, A., Cisneros, J., Gonzalez J. y Cholaky, C., 1994.** Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la ruta Nacional 7, entre Laboulaye y Villa Mercedes, y la ruta Nacional No 8, entre

Canals y Villa Mercedes. Convenio U.N.R.C. y Empresa Caminos del Oeste S.A. Inédito.

- Bonalumi, A., Escayola, M., Kraemer, P., Baldo, E. y Martino, E., 1999.** Sierras Pampeanas (Córdoba, Santiago del Estero). A) Precámbrico paleozoico inferior de las Sierras de Córdoba. Geología Regional Argentina.
- 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. Paraná. Argentina.
- Capitanelli R. G., 1979.** Clima. En: Geografía física de la Provincia de Córdoba. Editorial BOLDT.
- Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni S. y Cioccale, M., 2014.** Geomorfología. En Roberto D. Martino y Alina B. Guerreschi (Eds.) Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba, Córdoba.
- Chebli, G., Mozetic, M., Rossello, E. y Bühler, M., 1999.** Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29. Bs. As.
- Colegial Gutiérrez, J. D., 2004.** *Evaluación Multicriterio para la Ordenación Minero-Ambiental de Áridos Naturales en la Cuenca del Río Jarama (Madrid)* (Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, Madrid. Inédito).
- Coniglio, J., Villegas, M., Degiovanni, S., Gentile, L., Petrelli, H., Villalba G. y Felizzia, J., 2008.** Extracción de áridos en el río Cuarto. Importancia del recurso, tipificación y factores de calidad. 1° Cong. Nac. Áridos y 6° Jorn. Iberoam. de Materiales de Construcción. Actas TI: 55-62, Mar del Plata.
- Corral M., Baldissone M., Farias H., Rodriguez A. y López F. 2009.** Balance sedimentológico simplificado para el río Cuarto, Córdoba. En RIOS 2009: Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Salta, Argentina.
- Corral, M., Baldissone, M., García, C. M., Díaz, A., Gonzalez, J., Rodriguez A. y Farias, H.D., 2007.** Modelo de onda difusiva para procesos erosivos a largo plazo. Caso de estudio: Río Cuarto, Córdoba. 3° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.
- Corral, M., Hillman, G., Pagot, M., Moya, G., Baldissone, M., Rodriguez, A., López, F., Hiruela, J., Martínez, R., Díaz, A., González, J., Bazán, G. y H. Muratore, 2005.** Influencia de la extracción de áridos en los Ríos II y IV de Córdoba. En: RIOS 2005: Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos. (H. D. Farias, J. D. Brea y R. Cazeneuve, Eds.). Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina.
- Costa, C.H., Massabie, A.C., Sagripanti, G.L., Brunetto, E. y Coppolecchia, M. 2014.** Neotectónica. En Martino, R.D. y Guerreschi, A.B. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba, Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino, Córdoba.
- Cristofolini, E., 2012.** Evolución petrológica y tectónica del oeste de la sierra de Valle Fértil, San Juan: un estudio sobre las evidencias geológicas de interacción

geodinámica entre el arco magmático Famatiniano y el terreno Cuyania. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), Río Cuarto.

**Dalla Salda, L. 1984.** La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXXIX (1-2): 38-51.

**Dasso, C. M., Piovano, E. L., Pasquini, A. I., Córdoba, F. E., Lecomte, K. L., Guerra, L., & Campodónico, V. A., 2014.** Recursos hídricos superficiales. En Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba (RD Martino, AB Guerreschi, Ed). Asociación Geológica Argentina.

**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., 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., 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.

**Degiovanni, S. y Cantú, M., 1994.** Análisis del Riesgo de erosión de márgenes en un tramo del río Cuarto, Córdoba, Argentina. 15° Congreso Nacional del Agua, Actas (II): 153-162.

**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, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), Río Cuarto.

**Degiovanni, S., Echevarria, K., Andreazzini J. y Doffo, N., 2014.** Los sistemas fluviales del sur de Córdoba: alteraciones históricas, procesos de ajuste y consecuencias ambientales. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: S13, 2 p., Córdoba.

