

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
Facultad de Cs. Exactas Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología



Variaciones morfológicas y morfodinámicas del
arroyo El Cano en la última centuria. Causas e
implicancias ambientales



Tesis de Licenciatura

Magnante, Leandro Ezequiel

Director: **Dra. Degiovanni, Susana**

Co-Director: **Dr. Doffo, Nelso**

INDICE

Índice	1
Agradecimientos	4

Capítulo I: INTRODUCCION

I.1. Introducción	5
I.2. Hipótesis	6
I.3. Objetivos	7
I.4. Antecedentes	7
I.5. Ubicación del área	7
I.6. Materiales y métodos	8

Capítulo II: GEOLOGIA REGIONAL

II.1. Estratigrafía	12
II.1.1. Sierras Pampeanas	12
II.1.2. Llanura Chaco-Pampeana	17
II.2. Estructura	19

Capítulo III: GEOLOGÍA LOCAL

III.1. Estratigrafía	21
III.1.1. Precámbrico-Paleozoico inferior	21
III.1.2. Cuaternario	22
III.2. Estructura	29
III.3. Geomorfología	32
III.3.1. Ambiente serrano	33
III.3.2. Faja pedemontana	34
III.3.3. Llanura fluvio-eólica fuertemente ondulada	35
III.3.4. Alto estructural El Cano	37
III.3.5. Alto estructural Mosuc Mayú	37
III.3.5. Ambiente fluvial histórico-actual	37

Capítulo IV: CARACTERIZACION CLIMATICA

IV.1. Características regionales generales	39
IV.2. Precipitaciones	39
IV.2.1. Distribución temporal de precipitaciones	40
IV.2.2. Análisis de curvas cronológicas	41

Capítulo V: HIDROLOGIA SUPERFICIAL

V.1. Hidrografía y características morfométricas generales de la red y la cuenca	44
V.2. Hidrometría	51
V.3. Intervenciones antrópicas en la red de drenaje	54

Capítulo VI: USO DE LA TIERRA

VI.1. Evolución del uso del territorio	57
VI.2. Uso actual del territorio	60
VI.3. Protección del recurso	64

Capítulo VII: ANALISIS MORFOLOGICO Y MORFODINAMICO DE LA CUENCA Y LA FAJA FLUVIAL

VII.1. Evolución de la cuenca de drenaje en la última centuria	67
VII.2. Análisis morfológico y sedimentológico del canal	74
VII.2.1. Caracterización de la carga de fondo	74
VII.2.2. Análisis morfológico del canal	77
VII.2.2.1. Diseño en planta	77
VII.2.2.2. Perfil longitudinal	80
VII.2.2.3. Sección Transversal	84
VII.3. Zonificación final y tendencias de cambio	85

Capítulo VIII: SINTESIS FINAL Y CONCLUSIONES

.....	90
-------	----

Bibliografía	92
Anexo I. Descripción de perfiles sedimentarios	98
Anexo II. Planillas de análisis granulométrico	103
Anexo III. Relaciones de bifurcación y longitud, SEV	115

AGRADECIMIENTOS

- A mis viejos Elena y Roberto y a toda mi familia, Miriam, Adriano, Checho, Lau, Santi, Belu, Agu y Luciano, que me apoyan en todo, me dieron la posibilidad de estudiar y sin ellos no estaría acá.
- A mis abuelos Pancha, Rosario, Pancho y Humberto que construyeron las bases de todo esto.
- A María por su amor puro y apoyo constante que me sostienen día a día, TE AMO.
- A todos los Santinelli, mi familia sustituta en esta travesía, especialmente a Silvia y Roberto por toda su confianza y apoyo.
- A la Universidad Nacional de Río Cuarto por la educación publica y gratuita.
- A Susana Degiovanni por darme el honor de trabajar con ella, por su dedicación y vocación docente, una gran persona.
- A todo el grupo de trabajo, Nelso Doffo, Mónica Villegas y Jimena Andreazzini por las comodidades de trabajo y por estar dispuestos a ayudarme en todo momento.
- A todos los docentes del Departamento de Geología por su excelente calidad humana y vocación docente. Especialmente a Juan Felizzia, Ignacio Baliani, Analía Becher, Lucio Pinotti, Marcelo Fagiano, Guillermo Sagripanti y Osvaldo Campanella que colaboraron en el trabajo y me brindaron parte de su tiempo.
- A la Agrupación de Estudiantes de Geología y a todos mis amigos y compañeros que desde el comienzo compartieron ésta increíble experiencia. En especial a Carlos, Leo, Flaco y Juan por las infinitas alegrías vividas.
- A Javi por el gran aguante en la convivencia y por todos los momentos vividos.
- A La Renga con todo lo que ella implica, un sentimiento.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Fundamentación y presentación del problema

Tal como lo expresa Leopold (1995), en su libro *A view of the river*, "el río es el carpintero de su propio edificio". En efecto, la morfología del canal en sus tres dimensiones: longitudinal, transversal y en planta, es el resultado de la permanente adecuación, mediante mecanismos de ajustes mutuos, de ciertas variables dependientes como ancho, profundidad, gradiente, sinuosidad, entre otras, y a variaciones de la descarga y suministro de sedimentos (variables independientes o de control).

La mayor parte de los sistemas fluviales desarrollados en la llanura loésica del centro y S de la provincia de Córdoba, presentan una importante morfodinámica, en respuesta a los múltiples factores que influyen en su comportamiento. De esta manera, tanto los factores de carácter natural que actúan sobre los cursos desde sus comienzos en tiempos prehistóricos, como los desencadenados por la actividad humana en los últimos siglos, especialmente en las últimas décadas, deben ser evaluados según cada caso particular, obteniendo así una jerarquización que permita interpretar el comportamiento de cada sistema, con el fin de contribuir a la organización del territorio y a la preservación de los recursos naturales de la zona, especialmente los recursos hídricos.

Particularmente, la cuenca del arroyo Tegua, ubicada en el centro-Oeste de la provincia de Córdoba, es muy representativa de esta problemática. La misma tiene aproximadamente 160.000 ha, de las cuales sólo 30.000 ha corresponden al área serrana. Los afluentes más importantes son los arroyos San Francisco-El Cano, que nacen en la vertiente oriental de las Sas. de Comechingones; Mosuc Mayú, Tegua y Barreal que drenan la mayor parte de la depresión intermontana Gigena-La Cruz y, Boca del Sauce y otros menores, que recogen las aguas del faldeo oriental de las Sas de Las Peñas. El arroyo Tegua desagua conducido artificialmente en la laguna de La Negra Muerta, situada al Norte de la localidad de Dalmacio Vélez Sarsfield, y desde allí cambia de nombre (Dalmacio Vélez Sarsfield, Chazón) y recorre una serie de bañados y lagunas típicos de la llanura mal drenada oriental para finalmente descargar sus aguas en los Bañados del Saladillo.

En la mayoría de las subcuencas son notorios los procesos de erosión, tanto en los cauces como en las áreas de interfluvios, y se observa un incremento en la densidad

de drenaje y en la integración de vías de escurrimiento, todo lo cual provoca un marcado aumento de los caudales líquidos y sólidos que llegan a las áreas deprimidas. En reiteradas ocasiones se registraron severos problemas en la rutas nacionales 36 y 158; en ésta última, una de las vías del MERCOSUR, cada vez son más frecuentes los cortes por inundación y sedimentación en proximidades de la localidad de Dalmacio Vélez Sarsfield.

Debido a que la mayor parte de la cuenca es un agrosistema desde fines del siglo XIX, con suelos de alta susceptibilidad a la erosión y una presión de uso agrícola creciente en las últimas décadas, en abril de 2010 se conformó la Asociación de Consorcios de Conservación de Suelos de la cuenca del arroyo Tegua, que incluye a siete consorcios; Dalmacio Vélez Sarsfield, General Deheza, Las Perdices, Elena, Los Mil Lagos, Tegua Arriba y Las Isletillas. Esta asociación, articulada por el ingeniero Eugenio Fernández, Director de Conservación de Suelos y Manejo de Aguas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la provincia de Córdoba; tiene como objetivo desarrollar un adecuado manejo de uso del suelo y actuar en forma nucleada frente a la gestión de fondos para obras públicas en recursos hídricos. Teniendo en cuenta esto, urge poner en práctica propuestas de ordenamiento integral con mayores conocimientos técnicos que permitan mitigar la actual situación, analizando su evolución en las últimas décadas y anticipando posibles escenarios futuros.

Este trabajo centrará los estudios en la subcuenca del arroyo El Cano, uno de los afluentes principales de la cuenca del arroyo Tegua, con el propósito de avanzar en el conocimiento morfodinámico y morfoevolutivo del mismo. Este curso posee una marcada torrencialidad e inestabilidad en el sector extraserrano y, a pesar de su régimen temporario, es responsable del aporte de altos volúmenes de agua y sedimentos areno-gravosos a la cuenca del arroyo Tegua.

I.2. Hipótesis

1- Las redes de drenaje de la región están en diferentes etapas de un proceso de rejuvenecimiento (reactivación) y por lo tanto son potencialmente inestables.

2- La reactivación de los sistemas fluviales se vincula a causas tectónicas, climáticas y antrópicas, que operan en espacios y tiempos diferentes.

3- La caracterización del estado actual del sistema fluvial permite definir tendencias de cambios ambientales.

I.3. Objetivos

1) Efectuar un análisis morfodinámico y morfoevolutivo de la cuenca del arroyo El Cano determinando la incidencia de los distintos factores de control y la ocurrencia espacio-temporal de los procesos de ajuste.

2) Zonificar al canal según sus tendencias morfodinámicas con el propósito de realizar una prognosis ambiental.

I.4. Antecedentes

Los cursos de agua poseen alta sensibilidad frente a cambios ambientales, siendo numerosos los trabajos sobre dinámica fluvial que atestiguan diferentes comportamientos, modos y tiempos de respuesta, ante perturbaciones en las variables de control (Schumm, 1969; Downs y Gregory, 1993; Gregory, 2006; Macklin y Lewin, 2008). Utilizando esta base conceptual diversos autores (Sear y Newson, 2003 y Schmitt et al., 2007), proponen metodologías para estandarizar, tipificar y zonificar, a escala regional, el comportamiento de distintos sistemas fluviales. En Argentina, aún no existen trabajos de estas características, pero son numerosas y muy valiosas las contribuciones de distinta índole efectuadas sobre diferentes aspectos de los sistemas fluviales (Repossini, 1912; Soldano, 1947; Mazza, 1962; Giraut y Ludueña, 2002; Ramonell y Montagnini, 2000; Amsler et al., 2005; Ramonell y Amsler, 2001; entre otros). A nivel regional se destacan los trabajos de Blarasin et al. (1994 y 2005), Cantero et al. (1998), Degiovanni et al. (2004) y, a escala local, Degiovanni et al. (2007), Degiovanni y Doffo (2005), Degiovanni (2008), Doffo (2007), Degiovanni et al. (2009 y 2010); Doffo et al. (2010), entre otros. Además, merecen destacarse aquellos trabajos que no abordan específicamente la temática a tratar, pero que contribuyeron a las bases del conocimiento geológico de la zona como por ejemplo, Cantú y Degiovanni (1997); Cantú (1992); Fagiano (2007); entre otros.

I.5. Ubicación del área

El arroyo El Cano drena la vertiente oriental de las Sas de Comechingones y valle de La Cruz- Gigena, Dpto Río Cuarto, Córdoba. Su cuenca tiene un área de 351,7 km² y se sitúa entre los 32° 32' y 32° 42' de Latitud Sur y los 64° 15' y 64° 45' de Longitud Oeste. Se accede, desde el Este, por la ruta provincial N° 36, o bien desde el Oeste por la ruta provincial N° 23 que recorre el faldeo serrano. (Fig. I.1.).

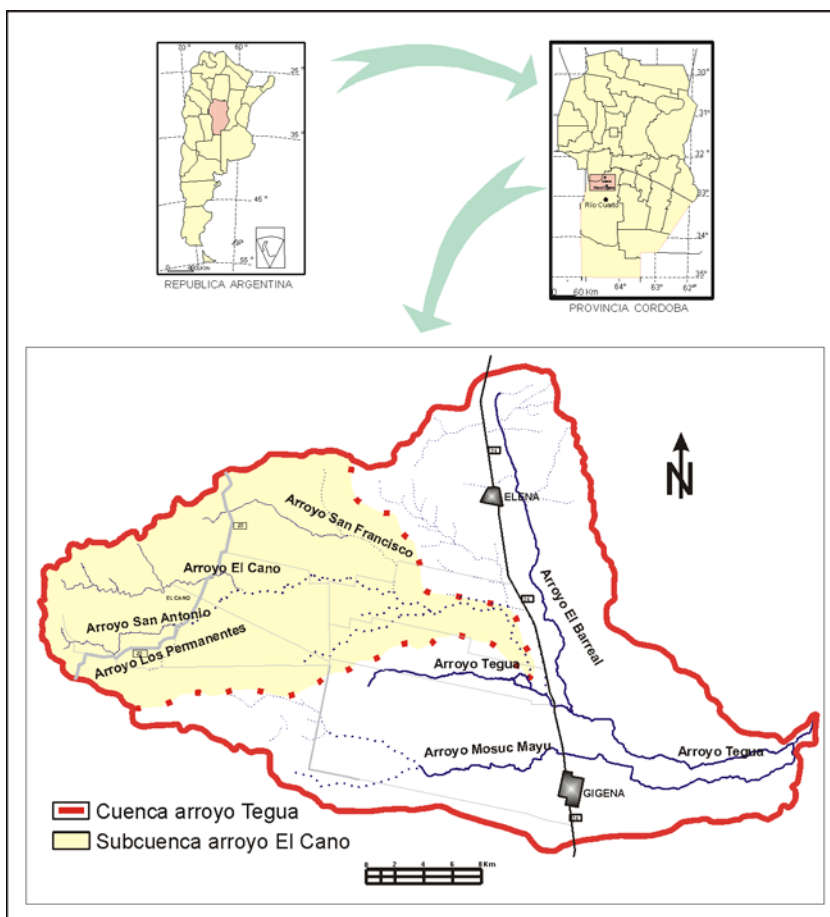


Figura I.1.: Ubicación del área de estudio

I.6. Materiales y métodos

La metodología adoptada se basa fundamentalmente en una exhaustiva recopilación de antecedentes bibliográficos, cartográficos y de registros, para obtener la evolución histórica de diferentes aspectos de la cuenca (red de drenaje, uso del territorio, etc); mapeo geológico-geomorfológico e hidrográfico y trabajo de campo de carácter intensivo en secciones seleccionadas, donde se obtuvo información litológica-estratigráfica, hidrológica (caudal, velocidad), morfológica (ancho, profundidad, diseño de canal, erosión - sedimentación) y sedimentológica (carga de fondo y en suspensión), siguiendo metodologías propias de estas disciplinas tal como se explicita en Ramonell y Amsler (2002); Degiovanni 2008; Degiovanni et. al. (2004) y Doffo, (2007); y finalmente integración de toda esta información para alcanzar los objetivos propuestos.

Se comenzó con una etapa de gabinete inicial analizando hojas topográficas del IGM del año 1998, a escala 1:50.000; fotografías aéreas de escala 1:20.000 y 1:60.000 correspondientes a los años 1970 y 1989, respectivamente; e imágenes satelitales del censor C_BERS-HRC 2008 (IMPE) y del software Google Earth (año 2003).

A partir de los materiales cartográficos mencionados, y teniendo en cuenta los antecedentes geológicos-geomorfológicos del área de estudio, se procedió a la elaboración preliminar de los mapas geológico, geomorfológico e hidrológico superficial, mediante la aplicación de los programas de diseño asistido Autocad 2004 y Corel Draw 11. Además en esta etapa se seleccionaron sitios de control representativos.

El tratamiento de la hidrografía se complementó con información morfológica (diseño de la red de drenaje y del canal principal), y morfométrica (número de orden, área drenada, densidad de drenaje de la cuenca principal y distintas subcuencas). Se establecieron 16 estaciones de aforo, en los cursos principales de la cuenca.

En la **etapa de campo** se priorizó, en las campañas iniciales, el ajuste de los límites de las unidades geomorfológicas, la obtención de información litológica y mediante la descripción de perfiles sedimentarios en barrancas de arroyos, cárcavas y cortes de camino con el objetivo de definir la estratigrafía del área y correlacionarla con los antecedentes. Además se relevó el uso actual del territorio con el fin de confeccionar el mapa correspondiente y se inventariaron en particular las intervenciones que afectan directamente a los escurrimientos superficiales (obras en cursos, cárcavas etc.).

Se efectuaron aforos en la red hidrométrica definida, mediante el método de la sección media compensada, utilizando el micromolineté OIT N° 4. Simultáneamente se recolectaron muestras de agua para el posterior análisis de la carga en suspensión y solución.

En las estaciones previamente seleccionadas, se realizó el muestreo del material de lecho de los distintos arroyos para caracterizar la carga de fondo de los mismos, se midieron perfiles transversales del canal y de la faja fluvial; se relevaron secciones de crecidas históricas, sitios de erosión lateral, de desbordes, de sedimentación, etc.

Paralelamente, se efectuaron encuestas a pobladores sobre características/comportamientos de los cursos y condiciones actuales y pasadas del área de estudio en general, con el propósito de analizar e integrar la información recaudada para descifrar eventuales cambios morfológicos/morfodinámicos ocurridos en la última centuria. Además se recolectó información climática, específicamente datos pluviométricos facilitados por la estación meteorológica Las Guindas de la U.N.R.C. (serie 2001-2007) y por el señor Eduardo Baranosky (serie 1989-2009).

En la **etapa de laboratorio**, se calcularon los sólidos disueltos totales, por el método de comparación peso húmedo/peso seco de un volumen de agua conocido. Al valor obtenido se le restan las sales disueltas totales. Se colocaron las muestras en vasos de precipitado de 500 cm³, a las cuales se le determinaron valores de conductividad y sales disueltas totales con conductímetro HANNA-HI 8033 para, posteriormente, ser evaporadas en estufa a 100° C y el pesado se efectuó en balanza de alta precisión.

Se tamizaron las muestras de material de lecho utilizando los tamices número 5, 10, 18, 35, 60, 120 y 230, para su posterior tratamiento estadístico.

En una **segunda etapa de gabinete** se obtuvo la cartografía de base definitiva: mapas geológico-geomorfológico, hidrológico superficial y de uso de suelo y se analizaron los perfiles sedimentológicos definiendo así la estratigrafía general del área.

Con la información pluviométrica seriada mensual de la serie más larga de la cuenca (1989-2009) se realizó el tratamiento estadístico (con el software Microsoft Excel 2003). Posteriormente se procedió a la interpretación de los datos pluviométricos obteniéndose los totales anuales de lluvia y las medias mensuales, para elaborar los diagramas de distribución. Se construyeron las curvas cronológicas anuales y se trazó la línea de promedios móviles para establecer tendencias y definir ciclos secos y húmedos.

Se describió un perfil sedimentológico de muestras de cutting proveniente de una perforación de captación de agua subterránea de 150 m de profundidad, gentileza Lic. J. Felizzia.

Por otra parte, se efectuó un análisis temporal comparativo de la red de drenaje, observando variaciones morfométricas (longitud y diseño en planta) y morfodinámicas (áreas de desbordes, erosión, sedimentación y distribución en la cuenca en general), utilizando los elementos cartográficos de base mencionados y mapas antiguos de Brackebuch (1883), Ríos y Achaval (1906), Catastro de la provincia de Córdoba (1938) y Martín de Moussy (1865).

Se efectuó el análisis tridimensional del canal para lo cual se determinó la sinuosidad en tres momentos diferentes (1970, 1989 y 2008); la relación ancho/profundidad de secciones transversales representativas de distintas posiciones en la cuenca y el gradiente del colector principal. Se analizaron las variaciones espaciales de

estos indicadores morfodinámicos. La metodología específica se expondrá en el capítulo correspondiente.

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).

Integrando toda la información sedimentológica, morfológica y morfodinámicas, se procedió a la zonificación del colector principal según su tendencia evolutiva para las próximas décadas.

Finalmente se efectuaron algunas interpretaciones en relación a las variables que mejor explican las variaciones en el comportamiento de esta cuenca, y se propuso una secuencia evolutiva para la misma, considerando aspectos geológicos/geomorfológicos, climáticos y de uso del territorio.

II. GEOLOGIA REGIONAL

II.1. Estratigrafía

El área de estudio comprende dos Provincias Geológicas: Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana. De la primera, involucra un sector del faldeo oriental de las Sierras de Comechingones, parte integrante de las Sierras Grandes de Córdoba y, de la segunda, el valle intermontano La Cruz-Gigena, sector occidental de la llanura cordobesa.

II.1.1. Sierras Pampeanas

Las Sierras Pampeanas se sitúan en la porción sur de la placa sudamericana y limitan al Norte con la Cordillera Oriental y la Puna, al Este y al Sur con la Llanura Chaco-Pampeana y al Oeste con la Precordillera. Están formadas por cordones montañosos de orientación submeridiana de aproximadamente 500 Km de largo y 200 Km de ancho, integrados en su mayor parte por un basamento cristalino de edad Precámbrica a Paleozoica inferior cubierto parcialmente por sedimentitas de edades Carbonífera, Pérmica, Triásica, Cretácica, Terciaria y Cuaternaria.

Numerosos autores han trabajado sobre distintos aspectos geológicos de las Sierras Pampeanas. Toselli et al. (1992), basados en la propuesta de Caminos (1979), distinguieron dos cinturones metamórficos: uno *occidental* con metamorfismo de presión media y otro *oriental* de presión baja que incluye los principales batolitos graníticos. Además describieron las direcciones regionales principales de los dominios estructurales D₁, D₂ y D₃ (Dalla Salda, 1987), ordenados cronológicamente y plantearon una evolución tectónica en tres estadios principales. El dominio D₁ se caracteriza por estructuras de dirección oeste-sudoeste y consiste en un fuerte plegamiento con inclinación de ejes entre 30° y 60° y variada inclinación de planos axiales, se trata de un *episodio tectono-térmico inicial* del cual sólo persisten relictos en las Sierras de Córdoba. El dominio D₂ pertenece a la *Primera Fase del Ciclo de Actividad del Cinturón Móvil (Ciclo Tectónico Pampeano)*, posee orientación nor-noroeste de pliegues y estructuras planares de tipo y estilo variable, y fue asignado por Dalla Salda (1984 y 1987) al Proterozoico superior-Paleozoico inferior. Finalmente el dominio D₃, *Segunda Fase del Ciclo de actividad del cinturón móvil (Ciclo Tectónico Famatiniano)*, es el de mayor frecuencia estadística, con orientaciones nor-noroeste basadas en las disposiciones de planos normales y ejes de plegamientos. Su edad se asigna al Cambro-Ordovícico. Posteriormente en el marco de

una fase distensiva relacionada a un proceso poscolisional (Ramos, 1999), se habría producido el magmatismo eocarbónico. Al final de este ciclo se alcanza la rigidificación del basamento.

Hasta el Cretácico no se registraron eventos tectónicos importantes considerándose que la región actuó como un área positiva (Gordillo y Lencinas, 1979). La tectónica distensiva del Mesozoico, vinculada a la apertura del Atlántico, generó procesos de *rifting*, provocando inversiones en algunas estructuras mayores y la conformación de cuencas continentales de orientación meridional, donde se depositaron secuencias clásticas que intercalan con vulcanitas traquibasálticas.

La Orogenia Andina reinstala un ambiente compresivo, las sierras alcanzan su conformación actual a través de la reactivación de viejas fracturas y generación de otras. La historia del levantamiento andino ha sido referida generalmente a tres fases de movimientos, a partir del Oligoceno-Mioceno hasta el Plioceno-Pleistoceno (Fase Principal; Criado Roqué, et al., 1981).

Debe destacarse que toda la región presenta numerosas evidencias de neotectonismo que se manifiesta en cabalgamientos de bloques de basamento sobre materiales cenozoicos (cuaternarios), fallamiento de secuencias de abanicos aluviales pleistocenos, alteraciones en la red de drenaje y eventos sísmicos de variada intensidad, (Mingorance, 1988; Sagripanti et al., 1998; Sagripanti, 2006; Costa et al., 1999, entre otros).

Las **Sierras de Córdoba** forman parte de Sas. Pampeanas Orientales y están compuestas por tres grandes unidades orográficas: las Sas. Norte, Chica y Grande. En estos cordones montañosos aflora principalmente un basamento plutónico-metamórfico de grano grueso (gneises y migmatitas) de edad *Precámbrica* (Gordillo, 1979, 1984), intruído en el *Paleozoico* por batolitos graníticos como Cerro Aspero y Achala, entre otros (Lira y Kirschbaum, 1990; Rapela et al., 1991 a y b). El gneis tonalítico-biotítico, es la metamorfita más típica y abundante. Son rocas de colores grises, claro u oscuro según el contenido de biotita, grano medio a grueso, textura granoblástica (raramente porfiroblástica) y esquistosidad discontinua o irregular (Gordillo, 1979). En gran parte del área metamórfica se destaca, la alternancia de mármoles y anfibolitas con cuarcitas y esquistos micáceos (Gordillo, 1979).

Según Gordillo y Lencinas (1979), los procesos anatéticos hicieron desaparecer progresivamente las estructuras paralelas del gneis común, movilizándose la fracción cuarzo-feldespática originando rocas migmatíticas. Villar (1975) describe una faja ultrabásica que recorre el basamento con una dirección NNO-SSE definida para la zona central de la sierra de Córdoba desde Atos Pampa en el Norte hasta Los Permantentes en el Sur.

Conforme al estilo tectónico general, numerosos autores (Fagiano, 2007; Otamendi et al., 2004; Martino et al., 1995; entre otros) reconocen tres estructuras principales: la foliación metamórfica S_1 de carácter relíctico desarrollado en condiciones de grado medio representado en gneises, esquistos y anfibolitas; la foliación metamórfica regional S_2 es la estructura de mayor desarrollo en el basamento cristalino, equiparable con el dominio D_2 (Dalla Salda, 1984) y la foliación milonítica S_3 que oblitera a la S_2 y tiene orientación $N20^\circ$ a $N320^\circ$, en parte coincidente con el dominio D_3 de Dalla Salda (1984).

Las formaciones *Neopaleozoicas* del Sur y Oeste las Sierras de Córdoba constituyen relictos aislados de escasa significación areal y reducido espesor que representarían bordes de cuencas de depósitos más potentes, que yacen a profundidad en la cuenca Saliniana y su continuación al Sur. Los depósitos están constituidos por areniscas cuarcíticas asignadas al Carbónico-Pérmico (Formación Los Ranqueles, Hünicken y Pensa, 1980) aflorantes en los cerros cercanos a la localidad de Sampacho; secuencias lutíticas y limolíticas carbónicas expuestas en el borde occidental de Sierra de Pocho (Formación Chancaní, Hünicken y Pensa, 1980) y conglomerados polimícticos con intercalaciones de psammitas portadoras de fósiles de agua dulce del Pérmico inferior (Formación Tasa Cuna, Hünicken y Pensa, 1980) aflorantes en el Noroeste provincial.

Durante el *Triásico* y el *Jurásico* toda la región de las Sierras Pampeanas se mantuvo positiva, por lo que no hay depósitos sedimentarios.

Vinculado a la apertura del Océano Atlántico se desarrollaron, a comienzos del *Cretácico*, cuencas intra e intermontanas, donde se depositaron conglomerados inmaduros, carentes de fósiles, asociados frecuentemente a vulcanitas de intraplaca, que apoyan discordantemente sobre el basamento cristalino. Estas secuencias se observan como una faja casi continua que marginan el borde oriental de la Sierra Chica (Sa de Los Cóndores, Río Segundo, Pungo), con suave basculamiento al Este continuándose bajo la llanura oriental cubiertos por las secuencias cenozoicas (Gordillo y Lencinas, 1979).

Las formaciones cenozoicas del área serrana pueden agruparse en depósitos continentales detríticos, vulcanitas y depósitos piroclásticos (Gordillo y Lencinas, 1979). Depósitos detríticos continentales pertenecientes al *Terciario* aparecen en el área serrana y en sus bordes, en general cubiertos por detritos pleistocénicos. Apoyan discordantemente sobre el basamento cristalino y, en casos puntuales sobre los estratos rojos cretácicos. Secuencias lávicas y piroclásticas terciarias afloran en las sierras y pampa de Pocho.

Específicamente en las **Sas de Comechingones**, como puede observarse (Fig. II.1.), domina un entorno metamórfico de gneises, esquistos y migmatitas, intruído por el batolito Cerro Aspero y deformado por la faja de cizalla Guacha Corral.

El Complejo Monte Guazú, se reconoce como la unidad litoestratigráfica de mayor distribución areal, compuesto principalmente por rocas cataclásticas y metamórficas que derivan de dos grandes grupos de protolitos, el primero comprende sedimentos silíceo clásticos y el segundo es de rocas ígneas máficas, intermedias y félsicas (Otamendi *et al.*, 2000).

Las litologías dominantes se pueden diferenciar en cuatro campos; 1) en el extremo norte afloran rocas con asociaciones de $Bt \pm Sill \pm Grt$ y frecuentemente aparecen con algún grado de milonitización, 2) en la sección NO y al E de la faja de cizalla Las Lajas dominan los cuerpos de protogneises, 3) el E-SE de la faja de cizalla Las Lajas el dominio es casi exclusivo de gneises tonalíticos biotíticos y 4) intercaladas se encuentran las anfibolitas (Otamendi *et al.*, 1996; 2000).

El Complejo Calamuchita se extiende desde los alrededores del río Santa Rosa, al SE del batolito de Achala, hasta la localidad de Río de los Sauces. El complejo está

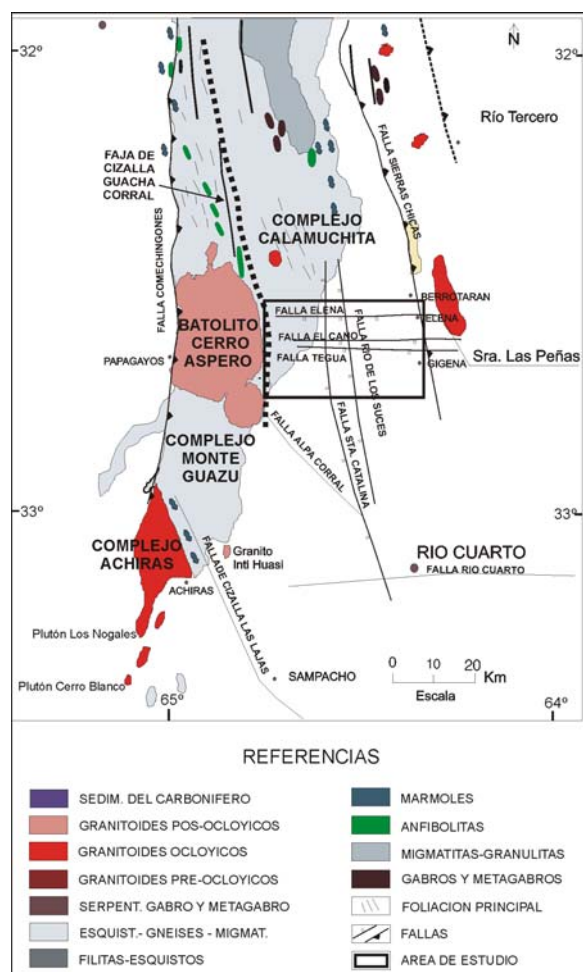


Figura II.1.: Mapa geológico de las Sierras de Comechingones modificado de Pinotti (1998).

caracterizado por una secuencia metasedimentaria constituida por gneises, migmatitas estromatíticas, diatexitas, granulitas, leucogranitos peraluminosos, mármoles, gneises calcosilicáticos, ortoanfibolitas y peridotitas. En todo el basamento queda definido un metamorfismo en condiciones de alto grado, con un pico metamórfico con anatexis de rocas pelíticas y grauváquicas (Otamendi *et al.*, 2004).