**Degiovanni, S., Origlia, D., Grosso, F., Doffo, N., y Santángelo, A., 2005a.** Erosión de márgenes: análisis de los factores que regulan la evolución de un meandro en la cuenca media del río Cuarto. En Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (eds) Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: 117-128, Río Cuarto.

**Degiovanni, S., Villegas, M. y Ulla, J.P., 2013.** Análisis de la carga de fondo y dinámica de transporte en el río Cuarto, Cba., como base para una minería de áridos sustentable. Revista de la Asociación Geológica Argentina 70 (2): 238-348

**Degiovanni, S., Villegas, M., y Doffo, N., 2000.** Rectificación de meandros: evolución del perfil longitudinal de un tramo del río Chocancharava, prov. Cba. En: Uso y Preservación de los Recursos Hídricos en los Umbrales del siglo XXI, IRHi – FCEyT-UNSE.

- Degiovanni, S., Villegas, M., y Doffo, N., 2005b.** Monitoreo del comportamiento del río Cuarto en un tramo del curso medio sometido a fuerte presión antrópica. En: Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (eds) Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: 105-116, Río Cuarto.
- Doffo, N., Degiovanni, S., Echevarria K. y Andreazzini J. 2016.** Caracterización morfohidrológica del tramo inferior del río Cuarto y los Bañados del Saladillo y determinación de la peligrosidad de inundación de la localidad de La Carlota. Informe técnico (Inédito), Universidad Nacional de Río Cuarto, 150 pp.
- Duncan, W., Warburton, J. y Bracken, L., 2008.** Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. *Geomorphology* 94:131–152.
- Eric C., 1986.** Geología del Cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto. Río Cuarto, Prov. Córdoba. Tesis de Licenciatura. U. N. R. C.
- Fagiano, M., 2007.** Geología y petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, Sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. T. Doctoral. UNRC. 375 pág.
- Gomez, O., 1994.** *Ordenación del Territorio, Una aproximación desde el medio físico. Ed. Agrícola Española. Madrid.*
- González Bonorino, F., 1950.** Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5(3), 81-110.
- Gordillo, C. A. y Bonalumi, A. A., 1987.** Termobarometría de la faja migmática de “La Puerta”, Dto. Cruz del Eje, Pcia. de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42 (3-4): 255-266.
- 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.
- Gordillo, C., 1984.** Migmatitas cordieríticas de la Sierra de Córdoba, condiciones físicas de la migmatización. *Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea* 68, 1-40.
- Gregory, K.J., 2006.** The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79, 172–191.
- Hernandez-Durán, G. H., 2016.** Sistematización de la ordenación territorial de la actividad extractiva de áridos y piedra natural. Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid.
- 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.
- Kondolf, G M., 1997.** Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental management*, 21 (4), 533-551.
- Lütting, G.W., 1979.** Mapas geocientíficos como base para el análisis del medio natural. *Tecniterrae*, 33:59-62.
- Martino R. D., 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. D., 1988.** Geología y petrología del basamento metamórfico de la región situada al norte de Cuchilla Nevada, sierra Grande de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba (inérita).
- Miró, R. C., 1999.** El Basamento Precámbrico-Paleozoico Inferior de las Sierras Pampeanas, Famatina, Cordillera Oriental y Puna. En: Caminos, R. (ed.) Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales: 29(6): 133-135, Buenos Aires.
- Mutti, D., 1997.** La secuencia ofiolítica basal desmembrada de las sierras de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 52: 209- 218.
- Otamendi, J. E., 1995.** Petrología, geoquímica y estructura del basamento Pre-Carbonífero del extremo sur de la Sierra Comechingones, Córdoba-San Luis, Argentina. Tesis Doctoral. Inédita. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Otamendi, J., Castellarini, P., Fagiano, M., Demichelis, A. y A. Tibaldi, 2004.** Cambrian to devonian geologic evolution of the Sierra the Comechingones, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: evidence for the development and exhumation of continental crust on the protoPacific margin of Gondwana. Gondwana Research, 7: 1143- 1155.
- Otamendi, J., Fagiano, M., Nullo, F., y Castellarini, P., 2002.** Geología, petrología y mineralogía del granito Inti Huasi, sur de la sierra de Comechingones, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(4), 389-403.
- Otamendi, J., Fagiano, M., y Nullo, F., 2000.** Geología y evolución metamórfica del Complejo Monte Guazú, sur de la sierra de Comechingones, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(3), 265-279.
- Otamendi, J., Nullo, F., Fagiano, M., y Aragón, E., 1996.** Dos terrenos metamórficos y estructurales en el extremo sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba-San Luis: Algunas implicancias tectónicas. In XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Vol. 2, pp. 249-266).
- Pinotti L., 1998.** El batolito Cerro Áspero, Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sas. Pampeanas: Tesis Doctoral (inérita). UNRC, 203 pp.
- Pinotti L., Coniglio J., Esparza, A., 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.
- Pinotti, L., Coniglio, J., y Llambías, E., 1996.** Características geológico-estructurales del plutón Alpa Corral, 32° 38'–32° 47' S y 64° 55'–64° 45' W, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. In Actas, XIII Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires. Actas (Vol. 3, pp. 477-483).
- Poveda. L., 2014.** Variaciones espaciales y factores de control sobre la hidrodinámica e hidroquímica del acuífero freático asociado al abanico aluvial del río Seco. Depto. de Río Cuarto. Córdoba. Tesis de Licenciatura en Geología. Inédito.
- Ramos, V. A., 1999a.** Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. Geología Argentina. Anales 29 (3): 41-96. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires, Argentina.

- Ramos, V. A., Vujovich, G., Martino, R., & Otamendi, J., 2010.** Pampia: a large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. *Journal of Geodynamics*, 50(3-4), 243-255.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J. y C. Galindo, 1998.** Early evolution of the proto-andean margin of South America. *Geology* 26 (8) 707-710.
- Rapela, C. W., Saavedra, J., Toselli, A. y Pellitero, E., 1996.** El plutonismo fuertemente peraluminoso de las Sierras Pampeanas Orientales. 13º Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 337-354.
- Rinaldi, M., Wyżga B. y Surian, N., 2005.** Sediment mining in alluvial rivers: physical effects and management perspectives. *River Res. Appl.* 21: 805–828.
- Rolleri, E. O., 1976.** Sistema de Santa Bárbara. 6º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 240-255.
- Russo, A., Ferello R. y Chebli, G., 1979.** Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, I: 139-163.
- Sagripanti, G., 2006.** Neotectónica y Peligro sísmico de la región de Sampacho. Dpto. Río Cuarto, Prov. De Córdoba. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.
- Schenk, C. J., 1993.** A regional approach to evaluating aggregate needs. Sidder, GB, Sims, PK. *Industrial minerals-Today and Tomorrow: The raw materials to build the upper Midwest*, 77-90.
- Stelzner, A., 1873.** Comunicaciones al Profesor H. B. Geinitz. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläeontologie*, Ibidem 1873: 726-746, 1873. Traducido por R. Kittl, 1966 en Academia Nacional de Ciencias, Boletín 45:115-150, Buenos Aires.
- Villegas, M., Degiovanni, S. y Ulla, J.P., 2006.** Tipificación del comportamiento del sector sur de la cuenca del río Cuarto a través del análisis de variables morfológicas y sedimentológicas. 3º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas Tomo I: 221-231.
- Villegas, M., Degiovanni, S., Caviglia L. y Palma, Y., 2002.** Monitoreo de sistemas fluviales: evaluación de la presión de la minería de áridos sobre el río Cuarto utilizando Geoindicadores. 19º Congreso Nacional del Agua, 10 p., Carlos Paz.
- Villegas, M., Villalba, G., y Degiovanni, S., 2000.** Parámetros texturales como geoindicadores de la respuesta de sistemas fluviales ante intervenciones antrópicas. 2º Taller sobre Sedimentología y Medio Ambiente, Actas I: 61-62, Buenos Aires.
- Zawiejska, J., Wyżga, B. y Radecki-Pawlik, A., 2015.** Variation in surface bed material along a mountain river modified by gravel extraction and channelization, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *Geomorphology* 231 353–366.