El Complejo Achiras, está ubicado en el sector suroccidental de la Sierras de Comechingones, está formado por dos asociaciones importantes: rocas metamórficas derivadas de metagrauvas y granitos muy peraluminosos derivados de la fusión parcial de las rocas sedimentarias (Metamorfitas-Anatexitas India Muerta); y granitoides homogéneos de extensión kilométrica y composición félsica moderadamente peraluminosa (Granitoides tipo Los Nogales), (Otamendi, 1995).

La faja de cizalla Guacha Corral, es una de las más extensas de las Sierras de Córdoba, tiene un ancho promedio de 20 km y se extiende por mas de 120 km desde el batolito de Achala, en el norte, hasta la culminación de las Sas de Comechingones al Sur (Pinotti, 1998; Pinotti *et al.*, 2002). Todos los trabajos previos determinaron rocas protomiloníticas, miloníticas y ultramilonitas subordinadas, mostrando una cinemática inversa predominante, con vergencia hacia el Oeste, y la relación al evento contraccional oclóyico ocurrido al final del ciclo Famatiniano.

La faja de cizalla Las Lajas, de carácter inverso, en las Sierras de Comechingones pone en contacto dos terrenos metamórficos diferentes y, al ingresar a la llanura controla gran parte del curso del arroyo del Gato. Ha tenido actividad neógena y es considerada sismogeneradora (Sagripanti *et al.*, 1998).

El batolito Cerro Aspero constituye el complejo granítico más importante de las Sas de Comechingones con un área aflorante de 440 km², edad Devónica media a tardía y una composición de unidades internas que varían desde monzograníticas biotíticas hasta leucograníticas (Pinotti *et al.*, 2002).

Cabe destacar el plutón gabronorítico del Cerro San Lorenzo que es el cuerpo básico más importante de este sector serrano y se encuentra en el faldeo nororiental de la sierra de Comechingones (Gordillo y Lencinas, 1979).

II.1. 2. Llanura Chaco-Pampeana

Esta macrounidad coincide con una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde se han acumulado espesas series sedimentarias continentales y marinas desde el Cambro-Ordovícico hasta la actualidad. El espesor de la sucesión sedimentaria no es uniforme, sino que se reconocen diferentes cuencas separadas entre sí por altos y dorsales, aunque probablemente para los términos más antiguos el área se haya comportado como una única zona negativa (Russo et al., 1979). Las unidades aflorantes son Cenozoicas, especialmente secuencias Cuaternarias del Pleistoceno superior-Holoceno.

Para la región Sur de la provincia de Córdoba, Cantú (1992), reconoció las siguientes unidades estratigráficas cuaternarias: Formación Alpa Corral, Formación Pampeano, Geosuelo Estancia El Cerrito, Formación Chocancharava, Formación La Invernada, Geosuelo las Tapias, Formación Las Lajas y Formación Laguna Oscura.

Formación Alpa Corral: Está constituida por arenas finas con gravas dispersas, y gravas finas y gruesas intercaladas con arena media y gruesa, con estructuras en artesa. Son facies de canal de un ciclo fluvial de alta energía y sus sedimentos más antiguos afloran en el cono aluvial del río Alpa Corral. Una edad probable para esta formación sería Plio-Pleistoceno.

Formación Pampeano: Constituida por dos miembros, el primero de ellos está compuesto por un limo eólico, tipo loésico y se presenta en bancos continuos tabulares y bancos con estructura discontinua y nódulos (muñecas de tosca) de distintos tamaños sin orientación preferencial. El otro miembro, se caracteriza por una granulometría algo más gruesa con carbonatos dispersos, color pardo rojizo sin calcretos, nódulos y bochones con cementación de hierro y sílice. Su edad relativa sería Pleistoceno medio a Pleistoceno superior.

Geosuelo Estancia El Cerrito: Se trata de un paleosuelo muy evolucionado integrado por dos horizontes, Bt y Bc, relícticos y discontinuos, desarrollados en los sedimentos de la Formación Pampeano. En base a estudios paleoclimáticos se postula la edad Pleistoceno superior.

Formación Chocancharava: Aflora en cárcavas y barrancas de casi todos los ríos y arroyos del SO de la provincia, incluye sedimentos de un importante ciclo fluvial que

constituyen en varios puntos la base de las sucesiones cuaternarias. Está constituida por depósitos fluviales de alta energía en los que se identificaron dos facies clásticas, una se caracteriza por disponerse en secuencias puras de materiales de origen ígneo-metamórfico y la otra por predominio de material pampeano, también se identifican depósitos de llanura de inundación relacionados lateralmente a los anteriores cuya litología involucra los dos orígenes. Además se reconocen facies de canales entrelazados, flujos de barro y depósitos lagunares. Apoya en contacto erosivo sobre la Formación Pampeano y la edad asignada es Pleistoceno Superior.

Formación La Invernada: Es un manto loésico de distribución regional que cubre discordantemente a la Formación Chocancharava y/o Formación Pampeano. Su granulometría es limosa a limo-arenosa y carece de estructuras deposicionales, hacia el techo se observan canales de erosión de tipo efímero, con relleno generalmente limoso-arcilloso y estructura laminar planar muy fina o bien secuencias más potentes compuestas por una facies gravosa, lenticular con estratificación cruzada. Estos materiales fueron depositados entre el Pleistoceno superior y el Holoceno bajo.

Geosuelo Las Tapias: Es una unidad edafoestratigráfica del orden Molisol desarrollada en los depósitos eólicos de la Formación La Invernada. En este suelo se identifican distintos grandes grupos y tiene una amplia distribución en la llanura y en las pampas serranas. Se habría desarrollado entre los 9500 y los 4000 a.A.P., Holoceno.

Formación Arroyo Las Lajas: Está representada por sedimentos pertenecientes a un ciclo fluvial de menor magnitud y está constituida por canales de fondo plano y paredes verticales rellenos por facies coluviales y aluviales. Las facies coluviales son deslizamientos y caídas de geosuelos que incluyen partes de horizontes superficiales en una masa limo-arenosa sin estructura sedimentaria. Los sedimentos aluviales aglomerados de grandes rodados del pampeano y rodados menores de geosuelos infrayacen bajo sucesiones laminadas granodecrescentes de materiales gravosos del basamento cristalino junto con rodados de tosca. Por lo general el relleno remata con una secuencia tractiva-suspensiva con abundantes marcas y bioturbaciones especialmente de artrópodos y restos vegetales. Normalmente se encuentran altas concentraciones de carbonatos en estas láminas. Estos depósitos corresponderían al Holoceno medio.

Formación Laguna Oscura: Se compone de una cubierta eólica arenosa, dominando las arenas finas y muy finas con muy bajos porcentajes de arcilla, con

estructura cruzada planar. Morfológicamente constituyen dunas longitudinales y parabólicas, su edad sería Holoceno superior-actualidad.

Específicamente en la Depresión La Cruz-Gigena, localizada entre las Sierras de Comechingones (Sas Grandes) y de Las Peñas (Sas Chicas), estas unidades estratigráficas fueron reconocidas por Rabia (1984); Orozco (1992), Cantú y Degiovanni (1997) entre otros, constituyendo afloramientos en las zonas intermontanas y pedemontanas, donde se disponen discordantemente sobre basamento cristalino, y en márgenes de cursos y caminos en toda la depresión central.

II.2. Estructura

Las principales estructuras de la región ya fueron mapeadas y descritas por Pinotti, (1998), Sagripanti, (1998), en la Hoja Geológica 3363-III, entre otros (Fig. II.1.), y pueden ser agrupadas en familias según su rumbo:

Sistema meridiano a submeridiano (N-S): constituye el sistema más importante, ya que durante la orogenia ándica ha definido los grandes bloques diferencialmente ascendidos y basculados característicos de las Sierras y Llanura Pampeana. En general, varias de ellas muestran inversión tectónica (distensiva-compresiva) y controlan la red de drenaje. Entre ellas merecen citarse las fallas de Comechingones, Guacha Corral (pertenece a este sistema sólo en el área de estudio), Río de Los Sauces, Sierra Chica y Santa Catalina, entre otras.

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

Sistema NO-SE: Este sistema está muy bien representado en el extremo sur de las Sas de Comechingones y en las planicies occidentales. Estructuras con esta dirección provocan el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en este sector (Achiras, La Cruz, Cortaderas, Chaján, entre otros). Se destaca la falla: Alpa Corral, por controlar al río homónimo (Degiovanni y Cantú, 1982).

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

III. GEOLOGIA LOCAL

Como se indicara precedentemente, el arroyo El Cano desarrolla su cuenca alta en el borde oriental de las Sas. de Comechingones donde afloran rocas metamórficas pertenecientes a los complejos Calamuchita y Monte Guazú, afectados en el sector occidental por la faja de cizalla Guacha Corral. Las secuencias cuaternarias caracterizan su cuenca media y baja, y muy subordinadamente constituyen el relleno de algunos valles serranos.

III.1. Estratigrafía

III.1.1. Precámbrico-Paleozoico inferior

Las rocas correspondientes a estas edades se encuentran presentes en la zona serrana y en algunos sectores pedemontanos del área de estudio. Corresponden a una zona de transición entre el Complejo Monte Guazú (Foto III.1.) al Sur y el Complejo Calamuchita al Norte. La Faja de Cizalla Guacha Corral (FCGC) afecta a ambos complejos en el límite O del área y esta influencia disminuye gradualmente hacia el E.

El Complejo Monte Guazú aflora en el O y SO de la cuenca, se trata de migmatitas y esquistos milonitizados con rumbo NO-SE, buzantes hacia el E (Foto III.2. y III.3.) y están cubiertos en los ejes de los valles por depósitos cuaternarios de hasta 4 m de espesor y en algunos interfluvios por calcretos.



Foto III.1.: Rocas migmatíticas del Complejo Monte Guazú donde se observa el alto grado de buzamiento.



Foto III.2.: Esquistos del Complejo Monte Guazú afectados por la FCGC.

El Complejo Calamuchita está representado por afloramientos aislados de mármoles intercalados con ortoanfibolitas y domina en el sector NO de la cuenca

afectado por la faja de cizalla Guacha Corral.



Foto III.3.: Rocas migmáticas del Complejo Monte Guazú aflorando en el sector pedemontano del arroyo San Francisco.

III.1.2. Cuaternario

Para caracterizar el Cuaternario del área se describieron 7 perfiles sedimentológicos situados en distintas posiciones de la cuenca. La localización de los mismos se presenta en el mapa geológico-geomorfológico de la Fig. III.1. y su descripción en el Anexo I.

Para la asignación de unidades estratigráficas se utilizan los trabajos de Cantú (1992) y Orozco (1998). En algunos perfiles se reconoce gran parte de las unidades formacionales descritas por estos autores, como ocurre en los perfiles P1 y P2 que se exhiben en las Fotos III.4. y III.5. respectivamente. A su vez en el perfil de perforación (PP) se observa una secuencia profunda y se comprueba la ausencia de basamento cristalino al menos hasta 150 m de profundidad en ese sector de la cuenca (Fig. III.1. y Anexo III). Por otro lado los SEV (sondeos eléctricos verticales, gentileza del Lic. Juan Felizzia) muestran la baja profundidad a la que se encuentra el basamento en la zona pedemontana cuenca (Fig. III.1. y Anexo III).

A continuación se describen las principales unidades estratigráficas reconocidas.

Formación Pampeano

En general los afloramientos de esta formación tienen entre 2 y 3 m de espesor y

se asocian al proceso de incisión fluvial en distintos sectores del curso principal y sus afluentes en cuenca media y baja, conformando en varios sitios márgenes y fondo de canal (Foto III.6.).

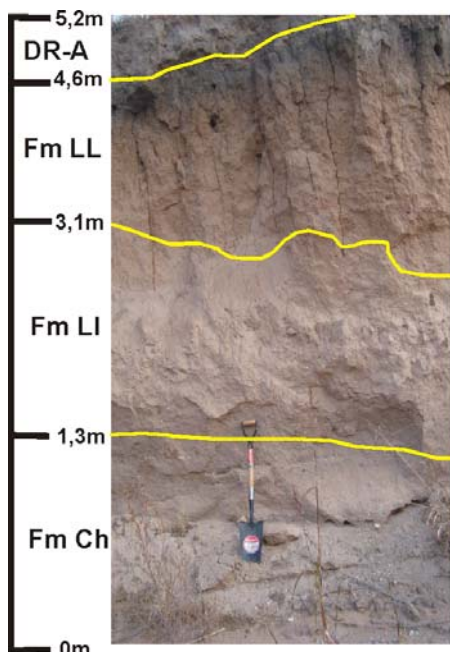


Foto III.4.: Perfil 1 (P1).

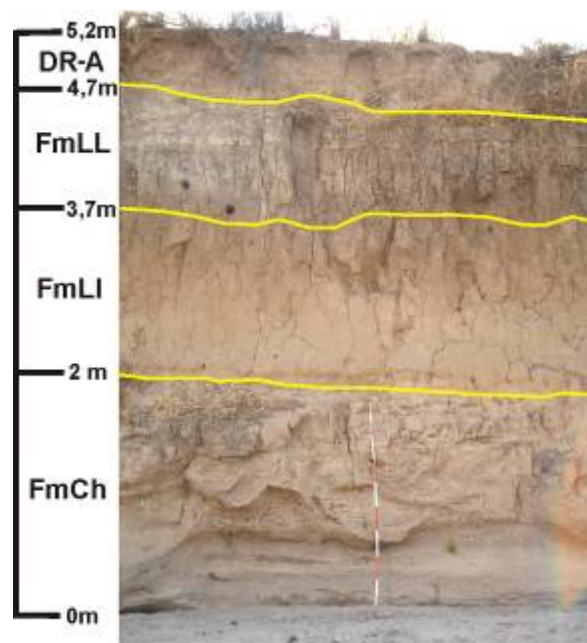


Foto III.5.: Perfil 2 (P2).

Particularmente, en la zona de confluencia entre los arroyos Tegua y El Cano, se expone como depósitos limo-arcillosos rojizos con gravillas dispersas y cierta laminación, propia de ambientes de llanura de inundación (P3A), que lateralmente se correlacionan con facies de mayor energía y desarrollo de artesas correspondientes a canales, (P3B y Foto III.7.). Facies similares a estas últimas se identifican en la salida extraserrana-zona pedemontana de los arroyos San Antonio y Los Permanentes (P4 y Foto III.8.). En este último sitio los depósitos presentan alto grado de cementación, paleogrietas de desecación y se apoyan discordantemente sobre basamento cristalino. Además en este afloramiento se halló un resto de cráneo fósil correspondiente a la familia Dasypodidae, género *Estatus* (gentileza de la Lic. en Biología Laura Cruz, Museo de La Plata), perteneciente a la fauna mamalífera Lujanense – Ensenadense (Foto III.9.). Generalmente, la Fm Pampeano está cubierta por las formaciones Chocancharava, La Invernada o depósitos recientes-actuales.

Formación Chocancharava

Es una unidad estratigráfica con dominio de secuencias fluviales y se expone en la base de algunas de las cárcavas y cursos principales de la cuenca media y baja del arroyo El Cano. En los perfiles P1, P2 y P5 se asignan a esta formación depósitos

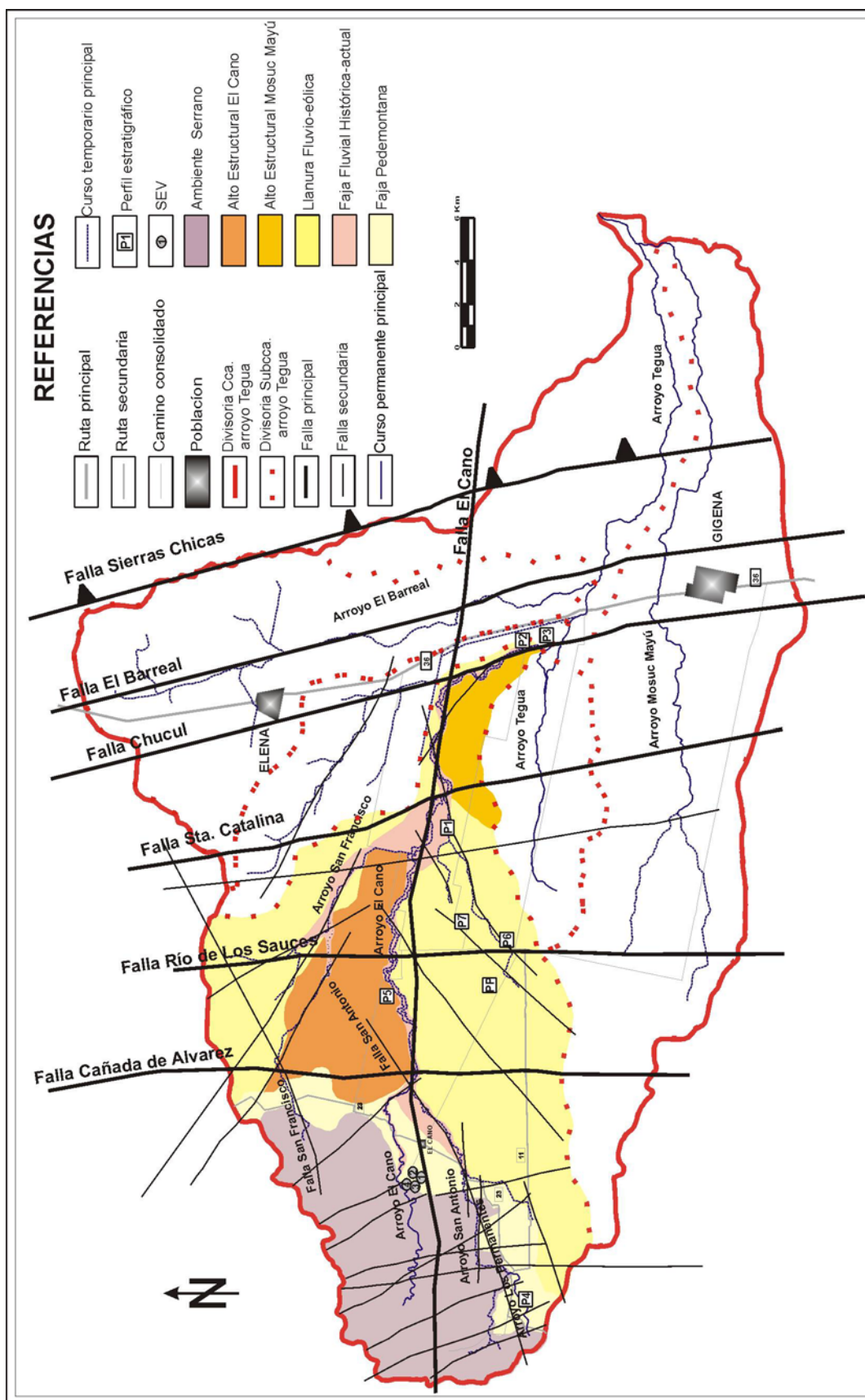


Figura III.1.: Mapa geológico-geomorfológico de la cuenca del arroyo El Cano.

fluviales de alta energía de aproximadamente 1,3 m de espesor (Foto III.10.), estratogranodecrecientes con clastos de hasta 15-20 cm de eje mayor entre los que se reconocen dos facies clásticas, una con predominancia de materiales ígneo-metamórficos y la otra, subordinada, con clastos de la Formación Pampeano. La coloración es pardo clara; presenta estructuras de corte y relleno, planares, cruzadas, muchas de ellas constituyendo artesas (Foto III.11.).



Foto III.6.: Fm Pampeano aflorando en el lecho y márgenes del arroyo El Cano, aprox. 1,5 km aguas arriba de la confluencia con el arroyo Tegua.



Foto III.7.: Fm Pampeano aflorando en la confluencia del arroyo El Cano con el arroyo Tegua, (P3B).



Foto III.8.: Fm Pampeano aflorando en la margen izquierda del arroyo Los Permanetes, (P4)



Foto III.9.: Fósil en la Fm Pampeano.

Formación La Invernada

Esta unidad en general se presenta masiva, se identifica por sedimentos limosos finos con bajo grado de cohesión, de colores pardos y es reconocible en casi toda la cuenca, diferenciándose en tipos de afloramientos. Por un lado son depósitos de loess retransportado constituyendo flujos matriz sostén, con gravillas dispersas, lentes ondulados de calcretos, aflorantes en gran parte de las cárcavas y cursos de la cuenca, con espesores de entre 1 y 3 m (P1, P2, P5, P6A y Foto III.12.).

Por otro lado se expone en los cortes de caminos de los interfluvios mas altos de la llanura, presentando sedimentos eólicos de loess limoso fino en posición original, de color pardo muy claro que hacia el techo suele estar parcialmente edafizado ((P6A), (P7) y Foto III.13.).



Foto III.10.: Fm Chocancharava donde se destacan clastos psefíticos de rocas de basamento, (P1).



Foto III.11.: Estructuras de la Fm Chocancharava en la base del perfil (P2).



Foto III.12.: Loess retransportado de la Fm La Invernada.



Foto III.13.: Loess sin retransportar de la Fm La Invernada en corte de camino de interfluvio.

Formación Arroyo Las Lajas

Depósitos correlacionables con esta Formación se reconocieron en los ejes de los valles fluviales.

Según Orozco (1998), es una unidad que localmente comprende tres grupos de

facies: las facies aluviales finas, las facies palustres y las facies coluviales gruesas, las cuales fueron reconocidas en la cuenca del arroyo Tegua, propiamente dicho. Sin embargo en la cuenca del arroyo El Cano son distinguibles las dos primeras estando la tercera ausente.

Las facies palustres finas afloran en las cárcavas más desarrolladas de cuenca media, cercanas al colector principal, con espesores de 1,5 m aproximadamente, constituidas por un importante banco limo-arenoso muy bioturbado (perfil P1 y Foto III.4.).

Las facies aluviales afloran en las barrancas de los últimos tramos del colector principal, se identifican por un banco limo-arenoso fino, de aspecto grumoso, laminado, cohesivo con abundante materia orgánica y muy bioturbado incluyendo diatomeas (perfil P2 y Fotos III.4. y III.14.).



Foto III.14.: Fm Arroyo Las Lajas en su facies aluvial (P2).

Formación Laguna Oscura

Esta formación tiene gran distribución areal y se reconoce en la mayoría de los perfiles de cuenca media y baja (P5, P6, P7 y Foto III.15.). Está compuesta por arenas muy finas, de origen eólico sin estructuras reconocibles, habitualmente presenta espesores del orden de 2 m, y colores pardos amarillento que hacia el techo pasan trasncionalmente a pardos oscuros. Esta coloración responde al desarrollo edáfico en su parte superior, que en algunos casos constituyen el suelo actual y, en otros está cubierto por depósitos modernos como ocurre en las vías de escurrimiento principales.

Recientes-Actuales

Se asocian a procesos fluviales y de evolución de laderas y por lo tanto sus afloramientos se circunscriben a la red de drenaje. En perfiles de terrazas se destacan depósitos de canal de materiales removilizados de las distintas formaciones, dispuestos como relleno superficial, la litología es tan variada como lo son las formaciones que

afloran en la cuenca (desde arenas finas a clastos centimétricos), con estructuras de alta energía predominando la estratificación cruzada, pero se encuentran frecuentemente corte y relleno y artesas (P1, P2, P5, P6 y Fotos III.16. y III.17.).

Los depósitos gravitatorios están asociados a cortes de camino y márgenes de



Foto III.15.: Fm Laguna Oscura aflorando en margen izquierdo del arroyo San Francisco.



Foto III.16.: estructuras de alta energía de los depósitos Recientes-Actuales.



Foto III.17.: depósitos Recientes-Actuales, caídos por procesos gravitatorios 100 m aguas debajo de la confluencia entre los arroyos El Cano y San Antonio.

cárcavas y arroyos, por lo tanto generalmente su permanencia es relativamente breve. En general son depósitos actuales cuya composición y granulometría varía según la

fuelle. Cuando se removilizan materiales areno-gravosos (flujo de granos) se originan conos coluviales de grano grueso y sin cohesión, mientras que cuando se afectan secuencias más finas, con cierto grado de edafización y/o parcialmente cementadas se generan depósitos de agregados de distinto tamaño originados por vuelcos y deslizamientos rotacionales (Foto III.16. y III.17.)

III.2. Estructura

El patrón estructural es de gran importancia ya que no sólo controla la

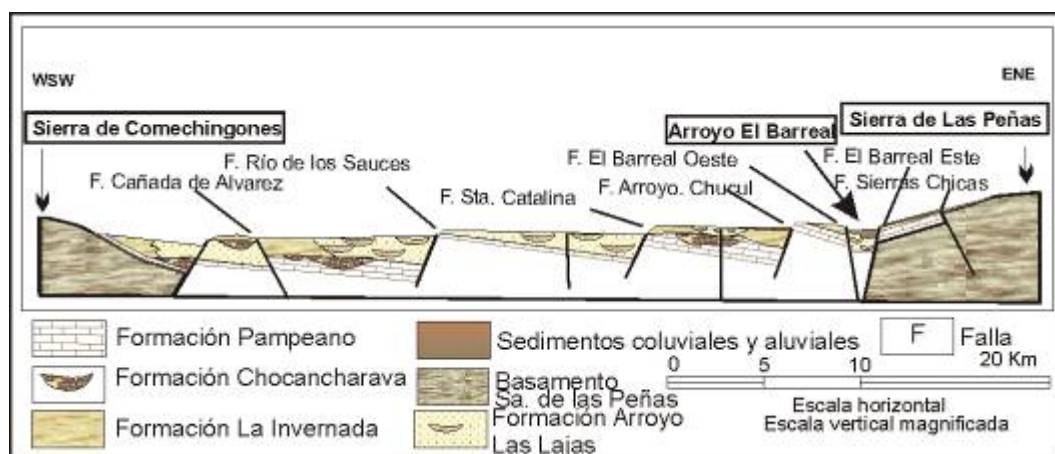


Figura III.2.: Perfil geológico OSO-ENE del valle La Cruz-Gigena, tomado de Cantú y Degiovanni (1997).



Figura III.3.: Perfil geológico N-S del valle La Cruz-Gigena, tomado de Cantú y Degiovanni (1997).

geomorfología e hidrología del bloque serrano sino que también extiende su influencia en la cuenca media y baja del arroyo El Cano, la cual presenta la clásica morfología de bloques que caracteriza a los ambientes de Sierra y Llanura Pampeana (Fig. III.2. y III.3.).

En la zona se reconocen las cuatro familias de estructuras identificadas por Cantú

y Degiovanni (1997) para la depresión La Cruz-Gigena: N-S a N 010°, N 090°, N 330° y N 020°-040° (Fig. III.4). Las estructuras de orientación submeridional definen los principales bloques del valle, los cuales se subdividen a su vez por las fallas E-O y en menor medida por las N 20°-40° y N 330°.

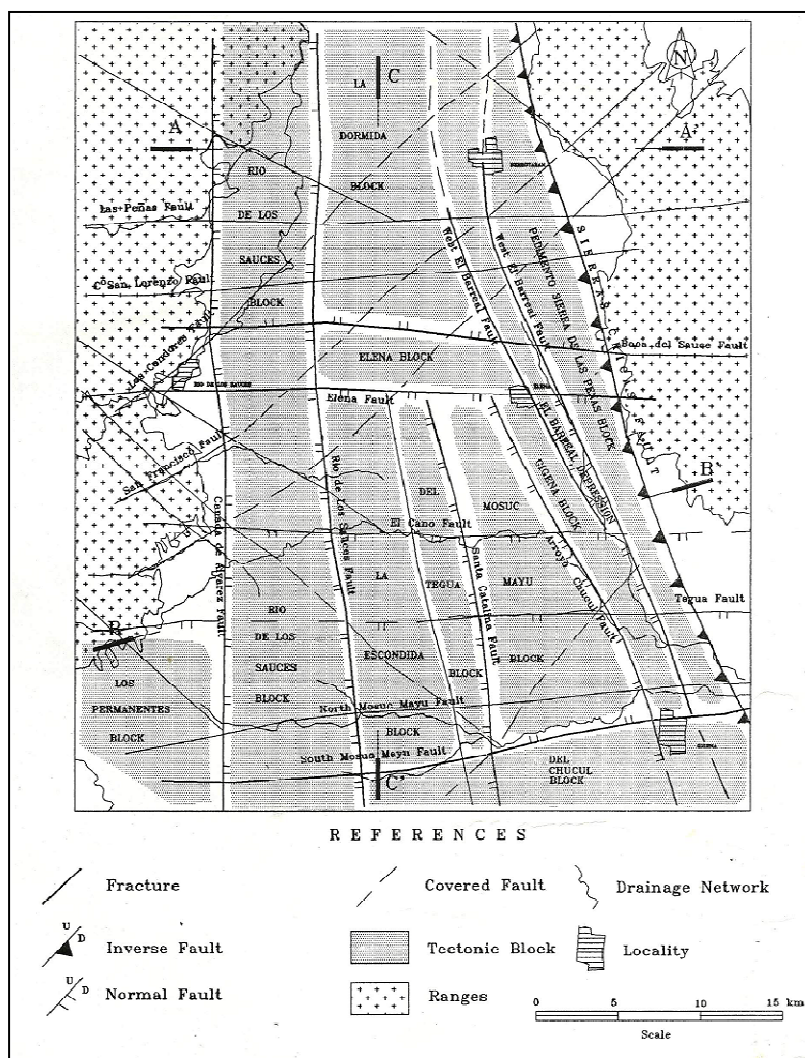


Figura III.4.: Mapa estructural del valle de La Cruz-Gigena tomado de Cantú y Degiovanni, (1997).

Sistema N-S

Las estructuras meridianas a submeridianas, de extensión regional, confieren la mayor impronta estructural a la cuenca del arroyo El Cano, definiendo resaltes topográficos fácilmente distinguibles y controlando la localización de los principales sitios de confluencia de la red de drenaje y el diseño de canal a nivel de tramos. Entre ellas se destacan las fallas de Cañada de Álvarez, Río de los Sauces, Santa Catalina y Arroyo Chucul.

La *falla Cañada de Alvarez*, en el sector norte del área de estudio, define el límite oriental de los afloramientos de basamento cristalino, provoca inflexión en la traza del arroyo San Francisco y controla la confluencia entre los arroyos El Cano y San Antonio. Hacia el Sur pierde manifestación topográfica y no se observan controles en la red hidrográfica.

La *falla de Río de los Sauces*, es distinguible en el área de estudio fundamentalmente porque provoca un cambio en el diseño del canal, además de una ligera inflexión del arroyo El Cano. Por otro lado también controla la orientación de afluentes del arroyo San Francisco. Hacia el Sur su manifestación es menos marcada.

La *falla Santa Catalina*, define el punto de principal confluencia en el sector medio de la cuenca, integrado por los arroyos El Cano, San Francisco y el colector de la principal subcuenca del Sur de la cuenca El Cano.

La *falla Chucul* define hacia el E el bloque de Gigena (Cantú y Degiovanni, 1997) y controla la orientación de los últimos 5 Km del arroyo El Cano antes de la confluencia con el arroyo Tegua.

Sistema E-O

La falla El Cano es la más importante de esta familia, a pesar que existen varias estructuras con este rumbo en la zona serrana que controlan la orientación de los cursos de bajo orden instalados sobre el basamento cristalino. Esta falla se extiende a lo largo de toda la cuenca desde las sierras de Comechingones hasta la de Las Peñas, conformando altos estructurales y definiendo la traza, la cual se observa segmentada y desplazada por estructuras de rumbo submeridiano (por ejemplo la falla Santa Catalina y Río de Los Sauces).

Sistema N020°-040°

La mayor parte de los componentes de este sistema se identifican en ambiente de llanura alineando distintos cursos de las subcuencas del arroyo El Cano. Sin embargo, las más importantes se reconocen en el sector serrano, entre las que se destacan las fallas San Antonio y San Francisco, que controlan tramos de los arroyos homónimos.

Sistema N330°

Este sistema se reconoce tanto en el sector serrano como extraserrano y entre las más importantes se distingue la que controla el arroyo San Francisco, en su cuenca

media y baja.

Actividad neotectónica

El análisis de distribución epicentral de la sismicidad, indica que en general la región Sur de Córdoba y San Luis, está caracterizada por sismos cuyos epicentros en su mayoría están alineados con las sierras de San Luis y de Comechingones, con profundidades superficiales a intermedias (Sagripani et al., 2009) (Fig. III.5). A pesar de que no existen puntualmente en el área trabajos sobre ésta temática, en la figura se

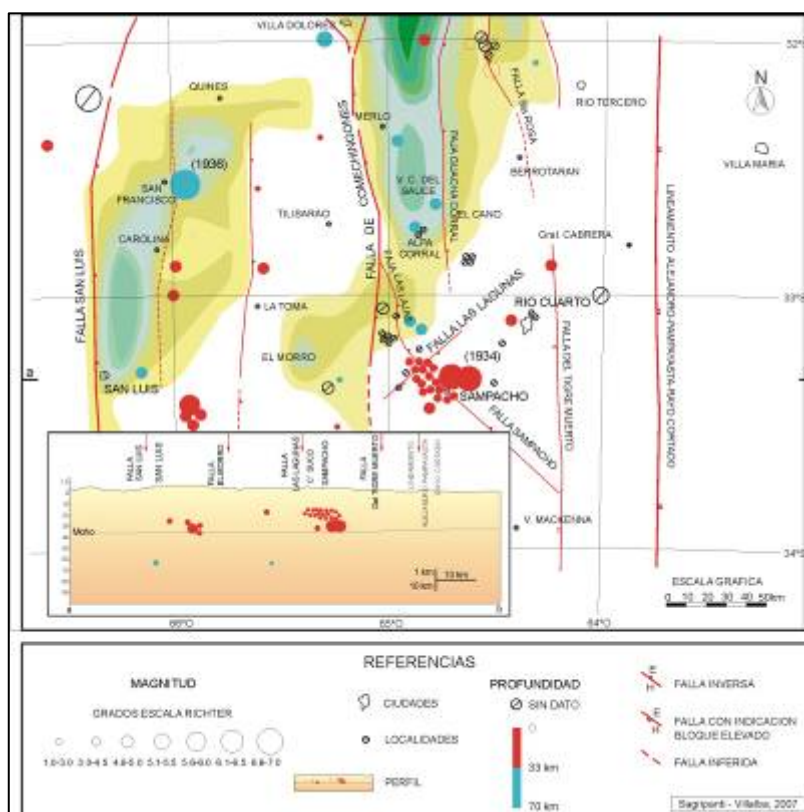


Figura III.5.: Distribución de sismos con epicentros en la región Sur de Córdoba. Perfil con la distribución hipocentral. Tomado de Sagripani et al. (2009).

observa que en localidades cercanas se registraron eventos sísmicos considerables. Entre ellos se destacan el de Villa Cañada del Sauce y el de Alpa Corral, con magnitudes 4,2 y 4,3 en la escala de Richter, respectivamente (Sagripani et al., 2009); lo que confirma la actividad neotectónica de la zona, la cual se presentaría como generadora de relieve.

II.3. Geomorfología

Geomorfológicamente el área de estudio se sitúa en la depresión intermontana La Cruz-Gigena, cuyo relieve fue caracterizado por Cantú y Degiovanni (1997). Estos

autores destacan que los rasgos geomorfológicos más relevantes del área se vinculan a la presencia de bloques diferencialmente ascendidos, cubiertos por secuencias cenozoicas de variado espesor, y al grado de disección fluvial alcanzado en el Pleistoceno, lo que otorgan al paisaje en general características de llanuras fuertemente onduladas.

En general el perfil transversal (OSO-ENE) de la depresión, manifiesta fuerte asimetría con un eje principal ubicado al Este, en la depresión El Barreal (Fig. III.2.); mientras que el perfil longitudinal (N-S) muestra dos sectores diferentes separados por el bloque de Elena, el cual constituye la divisoria de aguas Norte de la cuenca del arroyo El Cano (Fig. III.3.).

Hacia el Oeste, el relieve elaborado por la antigua red fluvial es muy manifiesto y está controlado principalmente por el sistema de fallas E-O y, en menor medida, por los N-S y N020-040°.

En ambos bordes de la depresión, asociada a las Sas de Comechingones y de Las Peñas, se reconoce una zona pedemontana con basamento a escasa profundidad, cubierto de calcretos y en algunos sectores por la Formación La Invernada o Laguna Oscura. Todo el pedemonte fue fracturado y elevado durante distintos eventos tectónicos cuaternarios que continúan en la actualidad (Cantú y Degiovanni, 1997). El lado oriental de la depresión, muestra un relieve dominado por los bloques estructurales elevados de Mosuc Mayu y Gigena. En el primero de ellos los colectores principales, arroyos El Cano, Mosuc Mayu y Tegua, provocan fuerte incisión sobre los depósitos eólicos y sobre las paleoredes pleistocenas (menos manifiestas en este sector), mientras que, el segundo, actúa como divisoria con la cuenca del arroyo El Barreal.

Específicamente en la cuenca de estudio se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas (Fig. III.1.)

III.3.1. Ambiente Serrano

Esta unidad forma parte del faldeo oriental de la Sierra Comechingones, que en este sector, está conformada por bloques asimétricos de orientación N 330°. Presenta el clásico relieve crestiforme que caracteriza a las rocas metamórficas y la pendiente general es del orden de 5 % hacia el Este.

La mayor parte de la unidad aún preserva la cubierta sedimentaria cuaternaria la cual, en los valles de cursos de mayor orden, alcanza espesores de hasta 6 m y está fuertemente disectada (Foto III.18.), mientras que en los de orden menor la potencia de los depósitos es menor, se encuentran vegetados, estabilizados y es frecuente la presencia de mallines que se interconectan con sistemas de cárcavas mayores (Foto III.19.). En las zonas cumbreles sólo conservan calcretos (Foto III.20.), o bien ya aflora la roca desnuda.



Foto III.18.: Valles de cursos de orden mayor.



Foto III.19.: Valles de cursos de orden menor.

En la cuenca del arroyo San Francisco se conservan los principales relictos de formas erosivas heredadas ("paleosuperficies de erosión", Degiovanni et al., 2003), asociadas a las zonas que actúan como divisorias con la cuenca del Río de los Sauces.

A pesar de la importante cubierta vegetal (pastizales), en los valles los procesos dominantes son los hídricos, representados por cárcavas de diferente magnitud en vías de integración. Los colectores principales (arroyo El Cano y San Antonio) exhiben diferente diseño de canal y comportamiento morfodinámico según la potencia del relleno cuaternario, son sinuosos y divagan lateralmente cuando el espesor es mayor y se hacen rectos cuando discurren sobre basamento. Los valles en general son amplios, en la mayoría de los casos tienen fondo plano vinculado al relleno sedimentario mientras que en otros sitios, están labrados sobre rocas de basamento. En todos los casos son comunes los quiebres en su perfil longitudinal (saltos, cascadas (Foto III.21.)) con procesos gravitatorios asociados.

III.3.2. Faja Pedemontana

Compone un área transicional entre el sector serrano y la llanura, tiene un ancho variable entre 1000 y 2500 m, y exhibe un relieve fuertemente ondulado con pendientes

que en sectores aislados llegan a 4,5%, por la presencia de bloques de basamento subaflorantes (Foto III.22.). En los ejes de los valles la potencia de sedimentos es mayor y en general se trata de secuencias cuaternarias principalmente coluviales pleistocenas (material eólico retransportado con gravillas dispersas, mientras que en las lomas la cubierta es menor y se observan calcretos en su techo. Por otro lado, los interfluvios se presentan cubiertos por material eólico sin retransportar



Foto III.20.: Calcrétos cercanos a la zona de divisoria.



Foto III.21.: Cascada en arroyo San Antonio.



Foto III.22.: Vista hacia el O de la Faja Pedemontana y al fondo el Ambiente Serrano.

III.3.3. Llanura fluvio-eólica fuertemente ondulada

Es la unidad con mayor representación areal en toda la cuenca, presenta pendientes generales que no superan el 3,5%, con bajos y lomadas tendidas, asociados a la paleored pleistocena. En los ejes de los bajos se está instalando la red de drenaje

con rasgos de variada magnitud, en cuyas barrancas afloran la mayoría de las formaciones cuaternarias reconocidas en el área (P1, P2 y P5). Las cumbres de las lomadas se presentan en ocasiones con el color pardo muy claro del loess asignado a la Fm La Invernada (P7), expuesta por la erosión areolar de la Fm Laguna Oscura.

Los ejes principales de las paleoredes están controlados por los sistemas de fracturas N 330° en el sector Norte de la cuenca, con cuencas circulares de hasta 4 km de extensión, cuyos colectores principales están controlados en el Sur de la misma por estructuras del sistema N 020-040° y constituyen valles elongados con longitudes de más de 10 km y 2 km de ancho.

Sobre este paleosistema se observan redes efímeras, en su mayoría en proceso de captura. Estos cursos, alternan zonas de depositación, donde los mismos se muestran ramificados, con patrón distributivo a veces con un curso principal en el centro (ya capturados), y zonas de erosión en donde se concentran las ramificaciones originando un colector principal e inciden (Fig. III.6.). En algunos casos se observa que la concentración e incisión de los cursos se asocia a caminos rurales dispuestos en forma paralela o subparalela a la máxima pendiente, en tanto la ramificación y depositación se da cuando los caminos son perpendiculares o subperpendiculares a ella, funcionando como zonas anegables. En las zonas de confluencia entre estos sistemas y los colectores mayores (por ejemplo el arroyo San Francisco), se suelen observar importantes sistemas de cárcavas con grandes tasas de retroceso (2 m por año aprox.), longitudes kilométricas y profundidades de hasta 6 m, llegando así a exponer la Formación Chocancharava mediante la erosión fluvial y procesos de remoción en masa asociados.



Figura III.6.: Proceso de captura en cuenca media (imagen tomada de Google Earth).

III.3.4. Alto estructural El Cano

Esta asociado a las fallas El Cano, Cañada de Alvarez y a un componente del sistema N330°. Es una zona sobreelevada moderadamente ondulada, su pendiente general es de 0,75 % y está orientada hacia el E, sólo en los sectores cercanos (no mas de 1000 m) al arroyo El Cano, posee inclinación hacia el SE, esto difiere de la unidad antes mencionada que tiene una clara inclinación hacia el colector principal. Los pocos cursos efímeros presentes no parecen estar instalados sobre la paleored, por el contrario poseen rasgos históricos de erosión y un patrón de drenaje que, en algunos casos a causa del bajo gradiente, llega a ser paralelo.

III.3.5. Alto estructural Mosuc Mayú

Esta unidad corresponde a un sector del alto de Mosuc Mayú ya definido por Cantú y Degiovanni, (1997), se encuentra relacionada a las fallas El Cano, Chucul y Santa Catalina (Fig. III.4.). Al igual que la unidad anterior, carece de evidencias de paleoredes y de erosión activa. Posee un relieve plano sin bajos ni lomas marcadas, su pendiente general es de 0,66%, la más baja de toda el área de estudio, orientada hacia el NE solo en la zona Norte, cercana al arroyo El Cano, mientras que el resto de la unidad se inclina hacia el E. Los procesos de erosión hídrica, en general se restringen a los sectores aledaños al colector principal, siendo en el resto de la unidad casi nulos. Allí se reconocen sistemas de cárcavas considerables, tanto en profundidad (llegando a exponer la Formación Pampeano en varios sectores), como en densidad de cabeceras, mientras que no ocurre lo mismo con la longitud de las mismas ya que no supera en ningún caso los 300 metros.

III.3.6. Ambiente fluvial histórico-actual

Las unidades fluviales puras tienen poca representación areal y las áreas más extensas se asocian a la paleofaja y terrazas del arroyo San Antonio, y a unidades de desbordes de este último y los arroyos El Cano y San Francisco. En algunos sitios el ancho es muy reducido (no más de 30 metros), y corresponde a tramos donde el curso produjo una incisión vertical importante sin grandes variaciones laterales. En los segmentos más meandricos se observa la variación lateral, provocando el aumento del ancho hasta más de 500 m.

Los eventos de desborde más importantes se encuentran ligados al arroyo San



Foto III.23.: Zona de descarga del arroyo San Francisco.

Francisco en sus tramos finales y puntualmente a la zona donde existía la Laguna Blanca, que todavía constituye el área de descarga, y presenta un microrelieve irregular modificado en sectores por pequeñas canalizaciones realizadas por los pobladores y cubierta por vegetación natural (Foto III.23.).

El resto de las características de la faja fluvial y del canal principal, serán descritas en otro capítulo ya que este análisis es uno de los principales objetivos del trabajo.

IV. CARACTERIZACION CLIMATICA

IV.1. Características regionales generales

Blarasin (2003) estableció que la provincia de Córdoba, debido a su latitud, se encuentra situada íntegramente dentro de la zona de climas templados de Argentina. En general, el Sur provincial se caracteriza por una gran uniformidad térmica y una concentración estival de las precipitaciones. El régimen térmico se caracteriza por un invierno riguroso y un verano medianamente cálido. Las excepciones corresponden a las mayores altitudes, sectores de sierra y altiplanicie. La acción del relieve es más efectiva sobre las condiciones de pluviosidad y la variación estacional de las mismas.

La distribución de temperaturas media, máxima y mínima en la llanura del Sur de Córdoba, presenta un comportamiento en general homogéneo, siendo los valores inferiores a 17°C, 25°C y 10°C, respectivamente. En sierra, las temperaturas medias son del orden de 16°C, las máximas de 20°C y las mínimas de 9°C, y decrecen hacia el nivel de las altiplanicies (2.200 m aprox.) a 10°C, 14°C y 5°C respectivamente, (Blarasin, 2003).

En la región, más del 80% de los días son ventosos, con una concentración máxima a fines de invierno-primavera. Predominan los vientos provenientes de los cuadrantes N/NE-S-SE con velocidades medias que, en la mayoría de los meses, superan los 10 km/h, pudiendo producirse ráfagas en temporales de más de 100 km/h, (Blarasin, 2003).

Efectuando el balance hídrico modular y determinando los distintos índices para la serie del Servicio Meteorológico Nacional (1921-1950), Blarasin (2003) propone una clasificación climática según (Thorntwaite, 1948), determinando que el clima en el sector central y occidental de la llanura y en el piedemonte, subhúmedo-seco con un déficit variable de agua que aumenta gradualmente hacia el SO (Fig. IV.1.).

IV.2. Precipitaciones

Para caracterizar las precipitaciones locales, su distribución espacial y temporal solo se dispuso de los datos pluviométricos cedidos por el señor Eduardo Baranosky que abarcan desde el año 1989 hasta el año 2009, pertenecientes a la cuenca media-alta del

arroyo El Cano y además se presentan los datos de la estación meteorológica Las Guindas pertenecientes al periodo 2001-2007, ubicada en el sector serrano a unos pocos kilómetros al Norte del área de estudio.

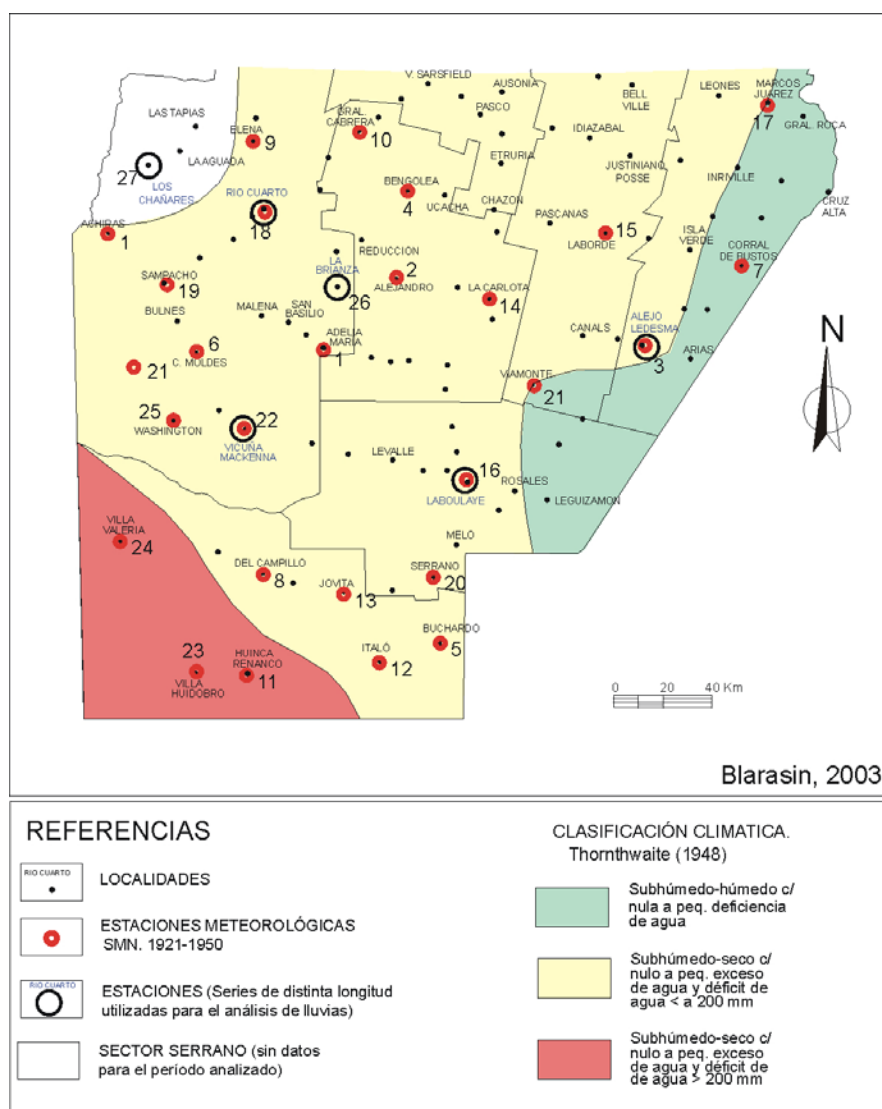


Figura IV.1: Clasificación climática del Sur de Córdoba. Serie 1921/1950. Tomado de Blarasín, (2003).

IV.2.1. Distribución temporal de las precipitaciones

En la Fig. IV.2. se observa un carácter estacional en la distribución de las medias mensuales de precipitaciones, puesto de manifiesto por la concentración del 71% durante las estaciones de primavera y verano, en tanto en otoño e invierno se registra el 29 % restante del registro pluviométrico. El mes más lluvioso es enero, el más seco junio y merece destacarse la importancia de las lluvias otoñales correspondientes a los meses de marzo y abril.

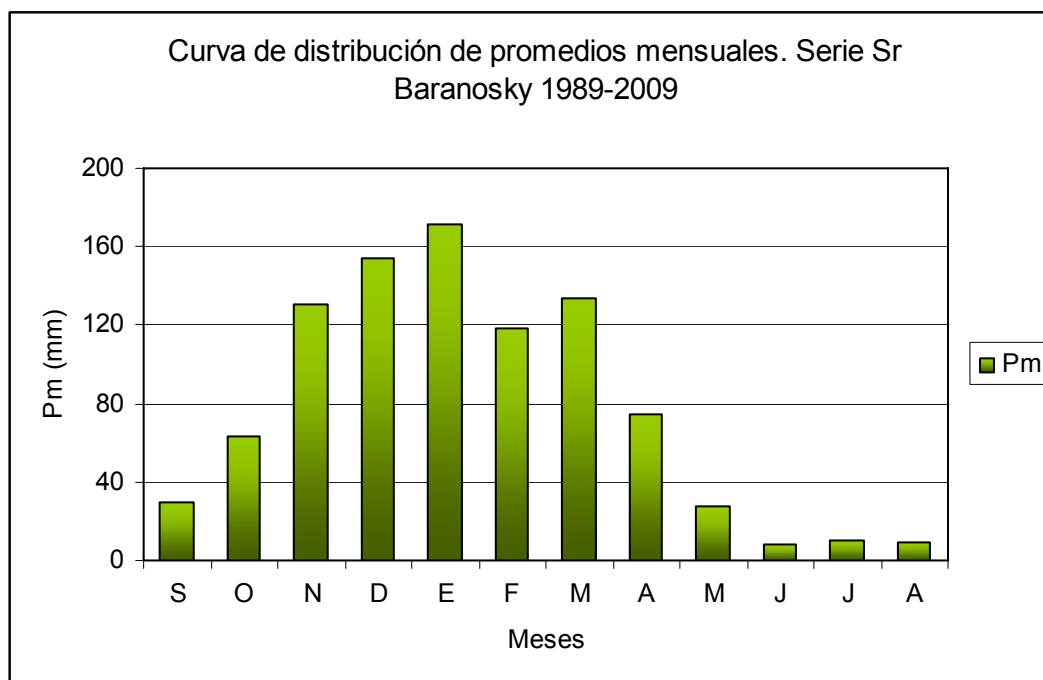


Figura IV.2.: Curva de distribución de precipitación media de los promedios mensuales. Serie Sr. Baranosky (1989-2009).

IV.2.1. Análisis de curvas cronológicas

En la curva cronológica anual de precipitaciones de la Serie Baranosky (Fig. IV.3.), se observa que la precipitación media anual (Pma) es de 936 mm y a partir de la tendencia lineal, buena regularidad a lo largo de toda la serie con leve disminución en la última década. Analizando la media móvil, se identifica un periodo seco (1995-1997) y un periodo húmedo (1998-2002), bien marcados, con valores de lluvia por debajo y por encima de la media de la serie (936 mm), respectivamente. Entre los años más húmedos se destacan 1990, 1992, 1999, 2000 y 2004, mientras que entre los años más secos se distinguen 1989, 1993, 2005 y 2009

Comparando ésta serie con la de Las Guindas solo se observa que, con excepción de los años 2003 y 2004, las lluvias fueron superiores en el sector serrano que en el pedemontano y se mantienen las tendencias de años húmedos y secos.

Con el propósito de extender los registros de precipitaciones, al menos hasta el comienzo del siglo XX, para poder efectuar relaciones con cambios en la red de drenaje, se incorporan al análisis las curvas cronológicas anuales de precipitaciones correspondiente a la estación Los Chañares (1941-2007); y Moldes (1896-2003), que se exhiben en las Figs. IV.4. y IV.5. A pesar de que éstas estaciones no se encuentran en el

área de estudio, son de mucha utilidad ya que gracias a la extensión que poseen se pueden diferenciar periodos secos y húmedos antiguos que, como lo indican varios autores (Degiovanni, 2008; Blarasin, 2003; entre otros), son identificables en distintas series del centro y SO de la provincia de Córdoba.

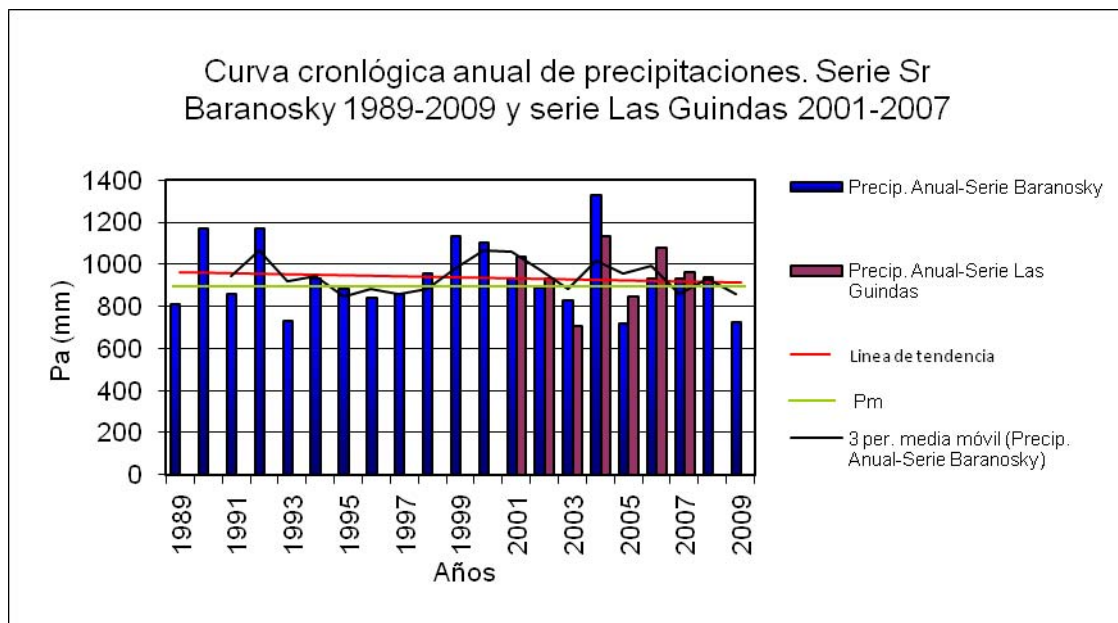


Figura IV.3.: Curva de distribución de promedios mensuales. Serie Sr Baranosky (1989-2009) y Serie Las Guindas (2001-2007).

La serie Los Chañares, más cercana a la cuenca del arroyo El Cano, presenta una tendencia lineal al aumento a través del tiempo que sobrepasa la Pma de 958 mm partir de mediados de la década del 70' y se distinguen dos ciclos secos bien marcados; el primero entre los años 1941 y 1956, y el segundo entre 1969 y 1977. Por otro lado se distingue un ciclo húmedo entre 1953 y 1968 y una sucesión de ciclos húmedos desde el año 1979 hasta el 2002, intercalados con años secos (1986, 1996 y 2003). Entre los años más secos de la serie se destacan 1951 y 1970 (593 y 582 mm, respectivamente) y el más húmedo fue el año 2000 con 1367 mm.

La serie de Moldes posee Pma de 840 mm con periodos secos entre los años 1896-1913, 1935-1954 y 1969-1971. Se observan tres ciclos húmedos, el primero comprendido entre los años 1912 y 1933; el segundo entre 1953 y 1968 y el tercero entre 1975 y 2003. Los años más húmedos de esta serie corresponden a 1914, 1998 y 2000 (todos sobrepasan los 1200 mm), en tanto entre los años de menor precipitación se distinguen 1916 y 1938 con aproximadamente 400 mm.

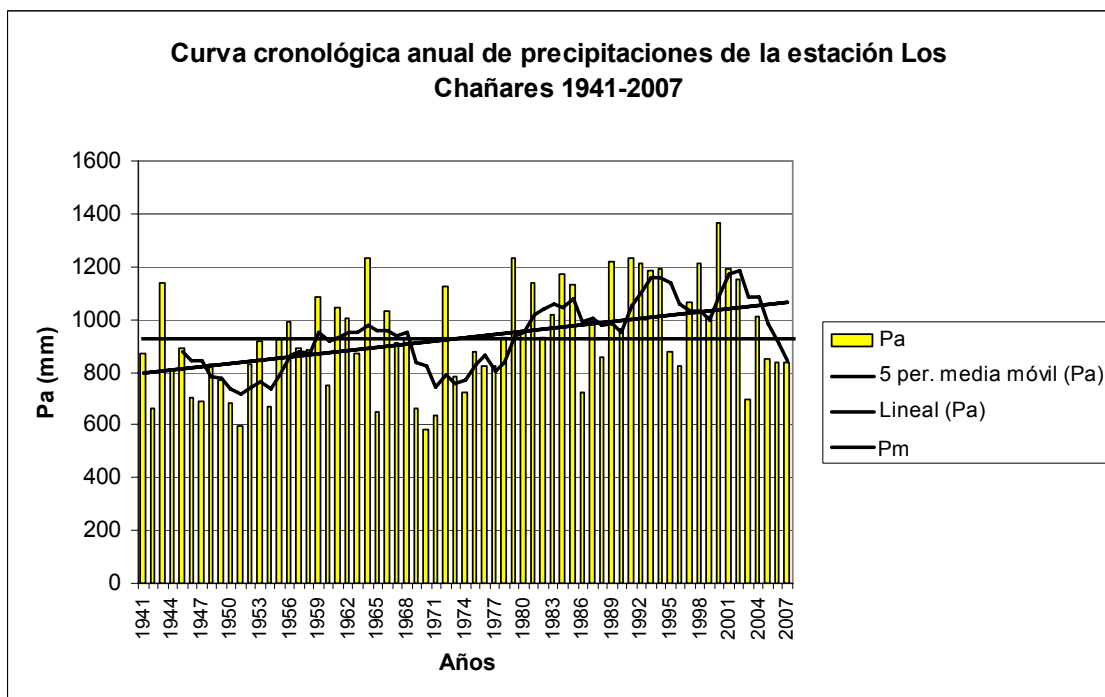


Figura IV.4.: Curva cronológica anual de precipitaciones de la estación Los Chañares (1941-2007).

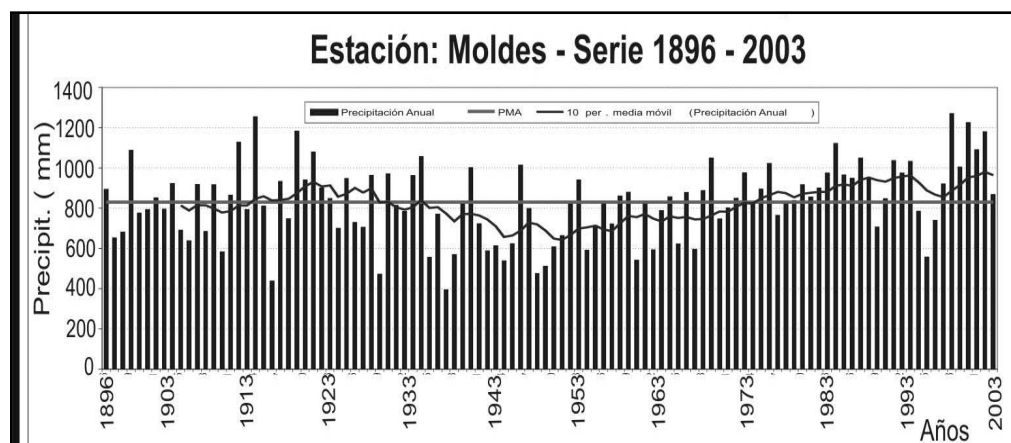


Figura IV.5.: Curva cronológica anual de precipitaciones de la estación Moldes (1896-2003).

V. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

V.1. Hidrografía y características morfométricas generales de la red y la cuenca de drenaje

Como ya se mencionara precedentemente la cuenca del arroyo El Cano, integra la cuenca del arroyo Tegua, que descarga en los Bañados del Saladillo.

Su cuenca alta se desarrolla sobre rocas de basamento metamórfico del faldeo oriental de las Sas de Comechingones, drenando una zona triangular entre las cuencas de los ríos Alpa Corral y de los Sauces, mientras que la media y baja, involucra sedimentos cuaternarios del valle intermontano La Cruz-Gigena.

La cuenca en estudio, está constituida por las siguientes subcuencas principales: arroyos San Antonio (A), El Cano (B) propiamente dicho y San Francisco (C), todos ellos con nacimiento serrana. Además, en el área de llanura, se incorporan las subcuencas (D), (E), (F), (H) e (I), que tributan desde el Sur hacia el colector principal y las subcuencas (G) y (J) que lo hacen desde el N (Fig. V.1).

En relación a las superficies drenadas por las distintas subcuencas (Tabla V.1), merece destacarse la importante contribución areal que el arroyo El Cano efectúa a la cuenca del arroyo Tegua, tanto a partir de las subcuencas con nacimiento serrana (arroyos San Antonio (A), El Cano (B) y San Francisco (C) y de llanura (D y E), que poseen un colector principal bien definido; como las áreas drenadas mediante flujo en manto o apenas encauzado con redes de drenaje en vías de integración y que no exhiben un colector jerarquizado (F, G y H).

El alto porcentaje de área serrana drenada por la subcuenca El Cano (B) (aprox. 90%) y en menor medida por la del San Antonio (A) (aprox. 60%), definirían hidrogramas de crecida más conspicuos y de picos marcados para estas subcuencas y por ende para el colector principal. Esto debido fundamentalmente a la litología de la zona serrana y elevadas pendientes (localmente llegan al 10%), factores que ejercen la mayor influencia sobre las demás variables que integran la relación lluvia/escurrimiento.

Por otro lado, las subcuencas desarrolladas total o parcialmente en el sector extraserrano y sobre todo aquellas con mayores áreas (San Francisco (C), (D), San

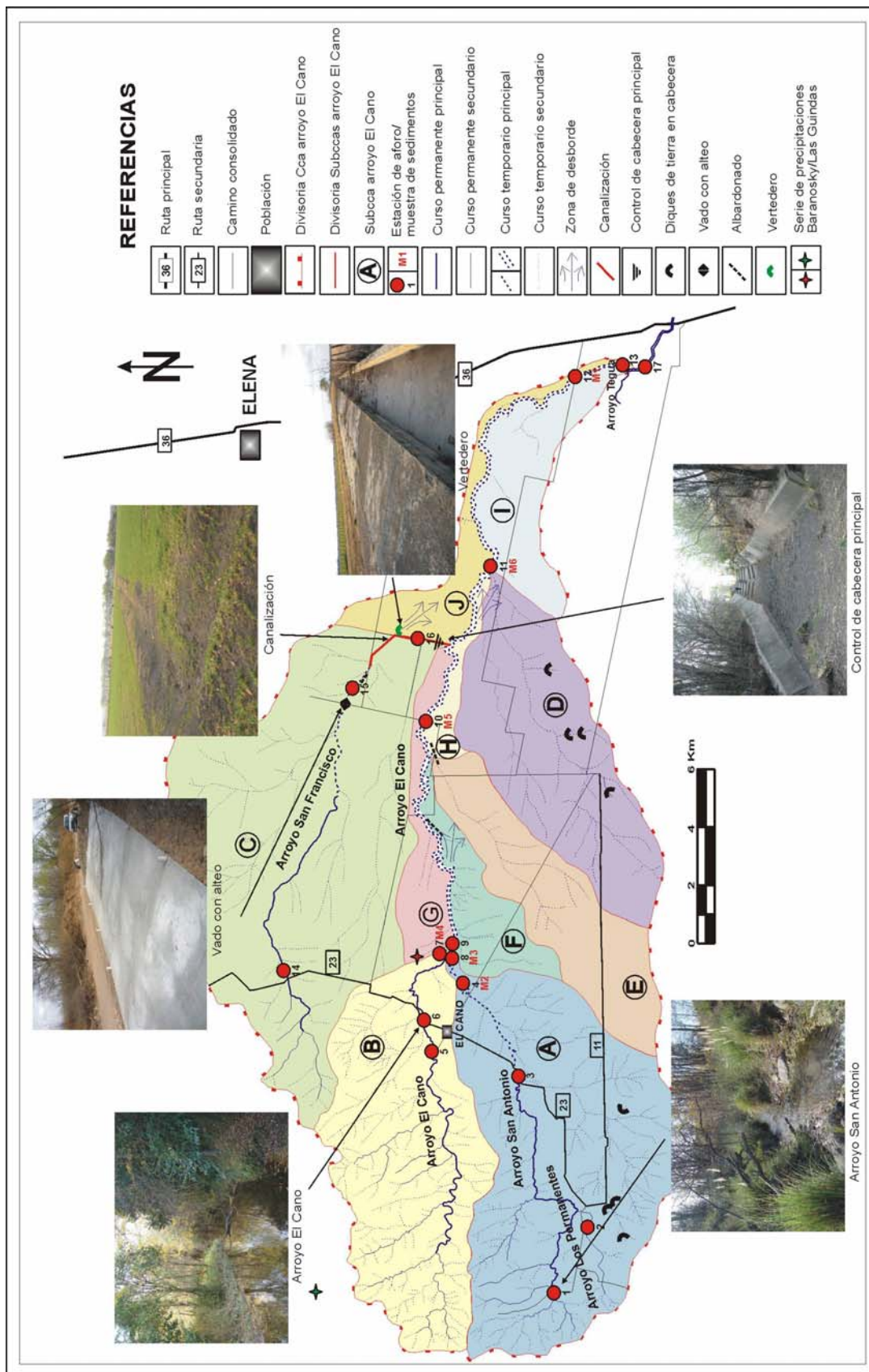


Figura V.1.: mapa hidrológico superficial de la cuenca del arroyo El Cano.

Antonio (A) y (E); en sentido decreciente), aportan caudales considerables y suelen generar picos de crecidas en el colector principal a partir de lluvias extraserranas y también acusan los cambios morfológicos y morfodinámicos más importantes de toda el área de estudio.

Tabla V.1.: Área drenada por la cuenca del arroyo El Cano y sus subcuencas.

NOMBRE Cuenca	AREA (Km ²)		
	Llanura	Serrana y pedemontana	Total
San Antonio subcca (A)	30,85 (40,91%)	44,55 (59,09%)	75,4
El Cano subcca (B)	3,95 (7,1%)	51,65 (92,9%)	55,6
San Francisco subcca (C)	83,7 (83,28%)	16,8 (16,72%)	100,5
Subcuenca (D)	41,5	0	41,5
Subcca (E)	27,2	0	27,2
Subcca (F)	11,7	0	11,7
Subcca (G)	11,7	0	11,7
Subcca (H)	3,7	0	3,7
Subcca (I)	16,7	0	16,7
Subcca(J)	7,7	0	7,7
Cuenca El Cano total	238,7 (67,87%)	113 (32,13%)	351,7

En la Tabla V.2., se presentan los principales atributos morfométricos de la cuenca: número de orden, y densidad (Dd) y frecuencia de drenaje (Fd), analizados separadamente en área de llanura (LI) y zona serrana-pedemontana (S-P). Estos valores fueron obtenidos a partir del análisis de escurrimientos superficiales de semidetalle presentado en la Figura V.1.

De la lectura de la tabla se destaca el contraste entre los elevados valores de Dd y principalmente de Fd en el área serrana-pedemontana y los bajos índices en la zona de llanura, donde la Fd llega a ser la mitad del valor serrano. Esto se debe a que las altas pendientes, la esquistosidad del basamento aflorante y la presencia de valles profundos en el sector serrano originan y controlan un patrón de drenaje con gran cantidad de cursos de orden bajo. Mientras que en el área extraserrana, la cubierta sedimentaria, permite mayores superficies de infiltración y de escurrimiento en manto, produciendo en general bajos valores de cursos de orden 1 y menores longitudes por unidad de área.

La cuenca del arroyo San Francisco (C) constituye una excepción, ya que

se observa que la Dd es mayor en la zona de llanura, respondiendo a las diferencias geomorfológicas de sus valles serranos, los cuales son más amplios, poco incididos y con basamento comúnmente cubierto por depósitos sedimentarios.

Tabla V.2.: Principales atributos morfométricos de la cuenca del arroyo El Cano y sus subcuencas.

Nombre de Cuenca	Nº de orden	Dd			Fd		
		LI	S-P	Total	LI	S-P	Total
Subcca (A) San Antonio	4	1,80	1,97	1,90	1,68	3,03	2,48
Subcca (B) El Cano	4	1,89	2,32	2,29	1,77	3,87	3,76
Subcca (C) San Francisco	4	1,70	1,05	1,16	0,68	1,48	0,81
Subcca (D)	3	1,17	0	1,17	0,93	0	0,93
Subcca (E)	3	0,63	0	0,63	0,44	0	0,44
Subcca (F)	Sin colector	1,11	0	1,11	1,19	0	1,19
Subcca (G)	Sin colector	0,51	0	0,51	0,34	0	0,34
Subcca (H)	Sin colector	0,11	0	0,11	0,54	0	0,54
Subcca (I)	Sin colector	0,16	0	0,16	0,29	0	0,29
Subcca (J)	Sin colector	0,32	0	0,32	0,77	0	0,77
Cca El Cano total	5	0,99	2,09	1,34	0,81	3,18	1,57

En la (Foto V.1.) se observa el origen del colector principal, arroyo El Cano, de orden 5, por la confluencia del arroyo del mismo nombre y el San Antonio, ambos de orden 4.

La red de drenaje en general muestra un patrón rectangular/angular, muy controlado por estructuras en la zona de llanura, mientras que en la zona serrana responde tanto a las estructuras como a la esquistosidad del basamento.

Los cursos colectores de mayor orden ubicados en el área serrana poseen régimen permanente, sobre todo los de orden 3 y 2, en tanto en zona de llanura (a partir de la falla Cañada de Alvarez) el régimen pasa a ser efímero, a causa de la infiltración desde la zona pedemontana hacia aguas abajo, donde la red se instala en su mayor parte sobre depósitos cuaternarios permeables con basamento profundo y los cursos

adquieren relación influente y/o indiferente con respecto al acuífero.

En relación a esto último, estudios geoelectrónicos (SEV) y datos de perforaciones facilitados por el Lic. Juan Felizzia, así como también comunicaciones verbales de los pobladores rurales, indican que, en general, el nivel freático está profundo. En los ejes de los valles del sector pedemontano, se encuentra a una profundidad del orden de los 10-20 m; en los altos que actúan como divisorias principales, llega a superar los 100 m de profundidad; mientras que en cuenca media, en cercanías del curso principal, se alcanzan profundidades intermedias, entre 30 y 60 metros.

El arroyo El Cano adquiere nuevamente carácter permanente en los últimos 180 m antes de la confluencia con el arroyo Tegua (Foto V.2.), el cual posee el mismo régimen en todo su recorrido, indicando que el acuífero freático es influente en esta posición de la cuenca.

La totalidad de la cuenca del arroyo El Cano presenta una forma elongada, al igual que las subcuencas (D), (E), (F), (G), (H), (I), (J) y El Cano (B), mientras que las



Foto V.1.: Vista hacia aguas arriba confluencia arroyos San Antonio-El Cano.



Foto V.2.: Vista hacia aguas arriba confluencia de los arroyos Tegua-El Cano.

subcuencas de los arroyos San Antonio (A) y San Francisco (C) tienen forma triangular (Fig. V.1.). Esta variante en las formas responden fundamentalmente al patrón estructural de la cuenca, el cual en las primeras controla en un sentido principal a los cursos y se manifiesta por la falla El Cano de orientación E-O (en El Cano (B), (F), (G), (H), (I) y (J)) o por la familia N 20°-40° (en (E) y (D)); mientras que las segundas están controladas por dos familias de estructuras E-O y N020°-040° para la San Antonio (A); y N 020°-040° y N 330° para la subcuenca San Francisco (C).

El arroyo San Antonio (A) está controlado en su tramo inferior por la falla San Antonio de rumbo N 020°-040°, en tanto en el superior y medio su traza se ajusta a una estructura de la familia (E-O). En el sector serrano y pedemontano tiene régimen permanente (Foto V.3.), al igual que su tributario, el arroyo Los Permantentes (Foto V.4.), y en su tramo final, previo a la confluencia con el arroyo El Cano, posee régimen efímero. En este último sector presenta una serie de saltos desarrollados sobre la Fm Chocancharava que está fuertemente cementada. (Foto V. 5.).

La subcuenca del arroyo El Cano (B) se ubica casi totalmente sobre el bloque serrano y la faja pedemontana. Presenta una fuerte asimetría drenando el dorso de un bloque basculado hacia el SE, donde se ubica el colector principal controlado por la falla El Cano en sentido E-O; por tal motivo los tributarios de mayor orden llegan al eje de la



Foto V.3.: Vista hacia aguas abajo del arroyo San Antonio en estación de aforo (3).



Foto V.4.: Vista aguas arriba del arroyo Los Permantentes en estación (2).



Foto V.5.: Vista aguas arriba del arroyo San Antonio en estación (8).

cuenca desde el Norte, cuya orientación es controlada por la esquistosidad del sustrato metamórfico en sentido N 330° y por estructuras de igual dirección. El arroyo El Cano

tiene régimen permanente hasta unos cientos de metros antes de la confluencia con el San Antonio, infiltrando allí en los depósitos cuaternarios (Foto V.6. y V.7.)

El arroyo San Francisco (C) es el que posee la cuenca de mayor área (100,5 Km²), de la cual la mayor parte se desarrolla en la llanura (83,3%). Su morfología es triangular, y el patrón de drenaje es rectangular en la subcuenca ubicada al Sur, con dirección de escurrimiento paralela al colector principal (SE), en tanto la del Norte posee diseño subdendrítico y los escurrimientos se dirigen hacia el Sur. El colector principal posee régimen permanente en la salida extraserrana (Foto V.8. y V.9.) y se convierte en curso perdedor (influyente) pocos kilómetros aguas abajo de los afloramientos de basamento en la zona pedemontana. Según comunicaciones verbales de los pobladores el arroyo San Francisco hace 4 o 5 décadas presentaba régimen permanente hasta su zona de descarga.



Foto V.6.: Arroyo El Cano vista aguas abajo, 300 m aguas abajo estación (4)



Foto V.7.: Arroyo El Cano vista aguas abajo 50 m aguas abajo de estación (4).



Foto V.8.: Vista aguas arriba de arroyo San Francisco aprox. 100 m aguas abajo de estación (14).



Foto V.9.: Vista aguas arriba de arroyo San Francisco aprox. 150 m aguas abajo de estación (14).

V.2. Hidrometría

En esta sección se trata de cuantificar las características hidrométricas de las distintas subcuencas del arroyo El Cano con el objetivo de contribuir a la interpretación morfodinámica de la misma.

La Tabla V.3 muestra valores de velocidades, caudales (sólidos y líquidos) y sales disueltas totales correspondientes a las distintas estaciones de aforo (Fig. V.1). En ella se observa que en los tramos con flujo permanente, limitados a los sectores con basamento aflorante o muy poco profundo, los valores de velocidades y caudales medidos son muy bajos, evidenciando que la dinámica de erosivo-sedimentaria de la cuenca está regida fundamentalmente por los caudales crecida.

Tabla V.3: Valores de caudales líquidos, sólidos y sales disueltas totales en las estaciones de aforo.

Estación de aforo	Caudal líquido				Caudal sólido (g/seg)		Sales disueltas totales (gr/l)	
	06/05/2010		10/08/2010		06/05/2010	10/08/2010	06/05/2010	10/08/2010
	V(m/seg)	Ql(m ³ /seg)	V(m/seg)	Ql(m ³ /seg)				
1	0,63	0,077	-	-	9	-	0,1168	-
2	-	-	0,4	0,012	-	-	-	-
3	0,34	0,025	-	-	4	-	0,1593	-
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,3	0,084	0,061	0,0061	6,3	0,5	0,075	0,09
7	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-	-	0,55	0,013	-	2,21	-	0,17
14	0,11	0,0008	-	-	0,15	-	0,1991	-
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	-	-	0,72	0,088	-	-	-	-

El arroyo El Cano aporta, en estiaje, un caudal líquido tres veces superior al San Antonio, mayor caudal sólido (asociado a la presencia de importante relleno sedimentario en los valles serranos) y las sales disueltas totales son levemente inferiores. Por su parte el San Francisco en su tramo permanente presenta muy bajo caudal pero las SDT son las mayores medidas

Los caudales son levemente superiores en los aforos realizados en el mes de mayo, cuando los acuíferos fracturados de las sierras poseen mayores reservas, en comparación con el mes de agosto.

Las mayores velocidades se observan en las estaciones (13) y (17), donde el canal presenta la menor rugosidad y mayor gradiente. Las sales disueltas poseen los valores más altos también en estas estaciones debido al amplio tiempo de contacto del agua con los materiales, en su recorrido a través de toda la cuenca.

Según comunicación verbal del Sr. Dani Rosaroli, que reside en cuenca media en proximidades del curso principal, las subcuencas de los arroyos El Cano (B) y San Antonio (A) son las de mayor torrencialidad. La información brindada por este poblador permitió construir un limnigrama representativo para ese sector de la cuenca (de régimen efímero), luego de una lluvia moderada distribuida homogéneamente en el sector serrano (Fig. V.2). La gráfica es marcadamente asimétrica e indica que partiendo de canal seco, en aproximadamente 2,5 hs, llega la onda de crecida (0,8 m altura de agua), alcanzando el valor pico (1,5 m de altura de agua) luego de media hora. La curva de recesión involucra un tiempo entre 8-12 hs.

El marcado pico de crecida está influenciado principalmente por la gran superficie serrana que drenan estos cursos. Tal como se indicara precedentemente, allí predominan rocas de basamento, por lo tanto se trata de una zona de baja infiltración, lo cual sumado a las pendientes generales relativamente elevadas (5%), que en algunos casos llegan al 10%, controlan a la mayoría de las variables y aumentan notablemente el escurrimiento. Además, la forma triangular de la subcuenca San Antonio y los altos índices de Dd y Fd de los sectores serranos tanto de ésta última como la de El Cano, facilitan la llegada rápida de los escurrimientos a los colectores principales.

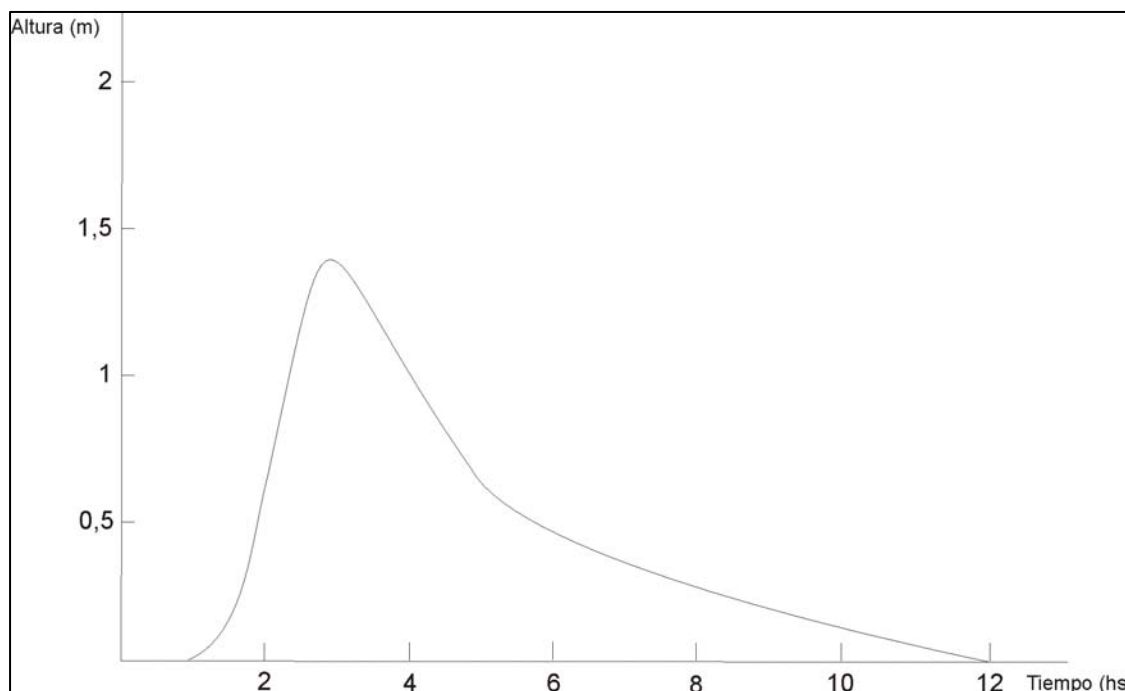


Figura V.2.: Limnograma de crecida aportado por Dani Rosaroli, comunicación verbal.

Los registros de crecidas aportados por los pobladores indican crecidas importantes en los años 1955 (precipitación en sierra de 300 mm en aproximadamente 3 hs), 1982, 1992 (27/12 con desborde del arroyo San Antonio), 1998 (13/12 con desborde del arroyo San Antonio) y 2004 (25 /11 con desborde del arroyo El Cano en cuenca media).

Ya que la cuenca no cuenta con registros hidrométricos y, considerando que los caudales de crecida son los de mayor importancia morfodinámica, se estimó el valor de la descarga a partir del relevamiento de campo de áreas de secciones transversales donde se encontraron indicadores de crecida y se calculó la velocidad media aplicando la ecuación de Manning. Los términos de la ecuación de Manning ($V=R^{2/3}S^{1/2}/n$) se obtuvieron de la siguiente manera: - el radio hidráulico (R) que se define como el cociente entre el área y el perímetro mojado se determinó a partir de las áreas relevadas a campo, - la pendiente del gradiente de energía (S) se aproximó a partir de la hoja topográfica del IGM, esc. 1:50.000 y el coeficiente de rugosidad se obtuvo de tablas (Ven Te Chow et al., 1994).

El caudal de crecida estimado para la sección transversal en la estación de aforo 4, fue de $180 \text{ m}^3/\text{seg}$, mientras que para la cuenca media del arroyo El Cano es de $220 \text{ m}^3/\text{seg}$ y para la estación 13 es de aproximadamente $260 \text{ m}^3/\text{seg}$.

V.3.- Intervenciones antrópicas en la red de drenaje

En el área se distinguen varias intervenciones directas e indirectas sobre los cursos de aguas, (Fig. V.1.), planificadas y ejecutadas con el objetivo de controlar la erosión (lateral, retrocedente, vertical) y los desbordes asociados a los canales principales.

Algunas de las obras fueron realizadas varias décadas atrás, y son mantenidas actualmente, por los propios productores como, por ejemplo, el albardonado en la faja fluvial del arroyo El Cano en su tramo medio.

En otros casos las obras fueron ejecutadas por la DIPAS (Dirección Provincial de Agua y Saneamiento), como ocurre con la sistematización del tramo inferior del arroyo San Francisco, el más intervenido de la cuenca. En este curso se llevaron a cabo las siguientes obras:

a- *Construcción de un vado con alteo sobre un camino vecinal* (Foto V.10.) que intenta resistir el retroceso del frente de erosión, iniciado aguas abajo desde el área de descarga. Aguas arriba de esta obra se genera una importante pileta de quietamiento (Foto V.11.), que contribuye a disminuir la velocidad de los escurrimientos.

b- *Canalización* (Foto V.12) de aproximadamente 2400 m desde la zona de derrames del arroyo San Francisco hasta el arroyo El Cano. En el cruce de caminos vecinales el canal está entubado (Foto V.13.) y, en un caso particular, se construyó un vertedero para conducir posible desbordes (Foto V.14.). El tramo canalizado presenta escaso mantenimiento y un diseño subdimensionado e ineficiente para evacuar caudales de crecidas habituales, por lo tanto frente a tormentas de mediana y alta intensidad, fácilmente se producen desbordes y el arroyo San Francisco termina confluyendo al arroyo El Cano 4 km aguas abajo de la canalización.

c- Finalmente, el arroyo San Francisco 100 m antes de la confluencia con el arroyo El Cano presenta una importante *obra de control de cabeceras* de 45 m de largo y



Foto V.10: Vado con alteo.



Foto V.11: Pileta de quietamiento.



Foto V.12: Canalización.

8 de ancho (Foto V.15a. y V.15b.). Se trata de una rampa inclinada de mampostería gavionada recubierta de cemento y la forma en planta es en embudo con el extremo ancho hacia aguas abajo. Se encuentra en buen estado de conservación y efectiva al presente, con estructuras diagonales discontinuas que junto con la pileta de quietamiento final amortiguan la velocidad de flujo.

Por otro lado en distintos sectores de la llanura, el escurrimiento de la cuenca se ve modificado por la presencia de los caminos rurales, varios de los cuales se convierten en colectores durante las tormentas y se inhabilitan para la utilización de los pobladores. Este fenómeno se ve potenciado por el uso de maquinaria para el mantenimiento de los caminos, acelerando su profundización y desencadenando graves problemas de accesibilidad. En un caso particular se produjo el abandono de un Centro de Educación rural y actualmente ocurre algo similar en uno de los caminos de acceso a la Escuela "de Prato" de educación primaria y nivel inicial; el cual en un sector ya fue inhabilitado y el

nuevo tramo también se torna intransitable durante tormentas de mediana intensidad (foto V.16.).



Foto V.13.: Entubamiento del arroyo San Francisco ubicado inmediatamente aguas abajo del primer tramo canalizado.



Foto V.14.: Vertedero ubicado aguas abajo de entubamiento del arroyo San Francisco.



Foto V.15a.: Obra de control de cabecera en confluencia arroyos San Francisco-El Cano.



Foto V.15b.: Cabecera de cárcava menor en la confluencia entre los arroyos San Francisco y El Cano.



Foto V.16.: Camino inhabilitado por erosión.

Finalmente en algunos sitios se observan albardones en los lugares de desborde de los arroyos El Cano y San Francisco; también hay varios diques de tierra en cabeceras de cárcavas construidos por los propios productores (Fig.V.1.).

VI. USO DE LA TIERRA

Desde las sociedades más primitivas hasta las actuales hay evidencias de distintos modos de interacción entre el hombre y la naturaleza. Brailovsky y Foguelman (1993) señalan que se trata de un fenómeno de *coevolución*, en donde los seres humanos transforman la naturaleza y los cambios en ésta modifican a las sociedades humanas.

El objetivo del presente capítulo es efectuar un breve análisis del uso del territorio en la cuenca del arroyo El Cano, desde tiempos históricos a la actualidad, poniendo especial énfasis en los cambios ocurridos en las últimas décadas con el fin de contribuir a interpretar la *coevolución* e intentar establecer algunas relaciones entre el modo de ocupación del territorio y las alteraciones morfodinámicas de esta cuenca y su tendencia futura.

VI.1. Evolución del uso del territorio

Previo a la llegada de los españoles, esta región estaba habitada por pueblos originarios, entre los que se destacan los **Comechingones**, los **Pampas** y los **Ranqueles**. Los primeros, ocupaban la zona serrana y periserrana, llegaron a ser importantes en número de población, eran sedentarios y llevaron a cabo las primeras actividades agrícolas (roturación, nivelación y riego) en los valles serranos y también las primeras pastoriles (llama, alpacas). El riego se efectuaba por irrigación, para lo cual utilizaban el agua proveniente de los cursos. Además eran cazadores y recolectores. En las planicies intermedias y bajas vivían comunidades nómades, recolectoras y cazadoras como los *pampas* y *ranqueles* que solían utilizar el fuego como estrategia de caza. En general, *en este período, la relación hombre medio es armónica y la presión de uso baja, quizás las quemas fueron uno de los efectos ambientales más importantes ocasionados por estos pueblos indígenas.* (Brailovsky y Foguelman, 1993).

En el **período colonial**, todas las tierras situadas al Sur del río Tercero hasta proximidades del río Quinto ("límite con los infieles") estaban otorgadas por Merced a la familia Cabrera (descendiente del fundador de Córdoba)

estableciéndose varias estancias dedicadas a la actividad ganadera, ocupadas por muy pocas personas (encargados y familias, indios de encomienda o reducidos). Como las más importantes, Barrionuevo Imposti (1986 a y b), menciona: San Esteban de Bolón (Río Cuarto), San Bartolo, El Tambo, San Francisco (El Cano), Las Peñas y San Lorenzo de Licsín (Río de los Sauces). Como ejemplo de la actividad que estos centros desarrollaban, un inventario de 1633 indica corrales de piedra y 2000 ovejas en la Ea. San Francisco - El Cano, 1000 yeguas de vientre, crías de mulas y 50.000 vacas de campaña y sierra en la Ea. San Bartolo.

Eran dos los caminos más importantes que existían en la cuenca en esa época que bajaban desde el Norte, uno fundamentalmente de caballo que desde río Tercero, tomaba por La Cruz, Los Sauces, San Bartolo, Las Tapias, Piedras Blancas y luego cruzaba hacia Renca, La Carolina y San Luis y, el otro, desde río Tercero pasaba por las Peñas y Tegua (Barrionuevo Imposti, 1986).

Una constante del manejo de los recursos durante la época colonial es la falta de aprovechamiento de la aptitud agrícola de los suelos, debido a las condiciones de tenencia de la tierra, predominaba la ganadería latifundista que utilizaba el ganado cimarrón que en ese entonces había poblado la planicie y al que se asocia, modificación de la vegetación (Brailovsky y Foguelman, 1993).

Durante la **Revolución Libertadora y Anarquía (1810-1860)**, los recursos se explotan de modo muy extensivo. *La agricultura era mala palabra y la ganadería utilizaba ganado cimarrón que continuaba abundando en las pampas, para exportar cueros y carne salada*, (Brailovsky y Foguelman, 1993).

El **Modelo agroexportador (1860-1930)** corresponde al período donde la Argentina se inserta en la división internacional del trabajo con el rol de proveedor de carnes y cereales. Al promulgarse en 1863 la Ley Nacional de Inmigración, se inició la verdadera ocupación de estas tierras con asentamientos importantes, proceso que estuvo acompañado del tendido de vías férreas en las últimas décadas del siglo XIX. Así surgieron numerosos núcleos urbanos en la región como Elena, Alcira Gigena y Berrotarán, entre otros.

Si bien hasta mediados de 1920 la ganadería vacuna aún seguía siendo la actividad más importante en la región pampeana, la relevancia de la agricultura se hizo notoria en las chacras familiares, potenciada por una incipiente mecanización en la cual se comenzaron a importar arados, sembradoras, cosechadoras y otras máquinas.

Al principio la producción era de grano fino, invernal, fundamentalmente trigo y en menor grado lino, combinada con verdes de invierno como avena y centeno. El maíz, que tenía una antigua tradición en la zona, fundamentalmente en el departamento Río Cuarto, pasó a predominar rápidamente sobre los cultivos de invierno que prácticamente desaparecen por el alto grado de inseguridad climática (inviernos secos) y por la intensa sequía del período 1950-1954. En la década del 60' se introduce el girasol y en la década del 70' la soja, desplazando fuertemente al maíz.

En **el modelo industrial (1930-1976)**, la Argentina se industrializa como una política de Estado, constituyendo la época con mayor ocupación y el mejor salario en la cual el nuevo diseño de país atiende más lo social que lo ambiental, la naturaleza es vista como *materia prima* y como *sumidero*. La contaminación es la gran secuela de este período.

El **último período (1976-2010)**, comenzó con la ganadería asentada principalmente en bovinos para producción de carne y leche, cerdos y ovinos y caprinos, éstos dos últimos en el sector serrano donde se utilizan pastos naturales palatables. *Esta actividad suele potenciar los procesos erosivos en algunos sitios de las sierras por sobrepastoreo y quemadas anuales.*

Paulatinamente la ganadería fue desplazada por la agricultura, la que en su desarrollo estuvo acompañada de una masiva mecanización e incorporación de agroquímicos. *Los impactos más visibles producidos por este modo de explotación, se vinculan al incremento de las tasas de erosión de suelos, lo que ha llevado a la aplicación de técnicas como la labranza cero o siembra directa, cuyos resultados son muy discutibles no sólo por el aumento en el empleo de fertilizantes químicos, tanto nitrogenados como fosforados, sino por sus implicancias en las propiedades físicas del suelo.*

Según comunicaciones verbales de los pobladores toda la llanura del área de estudio, desde tiempos históricos ha sido utilizada en forma mixta entre agricultura y

ganadería, siendo la primera abocada al maíz y al trigo antes de la década del 90'; y a la soja y al maíz desde 1990 en adelante. En tanto la ganadería fue predominantemente vacuna, con buen desarrollo hasta los años 1995-2000, a partir de los cuales fue relegada ocupando su lugar el cultivo de soja, potenciado por las nuevas tecnologías de agricultura extensiva de siembra directa y la aparición de los agroquímicos en la producción.

VI.2. Uso actual del territorio

Contrariamente a lo ocurrido en la mayor parte de la pampa húmeda, donde los pequeños y medianos productores alquilan sus campos a los pool de siembra de soja y se mudan a centros urbanos; el área de estudio aún conserva a los descendientes de productores originales, en muchos casos residiendo en sus chacras de no más de cientos de hectáreas y adaptados a los nuevos métodos de producción.

Según el Atlas de Suelos de la República Argentina del INTA en el área extraserrana se presentan suelos de moderado desarrollo, del orden de los Molisoles, con horizontes cámbicos y pertenecen al grupo de los Hapludoles y Haplustoles, según se sitúen en el pedemonte o en la llanura, respectivamente. A continuación se describe el uso del territorio en la cuenca de estudio, cuya distribución espacial se presenta en la Fig. VI. 1.

Uso mixto con predominio ganadero extensivo: caracteriza al área serrana, donde utilizando pasturas naturales se cría ganado ovino y bovino (Foto VI.1.). subordinadamente, los valles mayores con buenos espesores de relleno sedimentario se emplean con fines agrícolas, fundamentalmente maíz. Finalmente, se observa muy localizadamente dos zonas con uso forestal (coníferas) (Foto VI.2.).



Foto VI.1.: Ganado ovino en el sector serrano, cercano a la divisoria de cuenca.



Foto VI.2.: Uso forestal y ganadero (bovino) en área serrana.

Uso mixto con predominio agrícola: se lleva a cabo en las zonas pedemontana (Foto VI.3.) y de llanura (Foto VI.4.) del sector central de la cuenca, en donde pueden observarse extensas áreas destinadas al cultivo de soja y, en forma subordinada maíz, en algunos casos en rotación con el cultivo anterior. Secundariamente, se realiza ganadería de bovinos y principalmente cría intensiva de porcinos (Foto VI.5.).

Uso mixto con predominio agrícola y pastoreo subordinado: en el sector oriental se cría el ganado vacuno (Foto VI.6.) y el porcino, como actividad complementaria al cultivo de soja y maíz dominante. En algunas áreas, se hace exclusivamente ganadería utilizando pasturas naturales, como ocurre en la zona de descarga del arroyo San Francisco donde predomina la cría de bobinos (Foto VI.2.7.).

Sitios de disposición de residuos: es importante mencionar que hay varios lugares donde se disponen residuos de distintos tipos, ubicados comúnmente en cabeceras de cárcavas y diferentes puntos de los cursos principales (Fig. VI.1. y Fotos VI.8., VI.9. y VI.10.).

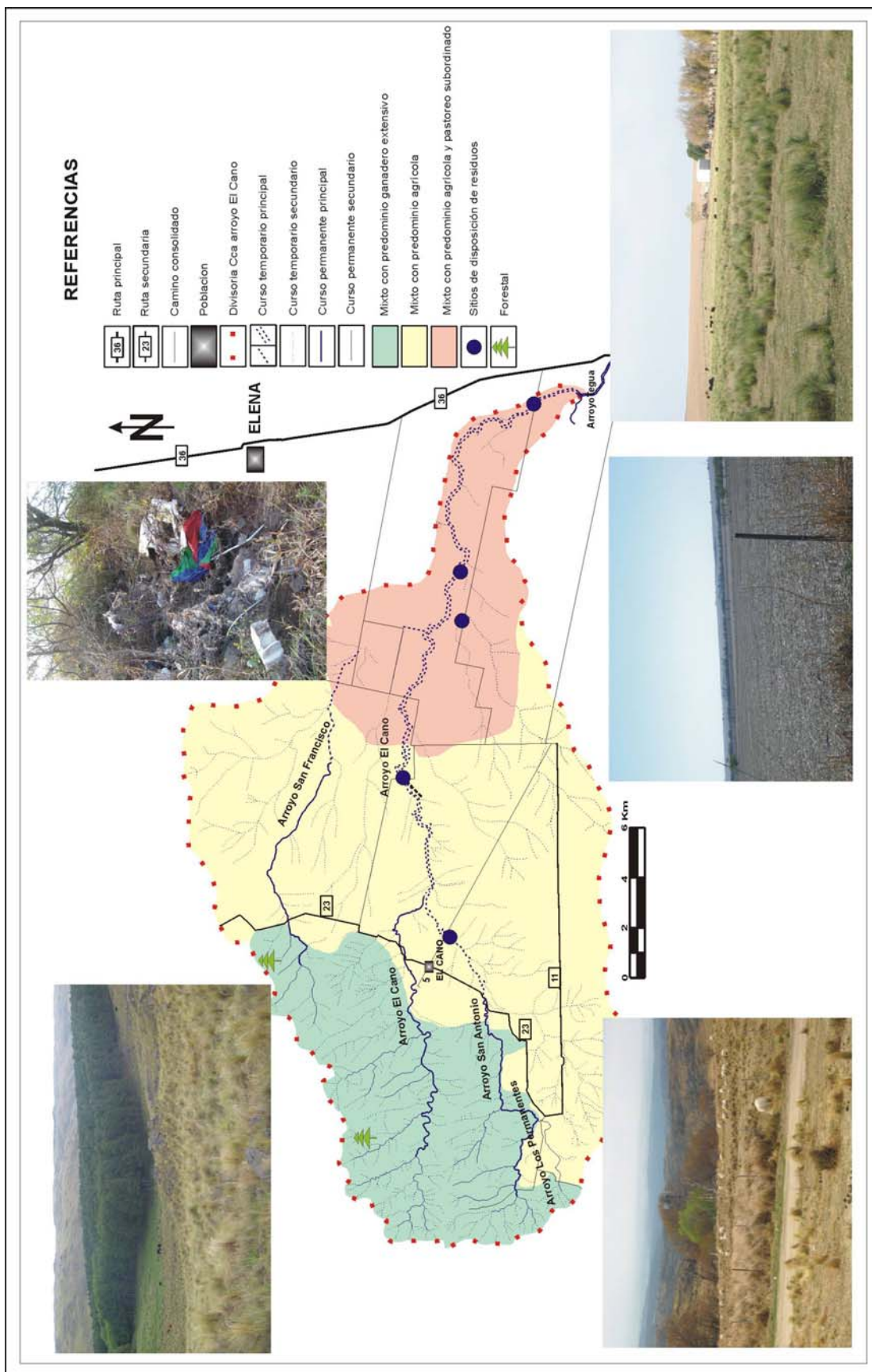


Figura VI.1.: Mapa de uso actual del territorio en la cuenca del arroyo El Cano.



Foto VI.3.: Campo con curvas de nivel en zona pedemontana.



Foto VI.4.: Campo con rastrojo de soja en cuenca media.



Foto VI.5.: Cría de porcinos.



Foto VI.6.: Ganado bovino en pastura natural, cuenca media-baja.



Foto VI.7.: Ganado bovino en pastura natural, cuenca media-baja (derrames arroyo San Francisco).



Foto VI.8.: residuos ubicados en vado de la estación de aforo (12), arroyo El Cano.



Foto VI.9.: Residuos ubicados en cabecera de cárcava de cuenca media del arroyo El Cano.



Foto VI.10.: Residuos ubicados en el canal del arroyo El Cano, estación de aforo (11).

VI.3. Protección del recurso

Como ya se señaló, existen registros de impacto sobre los recursos suelo y agua desde tiempos históricos. Sin embargo en las últimas décadas la presión de uso sobre el suelo viene creciendo en forma exponencial, se ha incrementado la susceptibilidad a la erosión y los caudales líquidos y sólidos que llegan a los colectores en las crecidas. Con el objetivo minimizar las alteraciones negativas en el área se conformó en abril del 2010 la Asociación de Consorcios de Conservación de Suelos de la cuenca arroyo Tegua (reglamentado por la Ley 6628/81 y 6648/82 de creación de Distritos de Conservación de Suelos de la Provincia de Córdoba en adhesión a la Ley Nacional 22428), en el cual los productores participan activamente.

Los productores sostienen que la inclusión del método de siembra directa (labranza cero), tuvo en algunos aspectos un impacto positivo en lo que respecta a la conservación de este recurso, otorgando cobertura al horizonte superficial y por lo tanto disminuyendo las tasas de erosión hídrica. Sin embargo, luego de varios años de aplicación de esta técnica sin una rotación adecuada, la compactación podría producir el aumento de la erosión.

También afirman que la implementación del cultivo de soja por siembra directa, de importantes réditos económicos, trajo aparejado la necesidad de incrementar los desmontes con el fin de ampliar las áreas cultivables, quedando intactas solo aquellas zonas con basamento subaflorente en la zona pedemontana y las márgenes de los cursos en su cuenca media alta.

Becker (2005), en su trabajo de tesis doctoral "Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del Suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina", obtuvo interesantes conclusiones las cuales son relacionables a este trabajo y se exponen a continuación:

- Los sistemas de labranza presentan un alto nivel de compactación superficial vinculado al coloide orgánico, a las características texturales intrínsecas y al uso y manejo del suelo.
- La marcada disminución de la velocidad de infiltración en la siembra directa y en la labranza reducida con fertilización y sin pastoreo, está asociada a los altos niveles de compactación. En la labranza convencional los incrementos en la velocidad de infiltración se vinculan a un aumento significativo de los agregados más pequeños que generarían una mayor porosidad y facilitarían la circulación del agua en el horizonte superficial. En los sistemas con baja velocidad de infiltración se producirían importantes excedentes hídricos.
- La alta velocidad de infiltración en la labranza convencional esta controlada por la alta susceptibilidad a la formación de sello que provoca un fuerte condicionamiento al escurrimiento superficial del agua y a los procesos de erosión hídrica de la región.
- El control del escurrimiento, la erosión hídrica laminar y la pérdida de nutrientes en pendientes en la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, con suelos con alta susceptibilidad a la erosión, debido a la fragilidad intrínseca y a la degradación superficial, dependerá de la eficiencia del uso y manejo en superficie a través de una

rotación adecuada de los cultivos y una mayor cobertura del suelo, en los momentos de alta probabilidad de ocurrencia de tormentas intensas.

En base a estas afirmaciones se puede decir que la conservación del recurso está fuertemente ligada al manejo del mismo, por tal motivo y considerando que la labranza convencional ya no constituye una posible actividad a desarrollar frente al amplio dominio de las nuevas tecnologías, se debería apuntar a un equilibrio en la rotación de cultivos y el pastoreo, obteniendo así una adecuada estructuración del suelo que mantenga bajas tasas de erosión eólica y principalmente, mediante la buena taza infiltración, no permita incrementos importantes en los excesos hídricos, los cuales aumentan tanto la erosión hídrica, la erosión fluvial y el transporte de contaminantes.

VII. ANALISIS MORFOLOGICO, MORFODINAMICO Y MORFOEVOLUTIVO DE LA CUENCA Y FAJA FLUVIAL

Como la mayoría de los sistemas fluviales del Sur de la provincia de Córdoba (Blarasin et al., 1994; Degiovanni, 2008; Degiovanni et al., 2009; Doffo et al., 2010) la cuenca del arroyo El Cano ha experimentado modificaciones muy notorias en la última centuria, a las cuales se asocian diferentes problemáticas ambientales.

Los cambios operados no son uniformes y presentan una marcada variabilidad en espacio y tiempo, dependiendo no solo de la posición en la cuenca, sino del contexto geológico-geomorfológico, régimen climático y actividades humanas. En este capítulo los mismos serán caracterizados tanto a escala regional como local, considerando la cuenca de drenaje, en general, y el canal, en particular.

VII.1. Evolución de la cuenca de drenaje en la última centuria

Tal como se indicara precedentemente (Capítulo 1), para analizar y reconstruir la evolución morfohidrológica y la integración de la red de drenaje de la cuenca del arroyo El Cano, se caracterizaron los distintos estadios a partir de mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales de escalas y años diferentes.

El estadio más antiguo documentado corresponde a **finés del siglo XIX e inicios del XX** donde, en las cartas de Martín de Moussy (1865), Brackebuch (1883) y Ríos y Achaval (1906), se observa que las cuencas serranas, tanto las mayores (Río de Los Sauces, Alpa Corral, San Bartolomé, entre otras) como las menores, que integran la cuenca en estudio (San Francisco, El Cano, San Antonio y Los Permanentes), presentan características muy similares a las actuales. Lo mismo ocurre con el arroyo El Barreal (arroyo de los Medanos en Ríos y Achaval, (1906)) y su colector el arroyo Tegua. Sin embargo se observan *notorias diferencias en la red de drenaje del área de llanura*. (Fig. VII.1)

Los actuales sistemas de los arroyos Mosuc Mayú y Tegua propiamente dicho no están definidos y las zonas que actualmente constituyen su área de nacientes, según la cartografía Ríos y Achaval (1906), formaban parte de dos zonas deprimidas y elongadas con pendiente hacia el SE, donde se localizan una serie de bañados (Pozo de la Botija, Pozo del Portezuelo), y algunos sistemas lagunares definidos (Lagunas Seca y Chica).

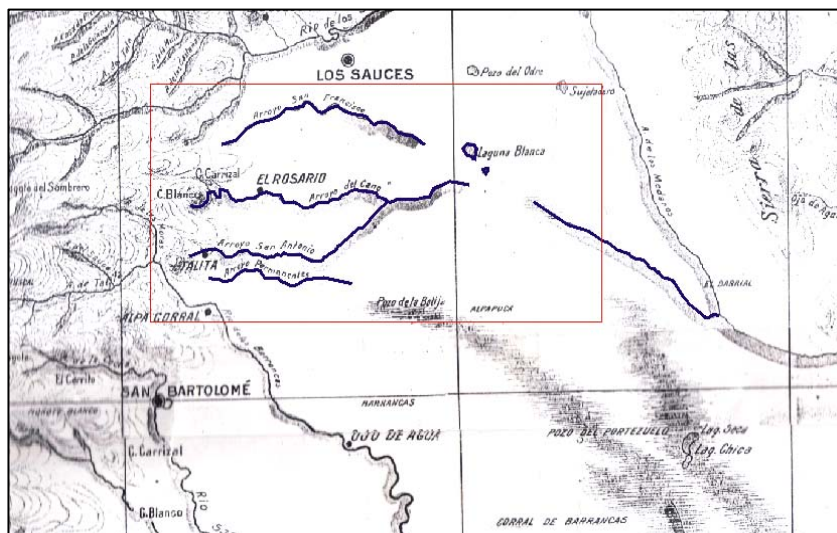


Figura VII.1: Hidrografía del área de estudio según Ríos y Achaval (1906).

Estos bajos, no presentan ningún tipo de rasgos de encauzamiento (densidad de drenaje =0), pero se interpreta que se conectaban durante los eventos de tormenta por escurrimientos mantiformes (Fig. VII.1.).

La cuenca del arroyo El Cano se encuentra desconectada geomorfológicamente de la cuenca del arroyo Tegua, aunque desde el punto de vista hidrológico, muy probablemente, ya se vinculaban. El arroyo El Cano (ya integrado con el San Antonio) y el San Francisco; descargaban en el sector central del valle La Cruz-Gigena, en una zona deprimida que presenta algunos cuerpos lagunares (Laguna Blanca, Fig. VII. 1). Hacia el SE, se observa un tributario (sin nombre) del arroyo Tegua, con el que se conectaba el sistema anterior durante las crecidas importantes. El arroyo Los Permalentes, aún no era afluente del San Antonio y descargaba en la zona pedemontana hacia ESE (Fig. VII.1.).

En el mapa de zonas de riego del río Cuarto y arroyo Santa Catalina (Dirección General de Irrigación, Cba.) del año **1938** se observa que la red continúa desconectada y con características muy similares al anterior estadio.

Las fotografías aéreas, escalas 1:20.000, de **1970**, ya muestran marcados cambios en la integración de la red de drenaje. Se observa una continuidad morfohidrológica, a través de un colector principal, entre las cuencas serranas de los arroyos San Antonio, Los Permalentes y El Cano, con el arroyo Tegua. El arroyo San Francisco, continúa descargando en el área deprimida anterior, pero la Laguna Blanca, ya no aparece como tal, y la superficie ya está incorporada a la actividad agropecuaria. Por otra

parte, las áreas deprimidas con humedales (Pozo de la Botija, entre otros) son drenadas por dos nuevos afluentes del arroyo Tegua: el Mosuc Mayú y el Tegua propiamente dicho.

El proceso de integración registrado en este estadio puede interpretarse como la intersección espacial de dos mecanismos:

a) migración de frentes de erosión retrocedente disparados desde el arroyo Tegua, receptor principal y cota de referencia de todo el sistema, que provoca incremento hacia aguas arriba de la longitud del canal, y

b) desbordes y extensión del canal desde las zonas de descarga de los cursos serranos hacia aguas abajo.

En el área de llanura, se registran en general rasgos erosivos incipientes, constituidos por surcos que comienzan a integrar la red de nuevas subcuencas extraserranas, muy importantes por las dimensiones del área drenada.

El arroyo El Cano en la antigua área de descarga y el San Antonio en su cuenca baja poseen el máximo ancho de canal (30-40 m), patrón recto y canal único con procesos tendientes a ampliar la longitud de onda de los meandros.

Estos procesos naturales, fuertemente asociados a crecidas de magnitud, estarían potenciados por intervenciones antrópicas menores en la red de drenaje, pero de fuerte impacto en la dinámica fluvial, como pequeñas canalizaciones a nivel de predio (utilizando arado), drenaje de zonas anegables para uso agrícola, albardonado, entre otras.

Por otro lado, entre este estadio y el anterior, se registran importantes ciclos húmedos tanto en la serie Los Chañares (1953-1968), como en la de Moldes (1912-1933 y 1953-1968), a los cuales se asocian importantes excesos hídricos y crecidas de magnitud, como la del año 1955. Este evento extraordinario habría desencadenado procesos erosivos que contribuyeron fuertemente en la integración de la red.

En las fotografías aéreas (esc.: 1:60.000) de **1989** el arroyo San Francisco está conducido artificialmente en el tramo final antes de su desembocadura en el arroyo El

Cano, sin embargo aún se observan evidencias de desbordes en la antigua zona de descarga y en el tramo canalizado.

En general, en esta etapa, se destaca el dominio de procesos erosivos. La subcuenca del arroyo San Francisco posee varios frentes de retroceso en cabeceras de cárcavas, que avanzan en múltiples direcciones siguiendo preferentemente el trazado de la paleored pleistocena. Otras subcuencas, como la D de la Fig. V.1., presenta un colector principal y una red de drenaje en vías de integración con cabeceras de cárcavas avanzando sobre ese eje, intercaladas con zonas de derrames y surcos. Esta subcuenca evoluciona mediante coalescencia de cárcavas (Bull, 1997; Fig. VII.2.) a un canal único de régimen efímero.

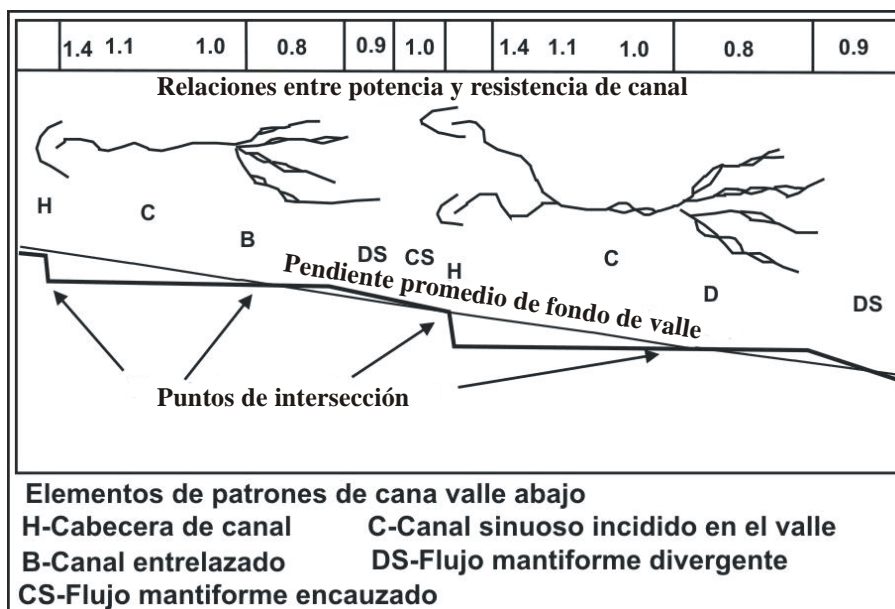


Figura VII.2.: diagrama en planta y perfil longitudinal de una secuencia de patrones de canal efímeros y discontinuos (Bull, 1997).

El arroyo El Cano posee en este estadio un único canal, con tendencia al aumento de la longitud de onda de los meándros y ancho (en algunos sectores supera los 40 m); este último se observa más uniforme que en la década del `70. En general la altura de las barrancas ha aumentado con respecto al estadio anterior.

El arroyo San Antonio en la zona de llanura se presenta con un leve aumento de la longitud de onda de sus meandros e importante disminución del ancho de su canal (de 30 a 15 m) en esos tramos sinuosos.

La dinámica desde el año 1970 hasta este estadio responde, en primera medida a la masiva mecanización que se vincula al incremento de la erosión de suelos y por ende

contribuye a la integración de la red. Pero la causa más importante está ligada al factor climático, puntualmente a las variaciones entre el periodo seco (registrado en la serie Los Chañares y en la de Moldes) finalizado entre los años 72' y 77' que hace susceptible al sistema a los procesos erosivos y es inmediatamente sucedido por un ciclo húmedo que incluye a fines de la década del 70' y gran parte de la del 80'. La crecida del año 1982 pertenece a éste último ciclo y generó cambios morfológicos de consideración.

En la imagen satelital del **año 2008**, se observa una condición similar a la actual, se puede decir que la red continúa integrándose, los procesos erosivos son más evidentes en las principales subcuencas, con aumento general del ancho del canal principal, más notorio en cuenca media y baja (llega a 60 m) y variaciones tanto crecientes como decrecientes de las longitudes de onda de los meandros y su tasa de migración.

En la subcuenca E (Fig. VI.1.), se registra por primera vez un colector principal, sin embargo los rasgos erosivos como cárcavas y surcos aún no son muy notorios, a diferencia de lo que ocurre en las subcuencas C (San Francisco), D y E, las cuales presentan redes efímeras muy activas.

Nuevamente la dinámica esta respondiendo principalmente al factor climático mediante la alternancia entre un ciclo seco (1995-1997) y uno húmedo (1998-2002) que incluye eventos de crecidas muy notorios en los años 1992, 1998 y 2004, en este último la precipitación anual superó en aproximadamente 400 mm el valor de la media.

En lo que respecta al factor antrópico, si bien en las últimas décadas se incrementaron las áreas con uso agrícola (especialmente soja), según opinión de los productores, la implementación de la siembra directa y algunas obras de sistematización de erosión hídrica en los predios rurales disminuyeron los escurrimientos superficiales.

Procesos de integración actual e implicancias hidrológicas

Al analizar más detalladamente las subcuencas de llanura se observa que los mecanismos evolutivos difieren y esto implica comportamientos morfohidrológicos diferentes, tal como surge del tratamiento morfométrico efectuado en las subcuencas C (San Francisco), D y E, todas ellas con un colector principal y consideradas representativas de las distintas morfodinámicas debido a su amplio desarrollo (Fig. VII.3).

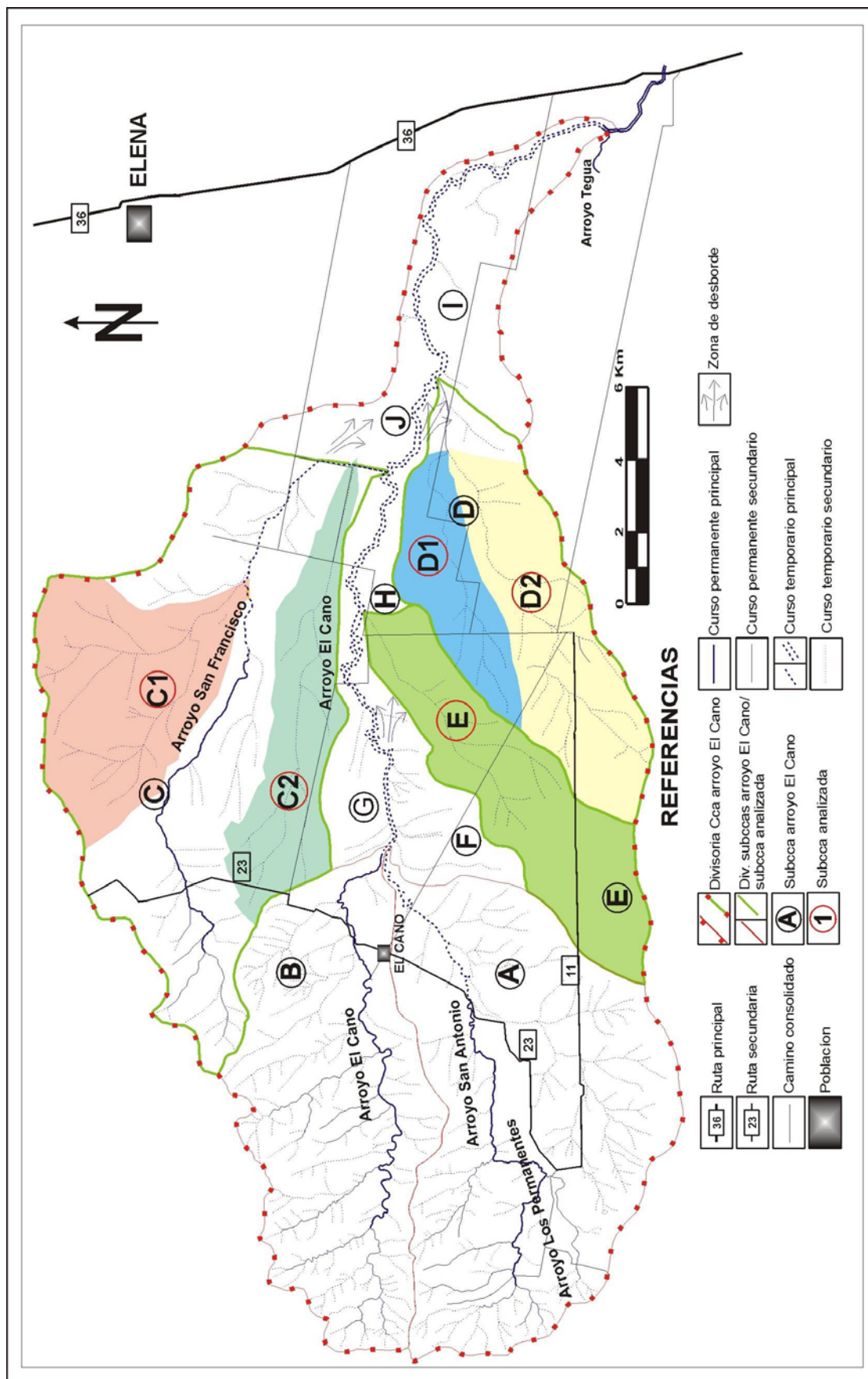


Figura VII.3.: Mapa hidrológico con indicación de subcuencas con análisis morfométrico.

Los parámetros seleccionados para el análisis fueron aquellos que por un lado muestren condiciones geológico-geomorfológicas diferentes que controlan la red de drenaje, como densidad (Dd) y frecuencia de drenaje (Fd) y, por el otro, brinden información de la respuesta hidrológica de las cuencas analizadas, como la relación de bifurcación (Rb), de longitud (RI) y el coeficiente de almacenamiento (Rho). En la Tabla VII.1 se presentan los valores determinados para las distintas subcuencas:

Se observa que la subcuenca C1 del arroyo San Francisco posee los mayores valores de Dd (1,41), Fd (1,2) y Rb (3,61) y el menor valor de Rho (0,42); indicando respectivamente, grandes longitudes y alta bifurcación de cursos por unidad de área, baja capacidad de almacenamiento y mayor torrencialidad.

Por su parte, los altos valores de RI que presenta la cuenca D (2,97 y 3,7 para las subcuencas D1 y D2, respectivamente), indican que el aumento en el número de orden de los cursos va acompañado de un considerable incremento en sus longitudes, en oposición a lo que ocurre en la subcuenca C1, donde con un número de orden 4 presenta la RI más baja (1,52).

Finalmente la cuenca (E1) se destaca por la baja densidad de drenaje lo que correspondería a una cuenca juvenil con importantes áreas drenadas sin encausar.

Tabla VI.1.: Parámetros morfométricos de las cuencas C (San Francisco), D y E.

Cca	Subcca	Dd	Fd	Rb	RI	Rho	Nº de orden
SF(C)	(C1)	1,41	1,2	3,61	1,52	0,42	4
	(C2)	1,11	0,39	3	2,25	0,75	3
(D)	(D1)	0,7	0,44	2,25	2,97	1,32	3
	(D2)	1,12	0,74	4	3,7	0,92	3
(E)	(E)	0,63	0,44	3,25	2,33	0,72	3

Teniendo en cuenta lo expresado precedentemente se puede concluir que, en base a la Dd, las cuencas C (San Francisco) y D tienen una dinámica más activa, en comparación con la cuenca E. Por otro lado surge un claro contraste en el

comportamiento hidrológico entre, la alta torrencialidad (bajo Rho y alta Rb de la subcuenca C1); y la baja torrencialidad (Ri alta y bajo Rho) del resto de las cuencas analizadas, principalmente la D.

Las variaciones en la Dd y Fd responden a características geomorfológicas de las distintas subcuencas, las cuales comprenden diferentes relieves y pendientes locales que controlan la hidrología superficial en los distintos sectores.

Por un lado la morfología de la subcuenca C1, ubicada en la Llanura fluvio-eólica fuertemente ondulada, está condicionada por su instalación en la paleored de drenaje pleistocena que presenta considerables variaciones locales de pendiente en múltiples direcciones.

Por otro lado la subcuenca C2, está regida por el relieve moderadamente ondulado y la gran longitud y bajo gradiente de la pendiente del Alto estructural El Cano; que definen cuencas más elongadas y menos desarrolladas.

Finalmente las cuencas D y E, deben su morfología a variaciones locales de pendiente de la Llanura fluvio-eólica fuertemente ondulada, tal como ocurre en la subcuenca C1; sin embargo se diferencian de ésta, en la concentración de la dinámica erosiva en una o pocas direcciones a lo largo del eje de los valles colectores principales fuertemente controlados por estructuras del sistema N020°-040°).

VII.2. Análisis morfológico y sedimentológico del canal

VII. 2.1. Caracterización de la carga de fondo

En esta sección se describe la carga de fondo de los principales cursos de la cuenca, en base a 6 muestras tomadas del fondo de lecho, 2 sobre el arroyo San Antonio y 4 sobre el canal del arroyo El Cano, cuya ubicación se presenta en la Fig. V.I. Este análisis permite diagnosticar cambios en el suministro de sedimentos, identificar áreas de aporte y descarga, y con ello evaluar la influencia sobre las variables morfológicas dependientes como ancho, profundidad, pendiente y sinuosidad, entre otras.

En el Anexo II, se presentan los resultados del análisis granulométrico, histogramas de frecuencia, curvas de frecuencia acumulada y principales estadísticos de posición y tendencia central correspondientes a cada una de las muestras analizadas.

En general todas las muestras están pobremente seleccionadas, con granulometrías dominantes que varían entre arenas gravosas (M1 y M4), arenas gruesas (M5 y M6) y gravas arenosas (M2 y M3); aumentando levemente la cantidad de materiales finos hacia aguas abajo y disminuyendo la competencia. Las muestras presentan una moda con un ϕ 0 dominante en las estaciones de cuenca media-alta (M2, M3 y M4), y una moda en el ϕ 1 en las estaciones de cuenca media-baja (M5 y M6) y baja (M1) del arroyo El Cano.

Se distingue un dominio de histogramas casi simétrico correspondiente a las estaciones 11 (M6) y 12 (M1); ubicadas en cuencas media-baja y baja, del arroyo El Cano respectivamente, bajo grado de selección de todas las muestras.

La M3, ubicada en el arroyo San Antonio, 300 metros antes de la confluencia con el arroyo El Cano (estación 8), está pobremente seleccionada con asimetría negativa e importantes cantidades de materiales gruesos, escasos en el resto de las muestras, pertenecientes a la clase textural de las gravas con un ϕ -2 que supera el 19 % de porcentaje en peso. La causa de esta ocurrencia se debe por un lado, a la cercanía del Ambiente Serrano, el cual constituye un área de aporte importante, y por el otro, a que la cuenca del arroyo San Antonio presenta más del 30 % de desarrollo en zona periserrana donde se exponen en algunos tramos y están sujetas a erosión secuencias aluviales gruesas pertenecientes a la Formación Chocancharava, fundamentalmente en el tramo inferior donde constituyen los márgenes y el fondo del canal. Este fenómeno también influye en las gravas arenosas gruesas de la M2.

El dominio general de arenas gruesas muestreadas en todas las estaciones está influenciado fundamentalmente por la presencia en el fondo y márgenes del canal, de: clastos y matriz de composición ígnea-metamórfica de la Fm Chocancharava, aflorante en cuenca media-alta y media, con bajo grado de cementación en casi todos los casos (exceptuando entre otras, a la zona cercana a la M3); los depósitos recientes-actuales, de granulometría muy variada, incorporados principalmente por procesos gravitacionales a lo largo de toda la cuenca; y clastos de tosca erodados de la Fm Pampeano en cuenca media-baja y baja.

Por otro lado la presencia de rodados psefíticos de hasta 10 cm de eje mayor en algunas estaciones (Foto VII.1a. y VII.1b.), también responden a la incorporación de los depósitos de alta energía de la Fm Chocancharava.

Finalmente los materiales más finos (arenas finas y limos) provienen fundamentalmente de la erosión de la Formación La Invernada y Laguna Oscura componente principal de márgenes de cursos en cuenca media-baja e interfluvios de toda la cuenca.

El hecho de que el régimen de los cursos principales sea efímero en el área extraserrana repercute directamente en el grado de selección de los materiales del fondo



Foto VII.1a.: Vista carga de fondo (M3).



Foto VII.1b: Vista de carga de fondo (M6).

de lecho a lo largo de la cuenca. Debido al repentino incremento de energía, durante las crecidas los arroyos transportan y depositan casi de manera simultánea tanto materiales gruesos como finos, por lo tanto no es muy notoria la clásica variación granulométrica de los cursos permanentes donde se encuentran sedimentos gruesos en cuenca alta, medios en cuenca media y finos en cuenca baja.

VII.2.2. Análisis morfológico del canal

Ciertas variables dependientes como ancho, profundidad, pendiente, sinuosidad, entre otras; son el resultado de variaciones de la descarga y suministro de sedimentos (variables independientes o de control). Por lo tanto la morfología en sus tres dimensiones: longitudinal, transversal y en planta dependerá de los mecanismos de ajustes mutuos entre dichas variables.

En esta sección se analizarán las variaciones espaciales y temporales (cuando sea posible) de las principales características morfológicas del tramo extraserrano del arroyo El Cano, a través de parámetros morfométricos representativos del diseño en planta, sección transversal y perfil longitudinal.

VII.2.2.1. Diseño en planta

El diseño o patrón de un canal representa el modo en que éste ajusta su morfología en el plano horizontal para hacer más eficiente el gasto energético dentro del sistema fluvial, en estrecha combinación con los cambios que operan en la dimensión transversal y longitudinal. Si bien los canales exhiben una gran diversidad de formas en planta, todas ellas representan variantes de tres patrones básicos: *rectos*, *meandriiformes* y *entrelazados*, ya caracterizados en el trabajo pionero de Leopold y Wolman (1957). Los dos primeros poseen canal único diferenciándose por el índice de sinuosidad (recto $< 1,5$; meandriiforme $> 1,5$), mientras que el tercero es multicanal y en su definición se utiliza el índice de multiplicidad. Rust (1978), utilizando estos dos índices propone cuatro tipos básicos de diseño en planta, agregando a los tres clásicos el patrón *anastomosado* para caracterizar a un río de canales múltiples y alta sinuosidad. La clasificación genética de Schumm (1977 y 1985), de mayor riqueza geomorfológica, identifica tres patrones de canal (recto, meandriiforme y entrelazado) y los relaciona a las características de la carga transportada (predominio de carga en suspensión, mixta o de fondo), variación de la relación ancho/profundidad, gradiente, y grado de estabilidad del canal.

La ocurrencia de estos patrones básicos difiere sustancialmente, los canales rectos, entrelazados y anastomosados, representan condiciones más localizadas, en contrapartida, la mayoría de los ríos en diferentes condiciones climáticas y geográficas, tienen canales sinuosos o meandriiformes, como lo señala Leopold (1994) al indicar que aproximadamente el 90% de los canales mapeados en Estados Unidos son meándricos. Este diseño es el predominante en la naturaleza porque representa el modo más eficiente de utilizar y disipar la energía dentro del sistema fluvial.

Sinuosidad

La sinuosidad se define como la relación entre la longitud del eje (talweg) de canal activo y la longitud de valle. Para el análisis de este parámetro se utilizó la imagen satelital C_BERS-HRC, 2008 (INPE). Se estimó la sinuosidad del colector principal y luego se zonificó el canal según su variabilidad, obteniendo así seis tramos que abarcan desde la salida extraserrana del arroyo San Antonio (tramo 0); hasta la confluencia del arroyo El Cano con el arroyo Tegua (tramo 5) (Fig. VII.4.). Luego se realizó una comparación entre tramos y entre diferentes situaciones temporales, a partir de fotografías aéreas de los años 1970 y 1989 (Fig. VII.4. y Tabla VII.1.).

La totalidad del tramo estudiado posee, para el año 2008, una sinuosidad (S) de 1,11; por lo tanto se trata de un canal recto o de muy baja sinuosidad al igual que la mayoría de sus tramos. Analizado más detalladamente el diseño de canal alterna tramos rectos extensos con otros más reducidos, donde se desarrollan algunos meandros. Estos en general son irregulares, asimétricos, con longitud de onda variable (entre 150 y 900 m) al igual que su amplitud (entre 100 y 300 m) y exhiben una dinámica donde se combinan predominantemente procesos de rotación y extensión por sobre la traslación. Las rectificaciones en general se vinculan a mecanismos de avulsión y capturas a partir de cárcavas que, por erosión retrocederte, conectan dos ondas sucesivas

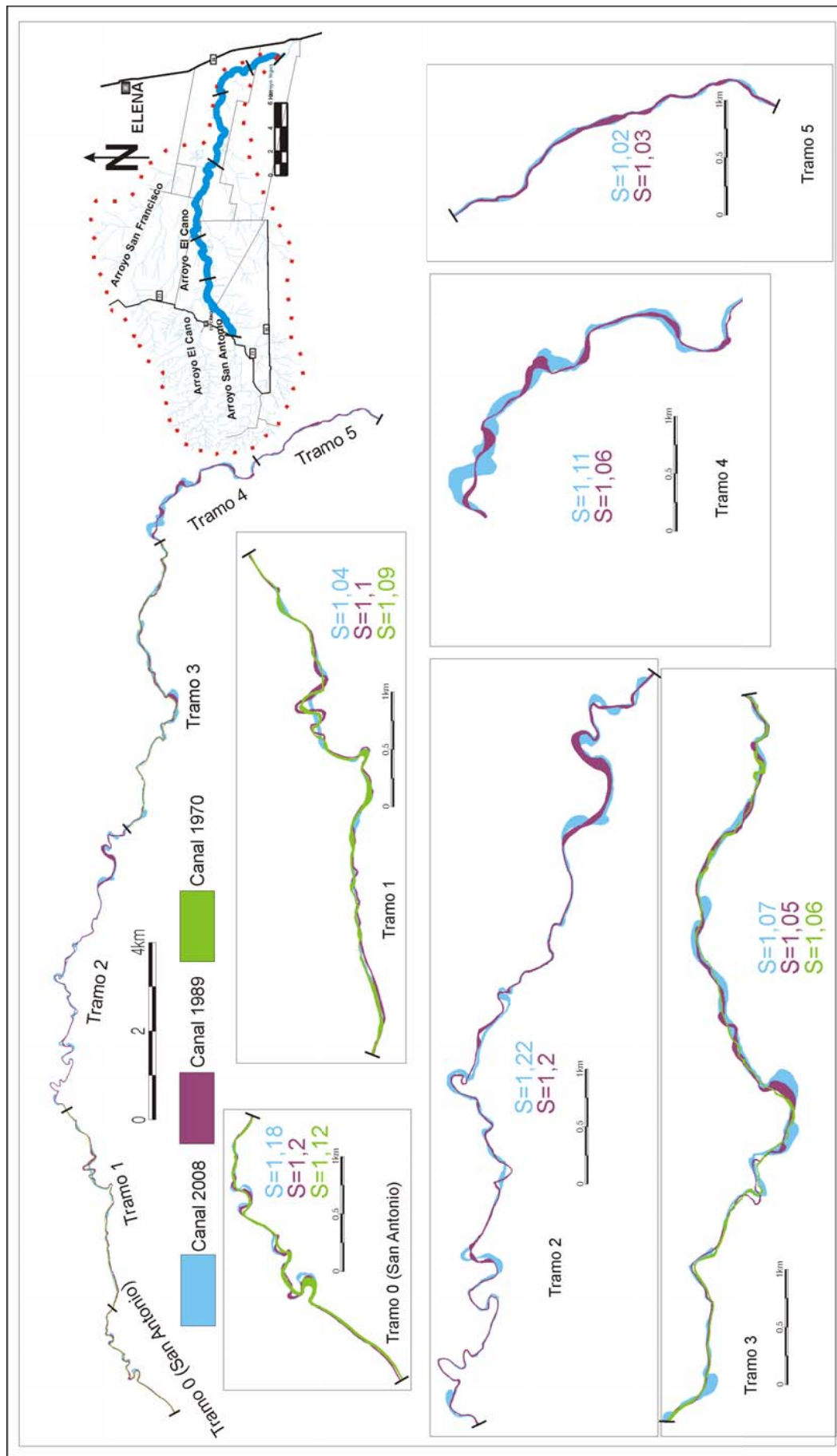


Figura VII.4.: Mapa de sinuosidades del arroyo El Cano y del último tramo del arroyo San Antonio.

Los tramos que se hicieron menos sinuosos en el tiempo (1 y 5) se relacionan a las mayores pendientes del curso, donde aflora material consolidado en el fondo de lecho (ya sea Fm Pampeano o Fm Chocancarava fuertemente cementada), en los cuales el curso incidió y se vió imposibilitado de migrar lateralmente; mostrando saltos en el tramo o inmediatamente aguas arriba del mismo. En otros sectores el incremento en el suministro de sedimentos/ o disminución del transporte de materiales genera tendencia a la avulsión y consecuentemente disminución de S. Por su parte, en los sectores donde aumentó la S (tramos 2 y 4), el frente de onda remontante se encuentra aguas abajo o arriba del tramo y el curso divagó erosionando materiales poco consolidados de las márgenes.

VII.2.2.2. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de un río es la representación gráfica de las variaciones de altura (H, cota del lecho) con la distancia (L) aguas abajo y se expresa como $H=f(L)$. Debido a la tendencia a considerar al perfil longitudinal como una forma ideal o perfil de equilibrio hacia el cual el sistema fluvial tiende, diversos autores han intentado determinar la forma que mejor expresa esta relación, llegando a proponerse tres modelos de los cuales el *exponencial* (Leopold y Langbein, 1962) es el más ampliamente aceptado y utilizado por considerarse el modelo más probable que el perfil pueda adoptar (Leopold y Langbein, 1962; Morris y Williams, 1999; Knighton, 1999).

La mayoría de los cursos permanentes desarrolla un perfil longitudinal cóncavo hacia arriba explicado por el incremento de la descarga aguas abajo con capacidad para transportar la carga de sedimentos sobre pendientes cada vez más bajas. Al analizar la forma del perfil suele observarse con frecuencia que ésta responde a eventos o controles de muy variada escala temporal. Así, el perfil registra evidencias de eventos pasados (actividad tectónica, cambios en el nivel de base, cambios climáticos) conjuntamente con controles actuales (variaciones de caudal, litología-suministro de sedimentos, entre otros) y su forma es el resultado del efecto combinado de todos ellos.

La clásica ecuación de Rubey (1952), $s^3 = k (Qs^2 M / (Q^2 X))$, donde s, es el gradiente; Qs, la carga de sedimentos; M, el tamaño del material; Q, el caudal; y X, la relación ancho/profundidad indica que, *para una sección transversal constante la pendiente es directamente proporcional a la carga y tamaño del material e inversamente proporcional a la descarga. En la naturaleza el gradiente*

depende del efecto combinado de ambas variables y, como ellas, decrece exponencialmente aguas abajo.

La *forma* del perfil longitudinal se describe a través de parámetros cuantitativos como *gradiente* e *índice de concavidad* y *funciones matemáticas*. El *índice de concavidad* fue propuesto por Snow y Slingerland (1987) y se define como una relación de áreas medidas sobre la gráfica del perfil, $IC = A_1/A_2$, donde A_1 es el área comprendida entre la curva del perfil y la línea recta que une sus extremos y A_2 es el área triangular creada por esa línea recta y una horizontal que pasa por la cabecera del perfil.

En esta sección se analiza el perfil longitudinal del arroyo El Cano realizado, desde su nacimiento hasta la confluencia con el arroyo Tegua, considerando especialmente el tramo extraserrano por su mayor grado de sensibilidad para señalar posibles modificaciones de corto a mediano plazo (del orden de la centuria). El mismo se obtuvo en base a las cartas del IGM del año 1998, escala 1:50.000. Con el propósito de observar las *variaciones de gradiente* y vincularlas a distintos factores de control, el perfil fue fragmentado en tantos tramos como quiebres de pendiente significativos fueron registrados (Fig. VII. 5.).

El perfil muestra un índice de concavidad (IC) de 0,36, pendiente general de 0,95% y el curso salva un desnivel de 474 m en 50 kilómetros. Se subdividió en primera instancia en dos zonas principales de acuerdo a criterios geomorfológicos. Por un lado la zona serrana con una pendiente de 1,72%, divisible a su vez en 2 tramos de diferentes pendientes (Fig. VII.6.). Por otro lado la zona de llanura (incluido el pedemonte) posee pendiente general de 0,54% y se subdividió en 5 tramos (Figs. VII.5. y 6).

La **zona serrana** presenta un primer tramo de pendiente 2,48%, con un quiebre importante a partir de la cota 800 que se vincula al fuerte control estructural del sector serrano.

La **zona de llanura** (Fig. VII.6.), cuya pendiente general es de 0,35%, (exceptuando la zona pedemontana) fue analizada teniendo en cuenta solo el tramo

desarrollado sobre sedimentos (incluyendo el pedemonte). Se distinguieron 5 tramos rectos que alternan entre valores de pendientes mayores (0,55%, 0,59% y 0,72%; color verde-Fig. VII.6.) y menores (0,4% y 0,41%; color amarillo-Fig.VII.6.). Los límites entre éstos tramos constituyen segmentos cóncavos, cuando se pasa de uno de mayor pendiente a uno de menor; y convexos cuando ocurre lo contrario. Estas condiciones se hacen más notorias hacia aguas abajo ya que los tramos disminuyen su longitud y las variaciones de pendiente aumentan.

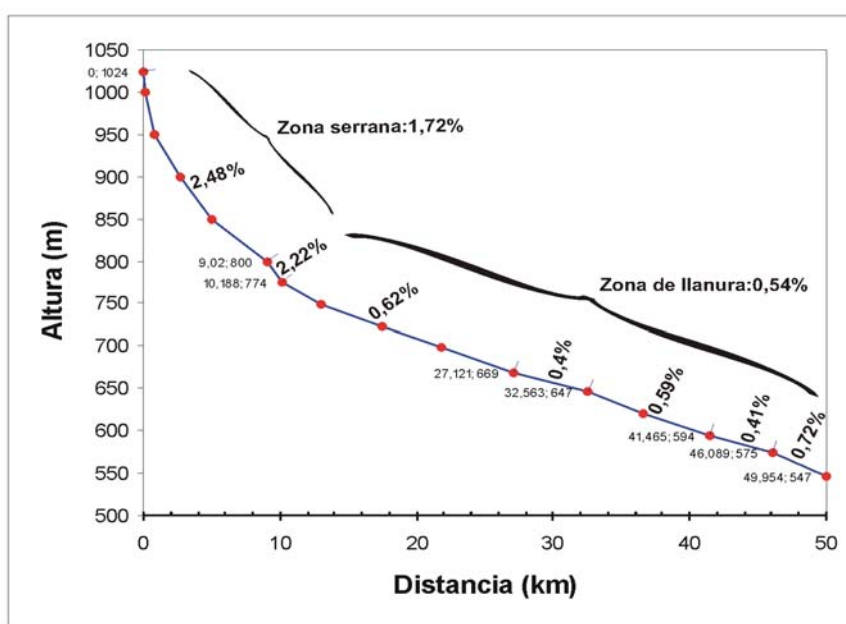


Figura VII.5.: Perfil longitudinal total del arroyo El Cano.

El bajo índice de concavidad (0,36) denotaría un perfil rectilíneo en el cual la descarga se reduce aguas abajo por pérdidas por infiltración como ocurre en las regiones semiáridas, donde el perfil tiende a ser convexo reflejando la agradación durante las crecidas. Sin embargo esta tendencia general a la convexidad estaría fuertemente condicionada por factores locales como suministro de sedimentos, estructuras, etc., en los distintos tramos.

La relativamente elevada pendiente del primer segmento (sector verde visto de izquierda a derecha en Fig. VII.6.) se relaciona por un lado al basamento aflorante en el bloque definido por la falla Cañada de Alvarez y Río de Los Sauces.

El segundo segmento presenta baja pendiente y es coincidente con la antigua zona de descarga.

La "elevada" pendiente del tercer segmento estaría fuertemente influenciada por la gran afluencia de caudales de las subcuencas C (San Francisco) y D, durante las tormentas.

El cuarto segmento constituiría un sector agradacional de baja pendiente, en el que el curso reorienta su traza al estar controlada por la falla Chucul; y se ve obligado repentinamente a aumentar su sinuosidad, erosiona las márgenes y distribuye de este modo el gasto de energía.

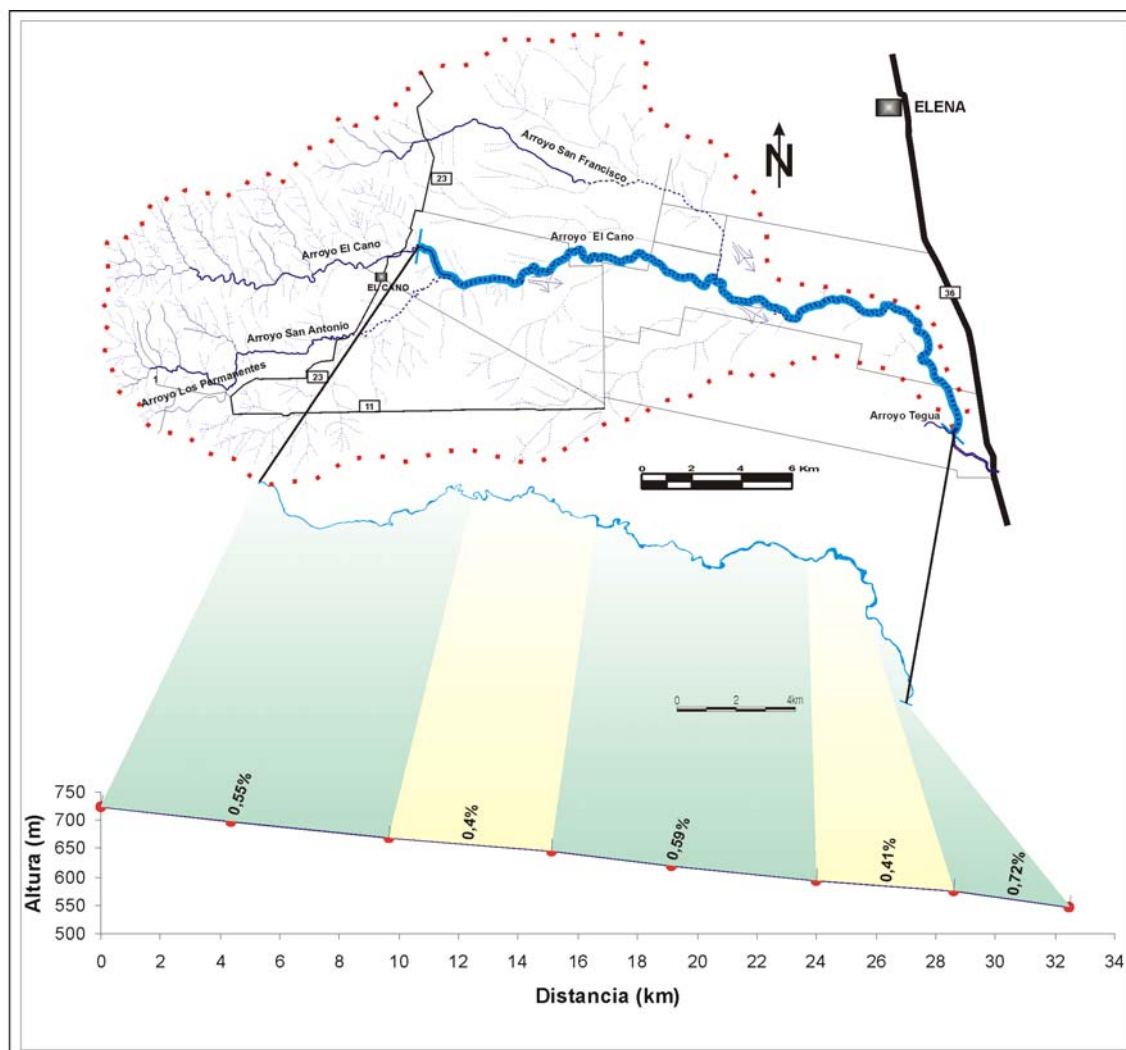


Figura VII.6.: Perfil longitudinal del arroyo El Cano en zona de llanura.

El quinto segmento es el de mayor pendiente de todo el tramo extraserrano del arroyo. Teniendo en cuenta que este sector de la cuenca posee prácticamente la totalidad del caudal, los depósitos aflorantes fuertemente cementados de la Fm Pampeano imposibilitan la erosión de márgenes y facilitan la incisión vertical. Además

éste tramo es el que primero responde a los pulsos de incisión del colector principal, arroyo Tegua.

VII.2.2.3. Sección transversal

El tamaño y la forma de la sección transversal del canal constituyen las variables de ajuste de mayor sensibilidad frente a cambios en el caudal y carga de sedimentos. El modo o la dirección de los cambios difieren en distintos sistemas fluviales en respuesta a la litología que compone las márgenes del canal, presencia de vegetación, régimen hidrológico, diseño de canal, entre otras variables. La relación *ancho/profundidad* constituye un buen indicador de la forma de la sección transversal del canal y tiene además, importantes connotaciones dinámicas y ambientales; es frecuentemente utilizada para tipificar o clasificar canales tanto en trabajos básicos sobre geomorfología fluvial (Schumm, 1977 y 1985) como en aquellos aplicados al manejo de sistemas fluviales (Rosgen, 1994, entre otros).

El tamaño fue dimensionado a través de los valores de ancho y profundidad y de la relación ancho/profundidad, para el estado de bankfull.

Las secciones transversales de los principales cursos que integran la cuenca del arroyo El Cano, corresponden a estaciones de aforo y lugares de interés geológico-geomorfológico. Las mismas se presentan en la Fig. VII.7, donde además se muestran las diferentes relaciones ancho/profundidad (A/P), litologías expuestas y áreas de canal lleno.

La tendencia general muestra valores crecientes de relaciones A/P hacia aguas abajo, así, en las estaciones 3, 5, 7 y 14, situadas en la cuenca alta de los arroyos San Antonio, El Cano y San Francisco, la relación A/P varía entre 2 y 6; en cuenca media adopta valores entre 8 y 13 y, en las estaciones 12 y 13, localizadas en cuenca baja, 35 y 30, respectivamente.

Merecen destacarse algunas anomalías en cuanto a esta tendencia, la primera pertenece a la estación 10 (cuenca media), con relación A/P=24 y la segunda ubicada en la confluencia del arroyo El Cano con el arroyo Tegua con relación A/P=1, la menor de

todas las secciones analizadas. Por último es distinguible la baja relación de la estación 7 para su posición en la cuenca, en comparación con la de la estación 8.

La hidrología del área es una variable que afecta a toda la cuenca, pero se hace más notoria hacia aguas abajo donde aumentan el caudal y la carga y las secciones responden de distinto modo frente a éstos aumentos en base al grado de consolidación del material del que están compuestas.

Las secciones de las estaciones 3, 5 y 14 deben su baja relación A/P al basamento metamórfico que compone su lecho y márgenes, el cual le ofrece resistencia a la erosión (principalmente lateral).

Las secciones de cuenca media se presentan en general con la Fm Chocancharava en el fondo de lecho y la Fm La Invernada como principal constituyente de las márgenes, lo que le confiere baja estabilidad a las mismas llegando al máximo en la estación 10 con un paquete de 5 m y relación A/P 24.

En cuenca baja los afloramientos de la Fm Pampeano tienen fuerte incidencia sobre las secciones transversales. Constituyen la base por donde el curso divaga y erosiona las márgenes compuestas por los sedimentos poco consolidados de las Fm Chocancharava y la Invernada aumentando la relación A/P (secciones de las estaciones 12 y 13). En la estación 17 la baja relación A/P es causada por frentes de incisión reciente sobre los materiales fuertemente cementados de la Fm Pampeano.

VII.3. Zonificación final y tendencias de cambio

La zonificación definitiva de la faja fluvial del arroyo El Cano se realizó en base a las características del canal (vista en planta, perfil longitudinal y sección transversal), contextualizadas en un marco geológico-geomorfológico e hidrológico; obteniendo así 6 segmentos ((A), (B), (C), (D), (E) y (F)) con diferente morfodinámica actual y tendencia morfoevolutiva; basada en los parámetros: incisión, ensanchamiento y divagación, transporte y sedimentación (Fig. VII.9).

Segmento (A): se trata de un segmento moderadamente estable que comprende el último tramo del arroyo San Antonio. La pendiente de 0,54% está potenciada por la presencia materiales gruesos del fondo de lecho y puntualmente por los procesos de incisión sobre la Fm Chocancharava, fuertemente cementada, en el tramo cercano a la

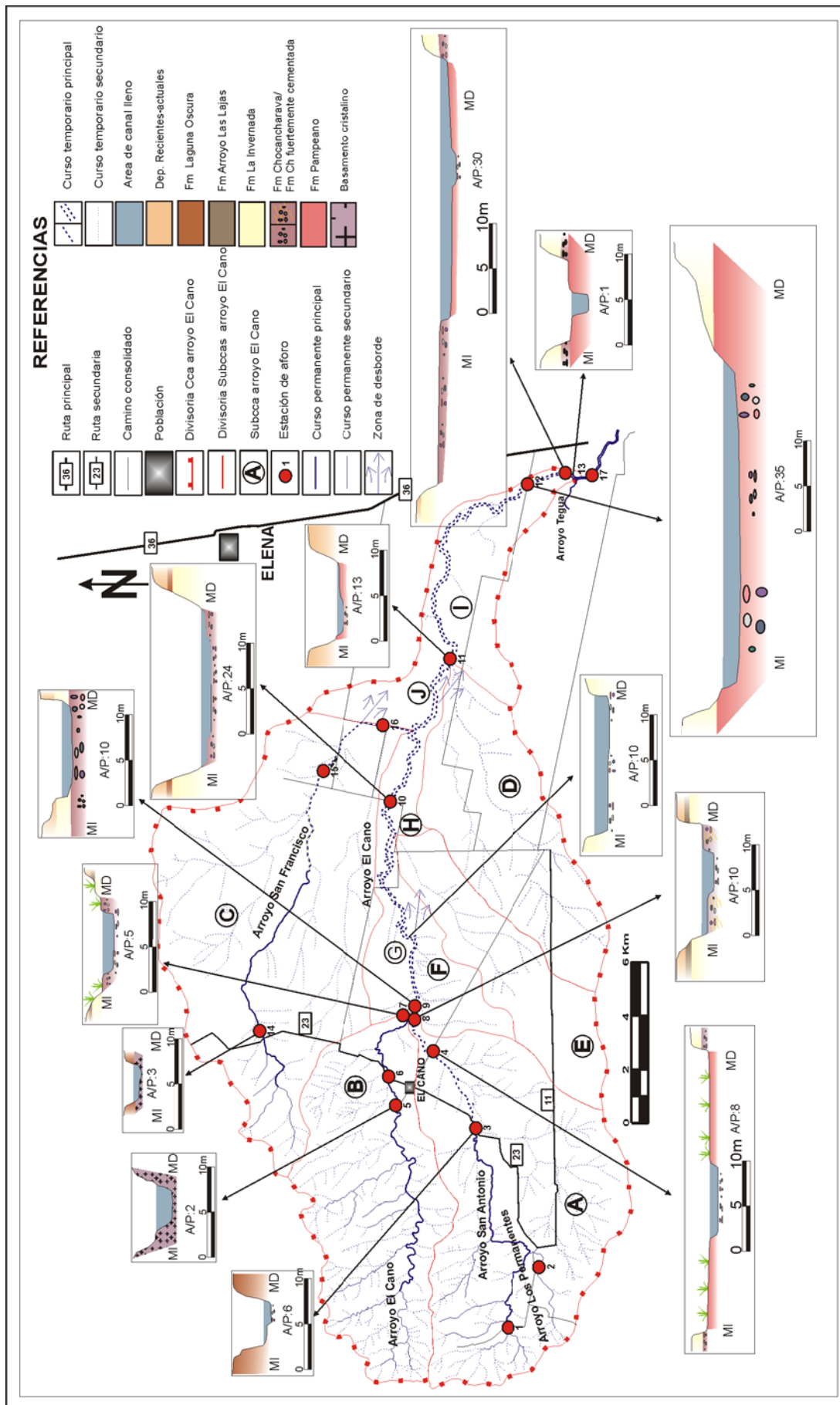


Figura VII.8.: Mapa de secciones transversales de la cuenca del arroyo El Cano.

confluencia con el arroyo El Cano. Su canal presenta sinuosidad moderada, la cual aumentó entre los años 70' y 89', y con ello la longitud del curso en el tramo medio. El desarrollo de vegetación en los márgenes y llanura de inundación, contribuyeron a estabilizar el curso y las terrazas, manteniendo secciones con relación A/P intermedia, aunque en su tramo final hay un condicionamiento estructural (falla Cañada de Alvarez) y litológico incrementó la tendencia a la incisión vertical y con ello la disminución de la relación A/P.

Segmento (B): es una zona moderadamente estable, limitada al O por la falla Cañada de Alvarez y al E por la falla Río de Los Sauces y ubicada aguas abajo de la confluencia entre los arroyos San Antonio y El Cano. El aporte de caudales de estos cursos y la elevada pendiente (0,55%), indicaría un dominio de la erosión y el transporte, a su vez la escasa sinuosidad del segmento (1,09), revela una escasa migración lateral, contrapuesta frecuentemente mediante rectificación de meandros por desbordamiento.

Segmento (C): constituye un tramo moderadamente inestable, coincidente con la antigua zona de descarga en el bloque hundido del centro de la cuenca. Debido a esto mantiene baja pendiente (0,4%) y la sedimentación es uno de los procesos dominantes, consecuencia de lo cual suelen ocurrir desbordes en crecidas de magnitud. Además presenta sectores de divagación y ensanchamiento (altas relación A/P), a causa de la baja consolidación de los materiales que constituyen sus márgenes.

Segmento (D): es una zona fundamentalmente erosiva, inestable y condicionada por influencia hidrológica del arroyo San Francisco (100,5 km²) y el colector principal de la subcuenca (D) (41,5 km²), lo que obligó a incrementar la pendiente y el predominio de la incisión vertical, exponiendo la Fm Pampeano en su lecho. La sinuosidad del segmento se mantuvo baja a través del tiempo, mientras que el ajuste del ancho, por el mayor caudal (incorporación de caudales del arroyo San Francisco y subcuenca D) no tuvo mayores impedimentos debido a los materiales poco consolidados de las márgenes (Fm Chocancharava y La Invernada).

Segmento (E): se trata de un segmento ya reconocido en Ríos y Achaval, (1906) que se presenta inestable con dominio de ensanchamiento y divagación. La baja pendiente indica una dinámica de tipo agradacional, sin embargo la moderada sinuosidad (1,11) sumado al cambio en la orientación del canal (N-S) podrían indicar la probable influencia de la Falla Arroyo Chucul. La presencia de la Fm Pampeano en el fondo del

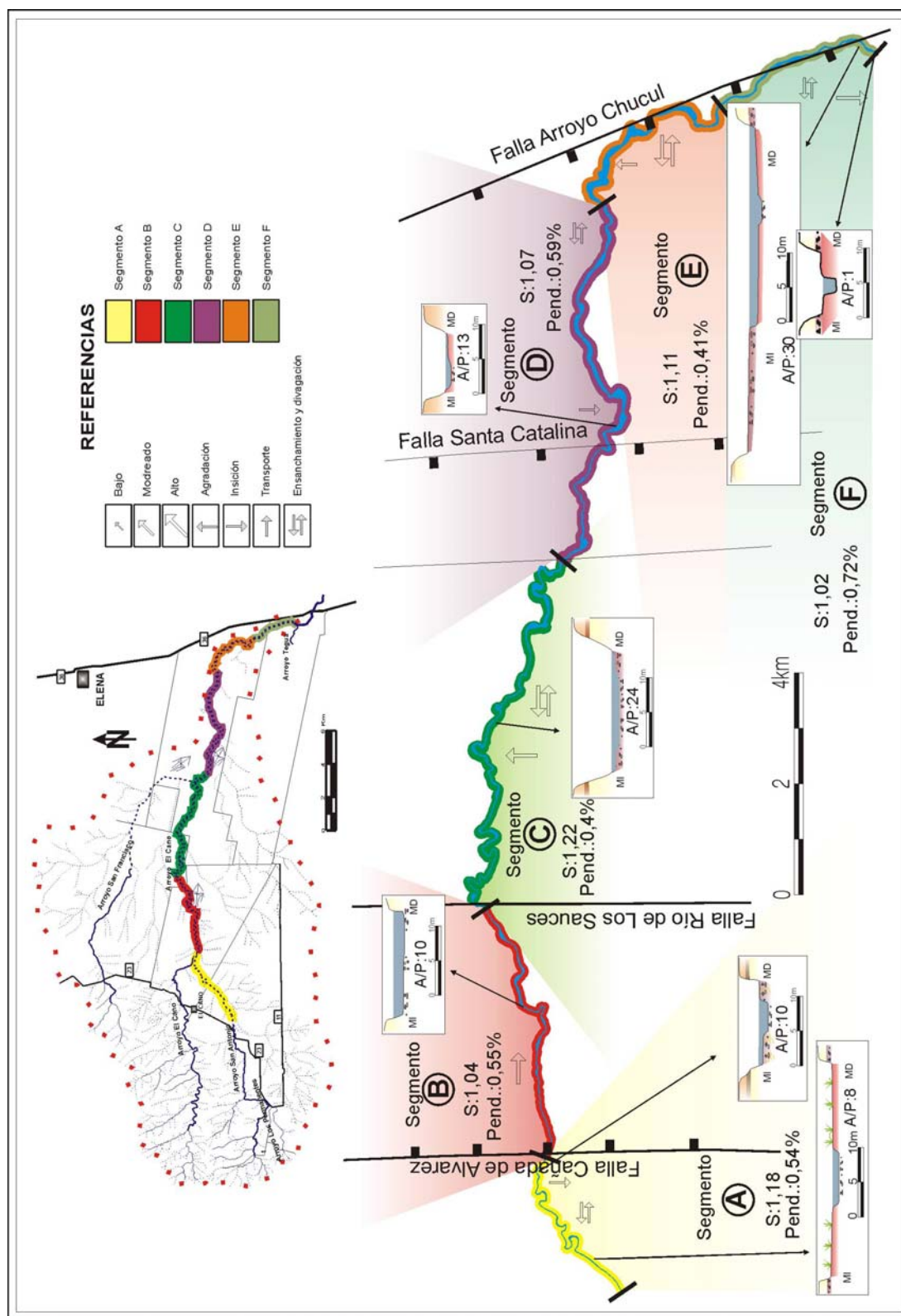


Figura VII.9.: Mapa de zonificación de la cuenca del arroyo El Cano.

lecho y de sedimentos de la Fm La Invernada en las márgenes hacen que el curso tienda a divagar.

Segmento (F): en semejanza con el anterior, se trata de segmentos antiguos, con evidencias de erosión, moderadamente inestable con la sinuosidad más baja (1,02%) y la pendiente más alta (0,72) de todos los tramos analizados. Al igual que el segmento (E), domina el ensanchamiento expresado en altas relaciones A/P (30) sobre litologías similares; pero se diferencia de éste por la presencia de una onda de erosión retrocederte incidiendo en materiales de la Fm Pampeano.

VIII. SINTESIS FINAL Y CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos pueden efectuarse las siguientes consideraciones finales.

- La cuenca del arroyo El Cano sufrió el principal proceso de integración morfohidrológica con la cuenca del arroyo Tegua en la primera mitad del siglo XX mediante dos mecanismos: a) migración de frentes de erosión retrocedente, disparados desde el arroyo Tegua y b) desbordes y extensión del canal desde las zonas de descarga de los cursos serranos hacia aguas abajo.
- El clima desempeñó un rol fundamental en las distintas etapas de integración, mediante ciclos húmedos marcados con algunos años donde las precipitaciones superan ampliamente a las medias, en los que se destacan eventos de crecidas importantes (1955, 1982, 1992, 1998 y 2004) de gran efectividad geomorfológica.
- La geología del área actuó como condicionante significativo en la morfodinámica de la cuenca principalmente, por la presencia en llanura de un patrón estructural que originó los rasgos mayores del relieve. La litología cuaternaria regula el ritmo de los procesos modeladores y consecuentemente la morfología del canal en sus tres dimensiones. A su vez la paleored pleistocena, en coincidencia a lo establecido por Cantú y Degiovanni (1997) controló la distribución espacial de la actual red.
- La creciente presión del uso del territorio actuó como potenciadora de la actividad erosiva en la última centuria, con fuerte influencia en la etapa de integración principal, aunque en las últimas décadas la siembra directa desaceleró los procesos erosivos, sin llegar a revertir sus efectos.
- La cuenca del arroyo El Cano actualmente está en vías de ajuste y los indicadores que mejor reflejan esta situación son el perfil longitudinal, el diseño en planta, las variaciones granulométricas de la carga de fondo del colector principal y la densidad y frecuencia de drenaje de las subcuencas de llanura principales.
- El bajo índice de concavidad (0,36) y la alternancia de tramos de alto y bajo gradiente en el sector extraserrano se interpretan como evidencias de desajuste,

ya que la clásica secuencia erosión-transporte-sedimentación exhibe anomalías marcadas. El alto gradiente del tramo inferior indica la posición de la onda de erosión retrocedente principal, mientras que el bajo gradiente del tramo medio evidencia que aún mantiene tendencia agradativa en la antigua zona de descarga.

- La baja sinuosidad del colector principal (1,11), y la presencia de tramos rectos incididos intercalados con sucesiones de meandros con tendencia a la avulsión, reflejan las anomalías en la distribución espacial de los procesos erosivo-sedimentarios.
- El incremento de las fracciones gravosas hacia cuenca baja pone de manifiesto erosión y aportes locales en posiciones medias de la cuenca provenientes fundamentalmente de la Formación Chocancharava.
- Las redes de drenaje de las subcuencas de llanura exhiben procesos de integración activos evidenciados por la Dd, Fd, RI y Rb.
- Las fajas fluviales de las zonas de llanura de los arroyos San Antonio y El Cano propiamente dicho son las más maduras y estabilizadas, mientras que las del colector principal y el arroyo San Francisco manifiestan actividad en las últimas décadas y/o actualmente.
- Teniendo en cuenta la dinámica actual y tendencia evolutiva en el corto y mediano plazo, los principales peligros en la cuenca del arroyo El Cano, se asocian a procesos de incisión y migración lateral en los tramos bajo y medio, respectivamente y, subordinadamente, agradación y desbordes en cuenca media. A mayor escala temporal, se prevé una propagación hacia aguas arriba de los procesos de incisión con lo cual disminuirían los desbordes. El peligro de erosión hídrica en las subcuencas de llanura es fuertemente dependiente del uso y manejo de los suelos.
- A diferencia de lo que ocurre en otras cuencas de la región con dinámica similar, en la cuenca del arroyo El Cano, la integración de la red no implicará el cambio a régimen hidrológico permanente y por lo tanto la evolución del canal continuará regida por eventos de tormenta.

BIBLIOGRAFIA

Amsler, M.L., C. G. Ramonell y H.Toniolo, 2005. Morphologic changes in the Paraná River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century. *Geomorphology*, 70: 257-278. Elsevier.

Barrionuevo Imposti, V., 1986a. Historia de Río Cuarto. Tomo I. En la época hispánica y en la independencia. Subsecretaría de Cultura y Junta de Historia de Río Cuarto.

Barrionuevo Imposti, V., 1986b. Historia de Río Cuarto. Tomo II. El autonomismo cordobés y el rosismo. Subsecretaría de Cultura y Junta de Historia de Río Cuarto.

Becher, A., 2005. Evaluación de procesos de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana en el suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. T. Doctoral. 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. Inédito.

Blarasin, M., S. Degiovanni, M. Cantu, A. Cabrera, J. Cisneros, G. Gonzalez y C. Cholacky, 1994. Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la Ruta Nacional 7, entre las ciudades de Laboulaye y Villa Mercedes, y la Ruta Nacional 8, entre Canals y Villa Mercedes. Informe Inédito. Convenio UNRC-Empresa Caminos del Oeste.

Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (Eds), 2005. Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental. 1ª ed.- Río Cuarto-UNRC.

Brailovsky, A. E. y D. Foguelman, 1993. Memoria Verde. Historia ecológica de la Argentina. Ed. Sudamericana. Bs. As.

Brackebuch, L., 1883. Plano general de la provincia de Córdoba. Ed. Dpto. Topográfico de la provincia de Córdoba.

Bull, W. 1997. Discontinuous ephemeral streams. *Geomorphology* 19:227-276.

Cantero, A., M. Cantú, J. Cisneros, J. Cantero, M. Blarasin, V. Becerra, J. González, A. Degioanni, H. Gil, J. de Prada, S. Degiovanni, C. Cholaky, M. Villegas, A. Cabrera y C. Eric, 1998. Las tierras y aguas del Sur de Córdoba: propuestas para un manejo sustentable. Ed. UNRC. ISBN: 950-665-101-9.

Cantú, M., 1992. Holoceno de la prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la Rep. Argentina. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 pág. Paraná. Argentina.

Cantú, M. y S. Degiovanni, 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de la prov. de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. (IV), pp. 76-92.

Cantú, M., y S., Degiovanni, 1997. Neotectonic activity in the La Cruz-Gigena depression, Córdoba, Argentina. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III. Tomo 1: 142. Bologna. Italia.

Caminos, R., 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentls, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Cordoba, 1: 224-291.

Dirección Provincial de Catastro, 1938. Mapa para riego del sur de la provincia de Córdoba. Dirección Nacional de Catastro.

Costa, C.H, E. F. Gonzalez Díaz, M. Murillo, C. Gardini, A. Giaccardi, J.Sequeiros y S. A. Bea, 1999. Morfoneotectónica del frente de levantamiento andino de la Sierra de Comechingones, Prov. de Cba. y San Luis. XIV Congreso Geológico Argentino, Actas I: 32-33.

Criado Roque, P., C. Mombrú y V. Ramos, 1981. Estructura e interpretación tectónica. Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis. VIII Congreso Geológico Argentino, relatorio 155-192, Buenos Aires.

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

Dalla Salda, L., 1987. Basement tectonics of the Southern Pampean Ranges, Argentina. Tectonics 6: 249-260.

Degiovanni, S., 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Cba, en especial del A° Achiras -del Gato, como base para su gestión sustentable. T. Doctoral. Inédita. UNRC. 597 pág.

Degiovanni S., M. Villegas, N. Doffo, 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., M. Villegas, Doffo, N. y D.Origlia, 2004. Erosión Fluvial. Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación Especial N° 4. 50 pág. ASAGAI. ISBN: 987-21766-0-4.

Degiovanni, S., y N. Doffo, 2005. Longitudinal profile adjustment and channel stability: a case-study of the Achiras-del Gato and Las Lajas streams, southern of Cordoba Province, Argentina. Sixth International Conference on Geomorphology. Zaragoza. España. Abstract.

Degiovanni, S.,N. Doffo y M. Villegas, 2009. Rejuvenecimiento de la red de drenaje del Sur de Córdoba como consecuencia del cambio climático durante la última centuria. En: Geomorfología y Cambio Climático- Capítulo 6. Sayago y Collantes (Eds), INGEMA (UNTuc)- ISBN: 978-987-9390-96-2. TI: 79-96 pág. MAGNA Ediciones, Tucumán.

Degiovanni, S., M. Villegas y N. Doffo, 2009. Análisis del diseño de canal del arroyo Achiras-del Gato (Cba). Factores de control e implicancias ambientales. En IV Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología. XII Congresso da associacao Brasileira de Estudos do Cuaternario. II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur. Fucks E., C. Deschamps, C. Silva y E. Schnack (Eds). ISBN: 978-950-34-0597-0. Ed. CD: 501-510.

Degiovanni, S., M. J. Andreazzini, M. Villegas, C. Eric y N. Doffo, 2010. Caracterización de la carga en suspensión de los arroyos del Sur de Córdoba. Implicancias morfodinámicas y ambientales. En: Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura. Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (Eds). ISBN: 978-987-543-393-9- CD: 185-192. 1° Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras.

Demichelis, A. H., 1986. Geología de La Sierras Las Peñas. Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis inédita.

Doffo, N., 2007. Alteraciones en el régimen hidrológico del arroyo Las Lajas, Cba. Causas naturales y antrópicas, umbrales de resistencia al cambio. T. Doctoral. UNRC. 342 pág. Inédita.

Doffo, N., S. Degiovanni, S., y M. Villegas, 2010. Integración de cuencas de drenaje en áreas de llanura durante la última centuria. El caso del arroyo Las Lajas, Córdoba, Argentina. En: Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura. Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (Eds). ISBN: 978-987-543-393-2. 1º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Pág.131-138.

Downs, P. W. y K.J. Gregory, 1993. The sensitivity of River Channels in the Landscape System. Ed. John Wiley and Sons Ltd.

Fagiano, M., 2007. Geología y petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, Sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. T. Doctoral. UNRC. 375 pág.

Giraut, M. A. y S. G. Ludueña, 2002. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua. Sistema Nac. de In-formación Hídrica. Buenos Aires.

Gordillo, C. E., 1984. Migmatitas cordieríticas de las Sierra de Córdoba; condiciones físicas de la migmatización. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. Miscelánea 68: 1-40.

Gordillo, C. y A. Lencinas, 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. 1: 577-650. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba

Gregory, K.J., 2006. The human role in changing river channels. Geomorphology, Volume 79, Issues 3-4, 30 September 2006, Pages 172-191

Hafez, Y., 2002. On the dynamic adjustments of stream channels. Journal of Environmental hydrology. The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology. VOLUME 10.

Hünicken, M. y M. Pensa, 1980. Estratigrafía y tectónica de las sedimentitas neopaleozoicas (Formación Chancaní) y de las filitas (Formación La Memela) del borde occidental de las Sas. de Pocho y Guasapampa (Prov. Cba, Rep. Arg.). Bol. Acad. Nac. Ciencias de Córdoba, Arg. Tomo 53:255-279.

Knighton, A.D., 1999. Downstream variation in stream power. Geomorphology 29: 293-306. Ed. Elsevier.

Leopold, L. B. and G. M. Wolman. 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. U.S. Survey Prof. Paper 282 D

Leopold, L. B., and W. B. Langbein, 1962. The concept of entropy in landscape evolution. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 500-A.

Leopold, L. B., 1995. A view of the river. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England. 295 pp.

Lira, R. y Kirschbaum, A., 1990. Geochemical evolution of granites from Achala batholith of Sierras Pampeanas, Argentina. En: Kay, S. M. y Rapela, C. W. Plutonism from Antarctica to Alaska, Geological Society of America Special Paper 241: 67-76. 1990

Macklin M. and J. Lewin, 2008. Alluvial responses to the changing Earth system. Journal of Earth surface processes and landforms. (p 1374-1395) Published Online: Jul 25 2008 5:24AM.

Martino, R., Kremer, P., Escayola, M., Giambastiani, M. y Arnosio, M. 1995. Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 50 (1-4): 60-77.

Mazza, G., 1962. Recursos hidráulicos superficiales. Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Tomo 4 (1 y 2). CFI. Buenos Aires. 879 p.

Mingorance F., 1988. Caracterización sismotectónica de la falla Sampacho. Tesis de Licenciatura. Inédito. Dpto Geología. UNRC.

Morris, P.H. and D. J. Williams, 1999. Worldwide correlations for subaerial aqueous flows with exponential longitudinal profiles. Earth Surf. Proc. Landf. 24, 867-879.

de Moussy, M., 1865. Carte des provinces de Córdoba, de San Luis et des régions voisines. Eduardo Droni, www.tesoroseneltiempo.com.ar.

Orozco J. G., 1998. Evolución Geologica de la Cuenca del Arroyo Tegua. Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto.

Orsolini, P., E. Zimmerman y P. Basile, 2000. Hidrología: Procesos y Métodos. UNR. Biblioteca de los Congresos Nacionales del Agua.

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., F. Nullo, M. Fagiano y E. Aragon, E. 1996. Dos terrenos metamórficos y estructurales en el extremo sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba-San Luis: Algunas implicancias tectónicas: Acta 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos 2: 249-266.

Otamendi, J. E., Fagiano, M. y F. Nullo., 2000. Geologías y evolución metamórfica del Complejo Monte Guazú, sur de la Sierra de Comechingones. Revista Asociación Geológica Argentina, 55 (3): 265-279.

Otamendi, J.E., P. Castellarini, M. Fagiano, A. Demichelis y A. Tibaldi, 2004. Cambrian to Devonian Geologic Evolution of the Sierra de Comechingones, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Evidence for the Development and Exhumation of Continental Crust on the Proto-Pacific Margin of Gondwana. Revista Gondwana Research. Volume 7, Issue 4.

Paoli C. y M. Schreider (Eds). 2000. El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones Univ. Nac. del Litoral.

Pinotti, L., 1998. El baolito Cerro Aspero, Prov de Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución la Sierras Pampeanas. Tesis Doctoral, Inedita. UNRC, 203 p.

Pinotti, L., J. Coniglio, A. Esparza, F. D'eramo, y E. Llambías, 2002. Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal levels, Cerro Aspero batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 251-265.

Rabbia, O., 1984. Consideraciones paleoambientales del Cuaternario expuesto en el curso superior del arroyo Tegua. Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura. U.N.R.C.

Ramonell, C. G., y D. Montagnini, 2000. Particularidades del sedimento del lecho en ríos de origen andino y extra-andino de Argentina. Taller Regional sobre Tópicos Básicos y Aplicados de la Hidráulica Fluvial, Anales: 129-136. Santa Fe.

Ramonell, C. G., & M. L. Amsler, 2001. Metamorphosis processes (1992-2000) of the Quinto River, Argentina. 3rd. Intern. Symp. on Environmental Hydraulics, Proc. (CD), 6 p. Tempe, Phoenix.

Ramonell, C. G., y M. L. Amsler 2002. Guía de procedimientos metodológicos para estudios morfológicos de cauces fluviales argentinos. XIX Congr. Nac. Del Agua, CD, 10 p. Córdoba.

Rapela, W., R. J. Pankhurst, A. Kirschbaum y E. Baldo, 1991. Facies intrusivas de edad Carbónica en el batolito de Achala: evidencias de anatexis regional en las Sas Pampeanas. Congr. Geol. Chileno. Vol. I, 40-43.

Ramos, V. A. 1999. Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. En *Geología Argentina*. Anales 29 (24): 715-784. Instituto de Geología y Recursos Minerales.

Repossini, J. P., 1912. Memoria sobre el Río Paraná. XII Congreso Internacional de Navegación, p. 1-151. Filadelfia.

Ríos, J. y F. Achaval, 1906. Mapa Hidrográfico, cuenca superior de los ríos Tercero y Cuarto. En *Geografía de la provincia de Córdoba*. Gobierno de la provincia de Córdoba.

Rosgen D. L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169-199.

Russo, A., R. Ferello y G. Chebli. 1979. Llanura Chaco Pampeana. *Geología Reg. Argentina*. Vol.I. Pp. 139-183.

Rust, B. R., 1978. A classification of alluvial channel systems. En A. D. Miall (ed), *fluvial Sedimentology*. Can. Soc. Pet.Geol. Mem., 5, 187-198.

Sagripani G., D. Origlia y O. Campanella, 1998. Sismicidad en una región de intraplaca. Departamento Río Cuarto. Pcia. de Córdoba. Argentina. Actas Conferencia Internacional "Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis". Santiago. Chile. pp. 281 - 293.

Sagripani, G., 2006. Neotectónica y peligro sísmico de la región de Sampacho, Dpto Río Cuarto, prov. Cba. Tesis Doctoral. Inédita. UNRC.

Sagripani, G., Villalba D., Bettiol A. y C. Seitz, 2009. Sismicidad y paleosismicidad en la región sur de la prov. Cba. Análisis del peligro y riesgo sísmico asociado. *Rev. ASAGAI* N° 23: 45-53. ISSN 1851-7838.

Schmitt L., G. Maire, P. Nobelis y J. Humbert, 2007. Quantitative morphodynamic typology of rivers: a methodological study based on the French Upper Rhine basin. Journal Earth surface processes and landforms Wiley. Vol 32

Schumm S. A., 1969. River Metamorphosis. ASCE J.Hydraul. Div. 95(1):255-273.

Schumm S. A., 1977. The Fluvial System. Wiley, New York-London.

Schumm S. A., 1985. Pattern of alluvial rivers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 13, 5-27.

Sear, D. A. y M. D. Newson, 2003. Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring. The Science of The Total Environment, Volume 310, Issues 1-3, Pages 17-23.

Snow R.S. y R. L. Slingerland, 1987. Mathematical modelling of graded river profiles. Journal of Geology 95, 15-33.

Soldano, F.A., 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Parte I. Editorial Cimera. Buenos Aires, Argentina. 277 p.

Thorntwaite, C., 1948. An approach towards a rational classification of climate. Geographic Review 38 (1): 221-229. Amsterdam.

Ven Te Chow, D. Maidment y L. Mays, 1994. Hidrología aplicada. Ed. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia

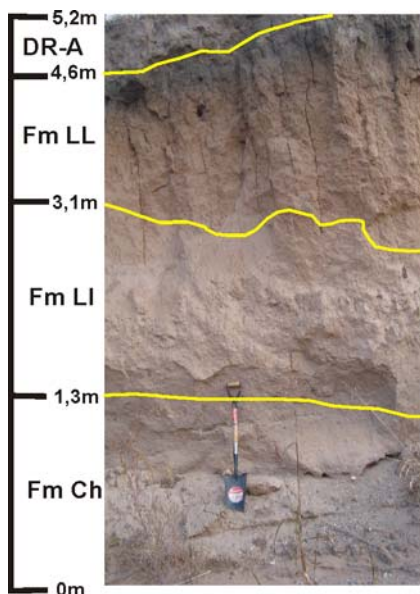
Villar, L., 1975. Las fajas y otras anifestaciones ultrabásicas de la República Argentina y su significado metalogenético. 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 3 : 135-156.

ANEXO I

Descripción e interpretación de perfiles sedimentarios

Nota: La ubicación de los perfiles sedimentarios se presenta en la Fig. III.1.

Perfil 1 (P1)



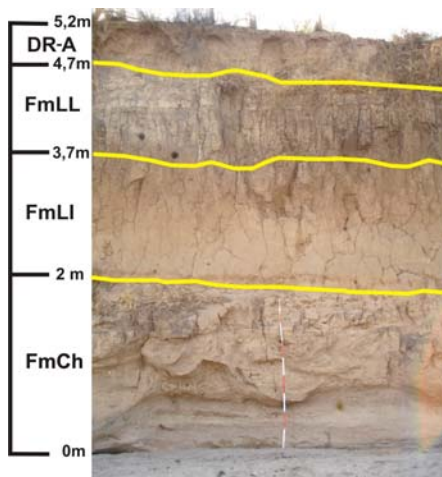
Localización: margen derecha de cárcava, a 1,5 km al SE de familia Guelfi y a 10 km al O de ruta provincial N° 136.

Descripción: la secuencia posee 5,2 m de potencia y comienza con un cuerpo estrato-grano decreciente de 1,3 m de espesor, matriz areno-gravosa, con clastos de entre 15 y 20 cm, de composición ígneo-metamórfica y en menor medida de "toscas". Transicionalmente pasa a depósitos de flujo denso de 1,8 m de espesor, con calcretos, matriz sostén y que en los últimos 0,6 m posee estructuras mixtas. Los siguientes 1,5 m constituyen materiales limo-arenosos finos, con bioturbaciones, que, en contacto transicional sobreyacen a los anteriores. En el techo de estos depósitos posee rasgos de edafización. Finalmente los últimos 0,6 m se componen de materiales

arenosos medios poco consolidados.

Interpretación y correlación estratigráfica: la secuencia comienza con depósitos fluviales de alta competencia que podrían correlacionarse con la Formación Chocancharava que luego gradan transicionalmente a depósitos de flujo denso con algunas estructuras que pueden asignarse a la Formación La Invernada. Le suceden depósitos fluviales de baja energía con materia orgánica equivalentes a la Formación Arroyo Las Lajas. Continúa la secuencia con depósitos de colores oscuros correlacionables a la Fm Las Lajas con desarrollo de un suelo enterrado en su techo. Finalmente se presentan materiales recientes-actuales.

Perfil 2 (P2)



Localización: margen izquierda arroyo El Cano, a unos 1200 m aguas arriba de la unión con el arroyo Tegua.

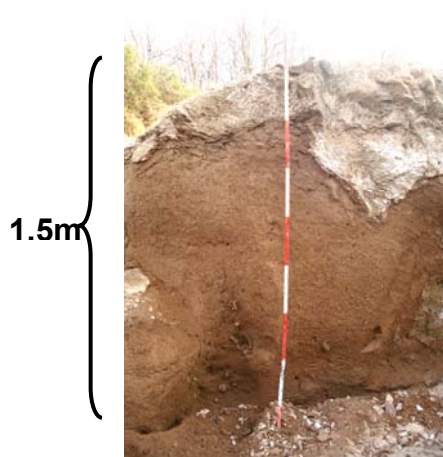
Descripción: La base presenta 2 m de depósitos fuertemente cementados de matriz areno-gravosa, clastos de hasta 12 cm de composición ígneo-metamórfica, a veces angulosos, donde los de mayor tamaño corresponden a rocas metamórficas mientras que en número dominan los ígneos. En la parte media de la unidad inferior se observan artesas estrato-granodecrecientes con mayor grado de cementación en la base. La secuencia continúa con 1,7 m de sedimentos

limo-arcillosos, masivos, matriz sostén con gravillas dispersas, bioturbados, de

color pardo rojizo y presencia de grietas de tracción. Transicionalmente se pasa a 1 m de depósitos de color oscuro, muy bioturbados con abundante presencia de materia orgánica y hacia el techo se observa una fuerte laminación en los últimos 15 cm con diatomeas. Finalmente se presentan 50 cm de depósitos de estratificación planar y granulometría media, con bajo grado de cementación.

Interpretación y correlación estratigráfica: Los primeros 2 m se interpretan como sedimentos fluviales de alta energía correspondientes a la Fm Chocancharava. Luego se presentan depósitos de flujo denso asignados como pertenecientes a la Fm La Invernada pasando transicionalmente a sedimentos que corresponden a la instauración de un ambiente palustre con presencia de abundante agua, muy probablemente circulante, que luego fueron edafizados y presentan abundante materia orgánica equivalentes a la Fm Arroyo Las Lajas. El perfil culmina con depósitos fluviales de desborde interpretados como recientes.

Perfil 3A (P3A)



Localización: margen derecha del arroyo El Cano, en confluencia con arroyo Tegua.

Descripción: Cuerpo de 1,5 m de potencia, base principalmente limo-arcillosa con gravillas dispersas de composición ígnea-metamórfica de aproximadamente 3 cm de diámetro y otras de toscas de aprox. 5 cm de diámetro. En sectores se encuentra groseramente laminado con niveles de mayor cementación que otros. Gran cantidad de canaliculos de raíces, bioturbaciones, barnices y moteados de hierro.

Interpretación y correlación estratigráfica: depósitos correspondientes a ambiente de llanura de inundación con desbordes asignados al primer miembro de la Formación Pampeano.

Perfil 3B (P3B)



Localización: ídem anterior.

Descripción: Cuerpo de 1,6 m de potencia, base principalmente limo-arcillosa con gravillas dispersas de composición ígnea-metamórfica de aproximadamente 4 cm de diámetro y otras de toscas de aprox. 6 cm de diámetro. En sectores se encuentra groseramente laminado con niveles de mayor cementación que otros. Presenta gran desarrollo de estructuras en artesas.

Interpretación y correlación estratigráfica: depósitos correspondientes a ambiente de alta energía asignados al primer miembro de la Formación Pampeano.

Perfil 4 (P4)

Localización: margen izquierda del arroyo Los Permanentes.

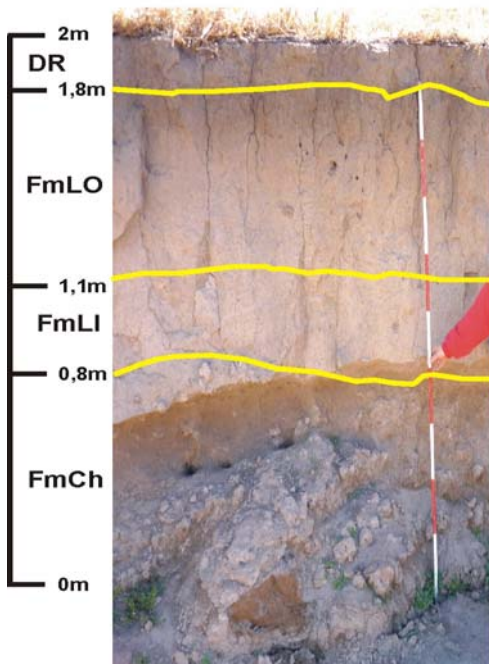
Descripción: se trata de depósitos que se encuentran sobreyaciendo al basamento cristalino con fuerte cementación de carbonatos y sílice, de granulometría limo arenosa fina, colores rojizos, paleogrietas de desecación y estructura que en algunos sectores es masiva y en otros laminada con clastos de tosca. Se destaca la presencia de un resto de vertebrado fósil. Se encuentran apenas cubiertos por el suelo actual de entre 10 y 20 cm de espesor.



Interpretación y correlación estratigráfica: se tratan de depósitos de ambiente fluvial, de baja energía, posiblemente llanura de inundación, y el resto fósil corresponde a la familia Dasypodidae, género Estatus (gentileza Laura Cruz) de edad mamalífera Lujanense-Ensenadense, por lo tanto

los depósitos serían correlacionables con la Fm Pampeano.

Perfil 5 (P5)



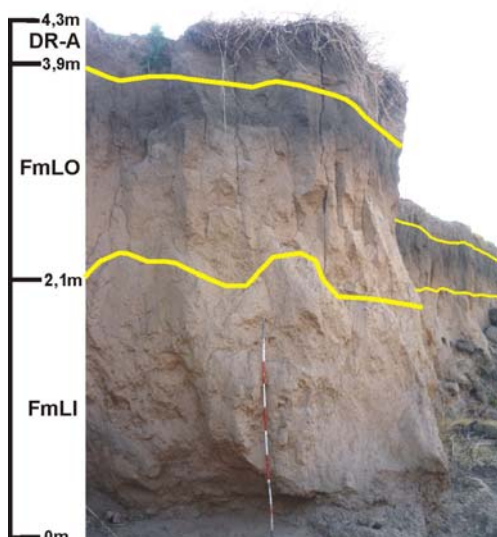
Localización: margen izquierda del arroyo El Cano, cercano a camino rural, a 16 km al O de ruta provincial N° 36 y a 6km al E del paraje El Cano.

Descripción: el espesor total de la secuencia es de 2 m, comenzando en su base con 0,8 m de materiales fluviales fuertemente cementados con carbonatos, continuando con 0,3 m de materiales eólicos retransportados que incluyen gravillas dispersas. Por encima se identifican sedimentos arenosos muy finos de 0,7 m de espesor edafizados en su techo de colores oscuros vinculado a la presencia de abundante cantidad de materia orgánica. El perfil culmina con 0,2 m de depósitos de granulometría variable y estratificación planar.

Interpretación y correlación estratigráfica: la base correspondería a depósitos fluviales

de alta energía muy cementados de la Formación Chocancharava. Luego los materiales eólicos retransportados se interpretan como equivalentes a la Formación La Invernada, que en su parte superior pasan transicionalmente arenas muy finas de origen eólico que corresponderían a la Fm Laguna Oscura y que esta influenciada por los procesos de edafización de los materiales que le sobreyacen. Finalmente la secuencia remata con materiales aluviales recientes-actuales que constituyen el suelo actual.

Perfil 6A (P6A)



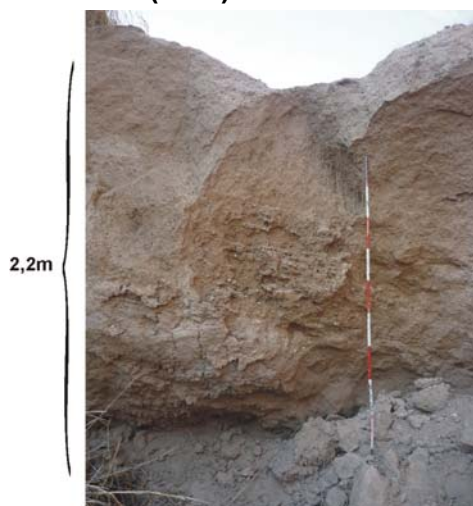
Localización: margen derecha de cárcava en camino cercano al cruce entre ruta secundaria N° 11 y caminos consolidados del Centro-Sur de la cuenca.

Descripción: la base presenta 2,1 m de depósitos limo-arenosos finos retransportados, con clastos de tosca, y cementados en forma discontinua, se desarrollan sobre una o más estructura/s de corte. Por encima se encuentran 1,8 m de sedimentos arenosos finos claros con niveles de carbonatos en pequeños canales. Hacia el techo de esta unidad se observa un nivel con evidencias de edafización (aprox. 50 cm) de color oscuro con elevada bioturbación y materia orgánica. Culminando la secuencia se

observan depósitos de granulometría variada entre arenas finas y medias, con materia orgánica y bajo grado de cementación.

Interpretación y correlación estratigráfica: en la base se observan depósitos correspondientes a materiales loésicos retransportados y que son correlacionables con la Fm La Invernada. Por encima se encuentra una cubierta eólica arenosa fina equivalente a la Fm Laguna Oscura y la secuencia culmina con depósitos actuales.

Perfil 6B (P6B)

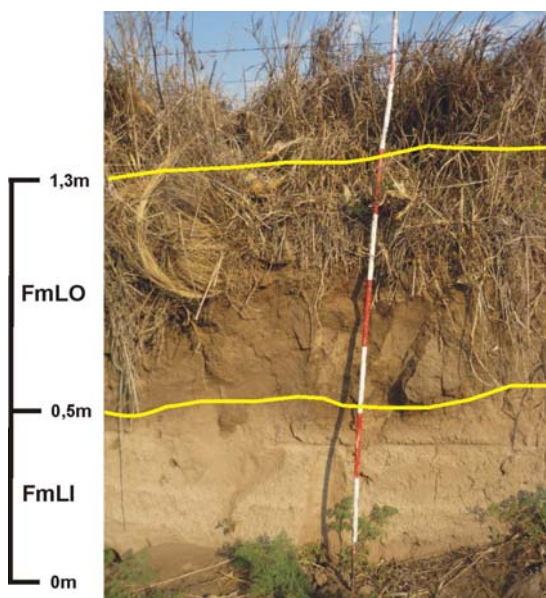


Localización: ídem anterior.

Descripción: presenta se encuentran 2,2 m de sedimentos loésicos claros con niveles de carbonatos en pequeños canales estructuras de corte y relleno con clastos de tosca

Interpretación y correlación estratigráfica: estos sedimentos serían equivalentes a lo asignado a la Fm Laguna Oscura base del **Perfil 6 (P6A)**, con la particularidad de manifestar claramente los depósitos fluviales de relleno de canal.

Perfil 7 (P7)

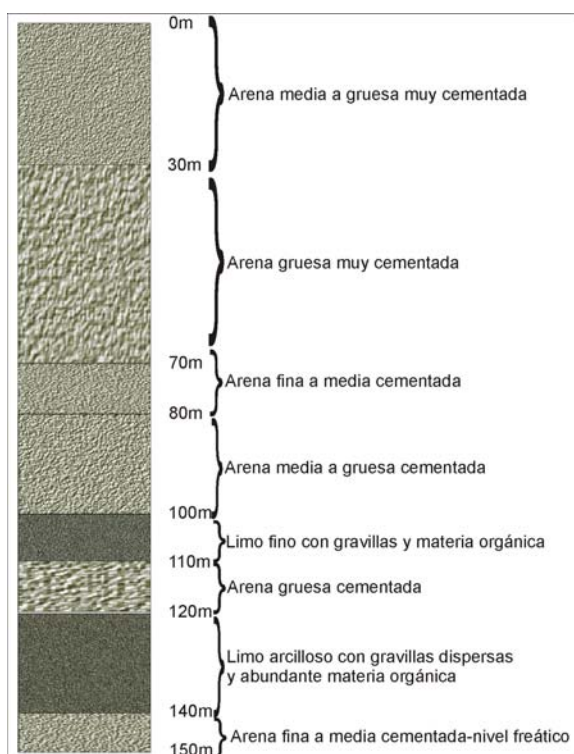


Localización: corte de camino en interfluvio, cercano a al cruce entre ruta secundaria N° 11 y caminos consolidados del Centro-Sur de la cuenca.

Descripción: la base esta compuesta por 0,5 m de sedimentos limosos finos masivos, de aspecto talcoso, color pardo muy claro. El techo presenta 0,8 m de arenas muy finas de color oscuro (parcialmente edafizadas).

Interpretación y correlación estratigráfica: la base se interpreta como depósitos de loess en posición original correlacionables a la Fm La Invernada, mientras que los sedimentos edafizados de origen eólico en el techo se correlacionarían a la Fm Laguna Oscura.

Perfil de perforación (PP)



Localización: 2 km al NO de la escuela El Escondido.

Descripción: todo el perfil muestra un dominio de secuencias fluviales psamíticas cementadas a excepción de los 50 metros inferiores donde se intercalan dos niveles limoarcillosos con abundante materia orgánica de entre 10 y 20 metros de potencia cada uno. Se infiere que los primeros metros deben incluir las secuencias eólicas que cubren toda la región.

Interpretación y correlación estratigráfica: el perfil exhibe una continuidad de secuencias fluviales, que intercalan hacia la base con materiales limosos que incluirían a todas las formaciones cuaternarias definidas por Cantú (1992) e inclusive llegarían a involucrar hasta formaciones terciarias.

ANEXO II

Planillas de análisis granulométrico

Universidad Nacional de Río Cuarto
 Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 1
 Procedencia: A° El Cano, estación 12

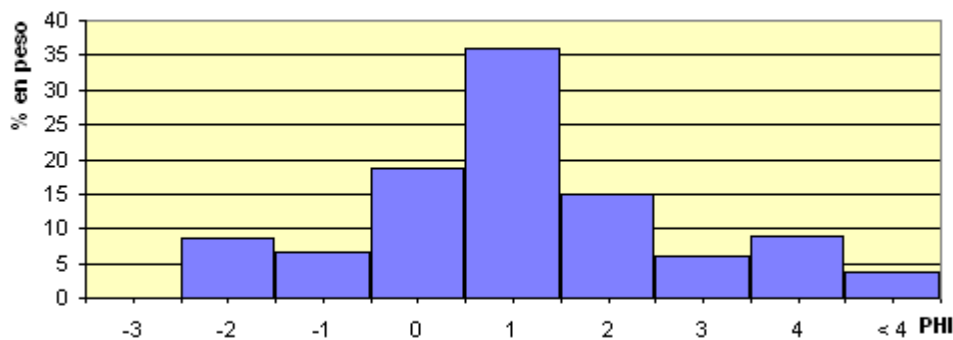
Fecha: 10/08/2010
 Facies: Fondo de lecho
 Peso orig.: 357,4 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	31,0646	8,69	8,69
T-10	-1	Sabulo	23,8744	6,68	15,37
T-18	0	Arena muy gruesa	66,384	18,57	33,95
T-40	1	Arena gruesa	128,2219	35,88	69,82
T-60	2	Arena media	53,8548	15,07	84,89
T-120	3	Arena fina	22,0339	6,17	91,06
T-230	4	Arena muy fina	31,9974	8,95	98,01
base	< 4	Pelitas	13,4125	3,75	99,76

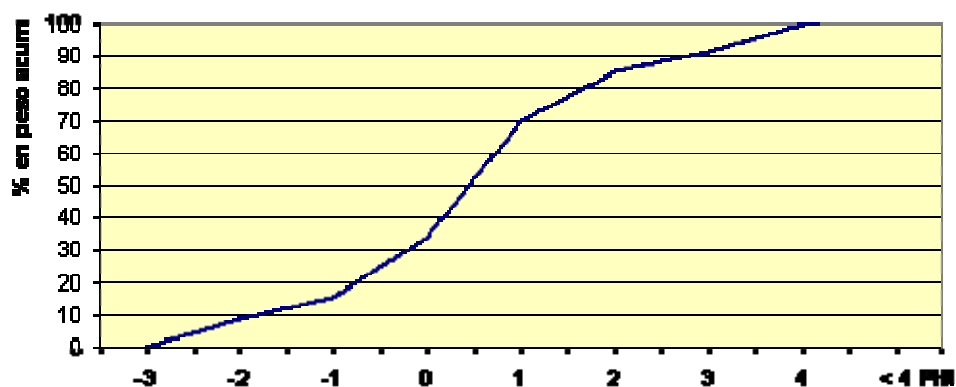
Nombre: **Arena gravosa**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-metamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,885	Media=	0,474
Percentil 84=	1,941	Moda=	PHI 1
Desvio=	1,615	Pobrementemente seleccionado	
Asimetría=	0,024	Casi simétrica	
Curtosis=	1,317	Leptocúrtica	

Universidad Nacional de Río Cuarto
 Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 2
 Procedencia: A° San Antonio, estación 4

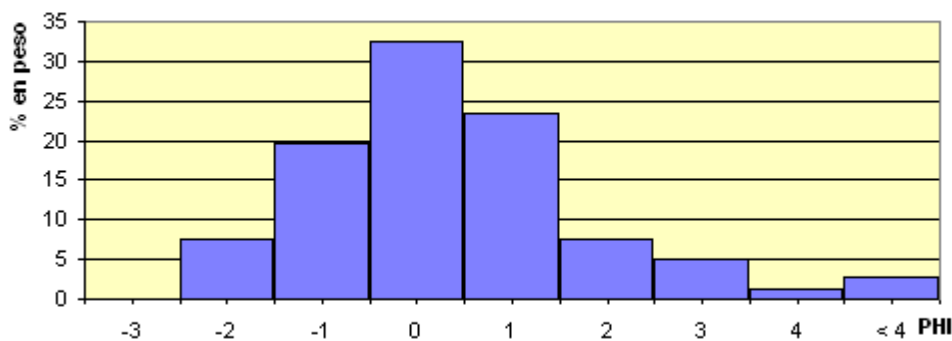
Fecha: 10/08/2010
 Facies: Fondo de lecho
 Peso orig: 298,9 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	22,3665	7,48	7,48
T-10	-1	Sabulo	58,6396	19,62	27,10
T-18	0	Arena muy gruesa	97,2794	32,55	59,65
T-40	1	Arena gruesa	70,0276	23,43	83,08
T-60	2	Arena media	22,8112	7,63	90,71
T-120	3	Arena fina	15,2998	5,12	95,83
T-230	4	Arena muy fina	3,6053	1,21	97,03
base	< 4	Pelitas	8,0888	2,71	99,74

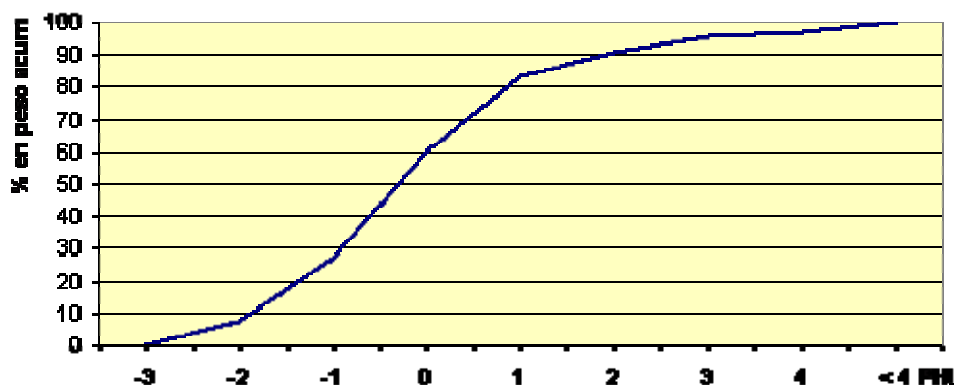
Nombre: **Grava arenosa gruesa**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-metamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,866	Media=	-0,247
Percentil 84=	1,121	Moda=	PHI 0
Desvio=	1,455	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	0,134	Positiva	
Curtosis=	1,202	Leptocúrtica	

Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 3
Procedencia: A° San Antonio, estación 8

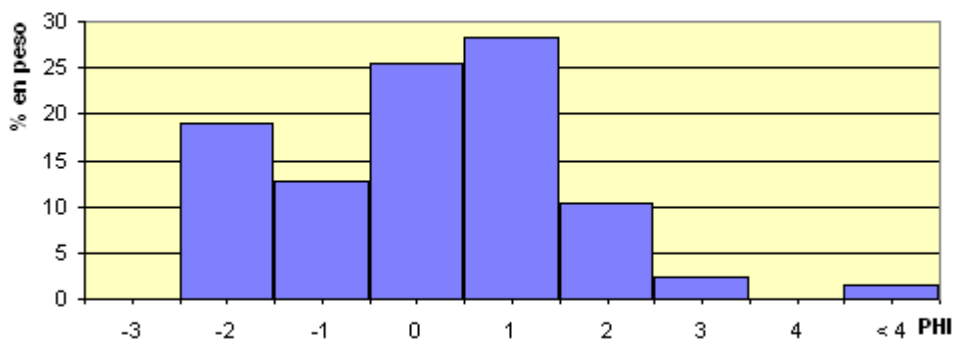
Fecha: 10/08/2010
Facies: Fondo de lecho
Peso orig: 298,9 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	57,0471	19,09	19,09
T-10	-1	Sabulo	37,7841	12,64	31,73
T-18	0	Arena muy gruesa	76,252	25,51	57,24
T-40	1	Arena gruesa	84,2567	28,19	85,43
T-60	2	Arena media	30,7911	10,30	95,73
T-120	3	Arena fina	7,026	2,35	98,08
T-230	4	Arena muy fina	0,1667	0,06	98,13
base	< 4	Pelitas	4,3074	1,44	99,58

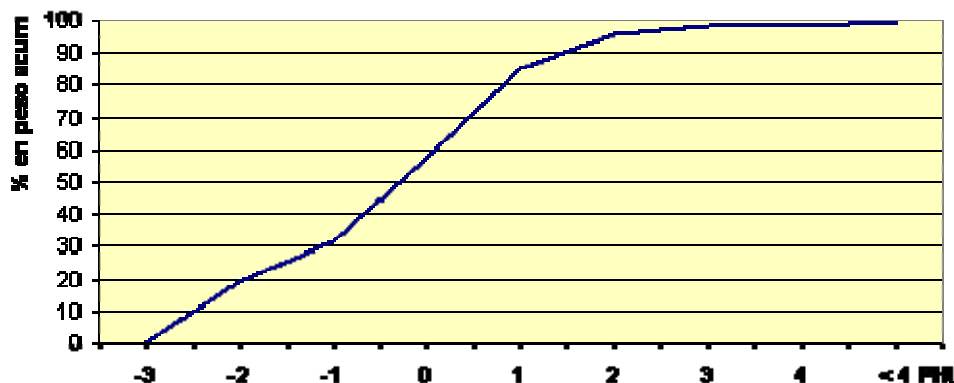
Nombre: **Grava arenosa gruesa**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-metamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,948	Media=	-0,499
Percentil 84=	0,949	Moda=	PHI 1
Desvio=	1,485	Pobrementemente seleccionado	
Asimetría=	-0,129	Negativa	
Curtosis=	0,885	Platicúrtica	

Universidad Nacional de Río Cuarto
 Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 4
 Procedencia: A° El Cano, estación 7

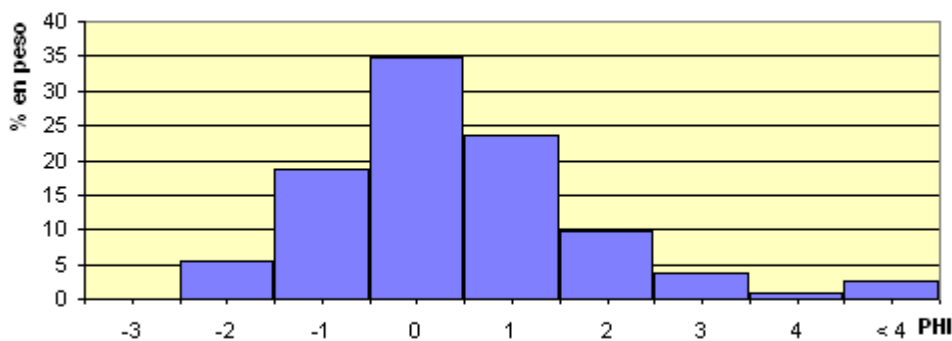
Fecha: 10/08/2010
 Facies: Fondo de lecho
 Peso orig: 216,2 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	11,6968	5,41	5,41
T-10	-1	Sabulo	40,5942	18,78	24,19
T-18	0	Arena muy gruesa	75,5886	34,96	59,15
T-40	1	Arena gruesa	51,284	23,72	82,87
T-60	2	Arena media	20,9273	9,68	92,55
T-120	3	Arena fina	7,8497	3,63	96,18
T-230	4	Arena muy fina	1,5858	0,73	96,91
base	< 4	Pelitas	5,6553	2,62	99,53

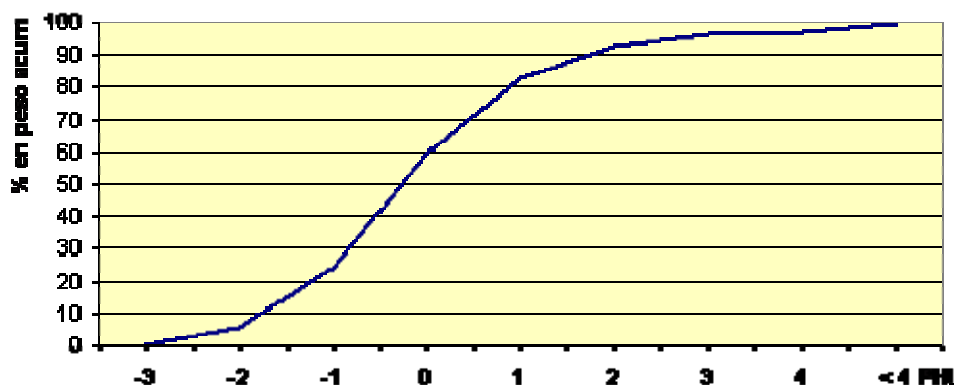
Nombre: **Arena gruesa gravosa**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-mateamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,815	Media=	-0,194
Percentil 84=	1,117	Moda=	PHI 0
Desvio=	1,358	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	0,158	Positiva	
Curtosis=	1,184	Leptocúrtica	

Universidad Nacional de Río Cuarto
 Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 5
 Procedencia: A° El Cano, estación 10

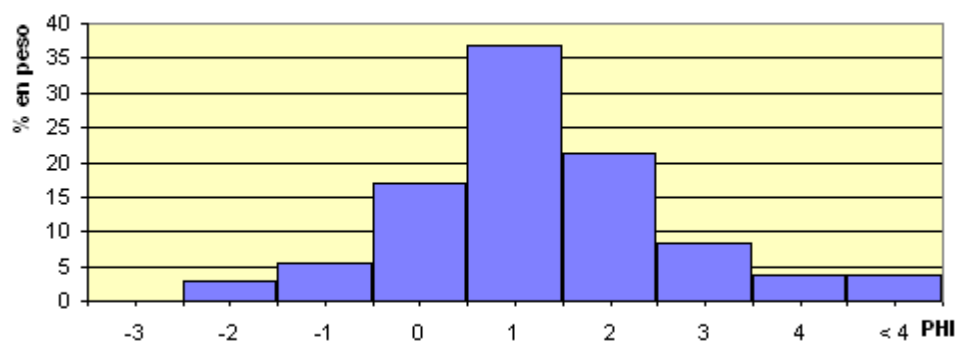
Fecha: 10/08/2010
 Facies: Fondo de lecho
 Peso orig: 223 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	6,4098	2,87	2,87
T-10	-1	Sabulo	12,3667	5,55	8,42
T-18	0	Arena muy gruesa	37,7496	16,93	25,35
T-40	1	Arena gruesa	82,3415	36,92	62,27
T-60	2	Arena media	47,786	21,43	83,70
T-120	3	Arena fina	18,7768	8,42	92,12
T-230	4	Arena muy fina	8,4272	3,78	95,90
base	< 4	Pelitas	8,6471	3,88	99,78

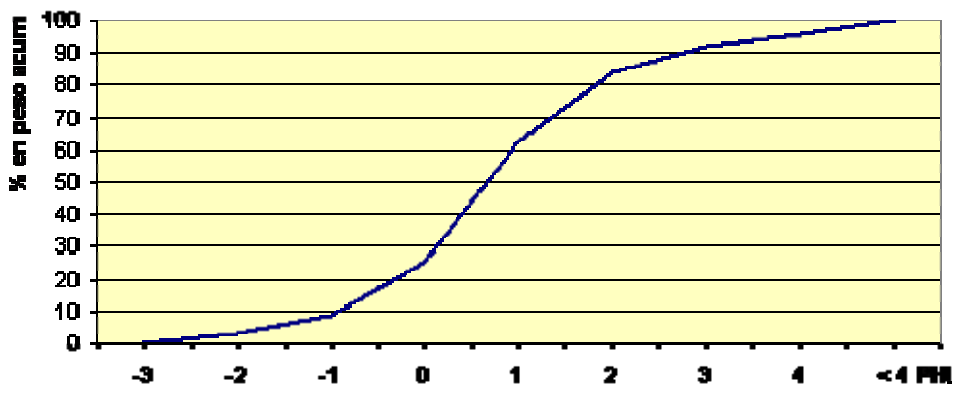
Nombre: **Gravas arenosas**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-metamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,652	Media=	0,717
Percentil 84=	2,035	Moda=	PHI 1
Desvio=	1,462	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	0,104	Positiva	
Curtosis=	1,365	Leptocúrtica	

Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Cs Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Departamento de Geología

Muestra: 6
Procedencia: A° El Cano, estación 11

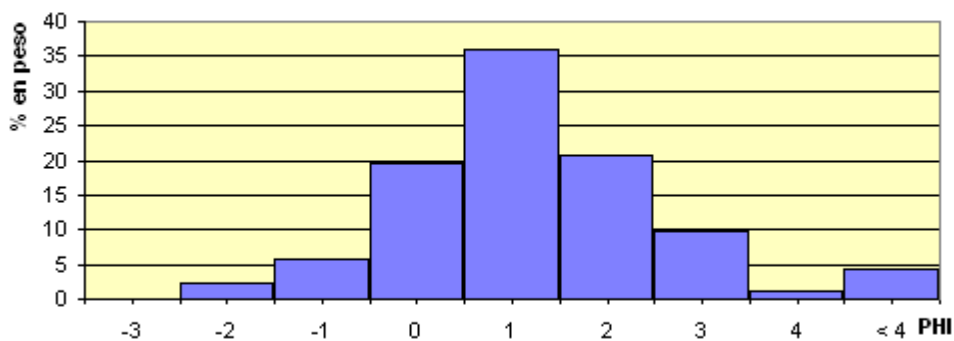
Fecha: 10/08/2010
Facies: Fondo de lecho
Peso orig: 244,8 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	5,9597	2,43	2,43
T-10	-1	Sabulo	13,8896	5,67	8,11
T-18	0	Arena muy gruesa	47,8189	19,53	27,64
T-40	1	Arena gruesa	88,3136	36,08	63,72
T-60	2	Arena media	50,8401	20,77	84,49
T-120	3	Arena fina	24,2596	9,91	94,40
T-230	4	Arena muy fina	2,9419	1,20	95,60
base	< 4	Pelitas	10,274	4,20	99,79

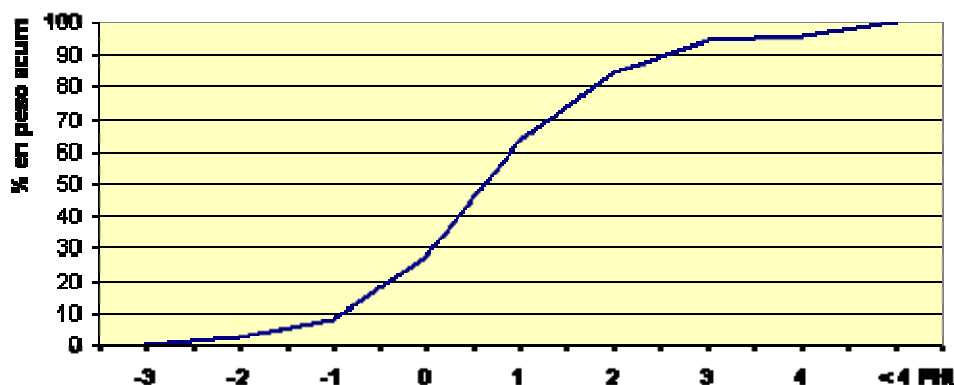
Nombre: **Arena gruesa**

Observaciones: Barra central, canal seco. Composición dominante ígnea-metamórfica

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,589	Media=	0,667
Percentil 84=	1,977	Moda=	PHI 1
Desvio=	1,408	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	0,098	Casi simétrica	
Curtosis=	1,233	Leptocúrtica	

ANEXO III

Análisis general para las subcuencas del arroyo El Cano

Relación de bifurcación

Subcca (C), San Francisco

Nº de orden	1	2	3	4
Cantidad de cursos (n)	65	14	4	1
n/n+1	4,64	3,5	4	Rb: 4,04

Subcca (D)

Nº de orden	1	2	3	4
Cantidad de cursos (n)	24	6	2	1
n/n+1	4	3	2	Rb: 3

Subcca (E)

Nº de orden	1	2	3
Cantidad de cursos (n)	9	2	1
n/n+1	4,5	2	Rb: 3,25

Subcca (F)

Nº de orden	1	2
Cantidad de cursos (n)	12	3
n/n+1	Rb: 4	

Relación de longitud

Subcca (C) San Francisco

Nº de orden	1	2	3	4
Longitud (n)	0,93	1,52	6,85	12,46
n+1/n	1,63	4,5	1,81	RI: 2,64

Subcca (D):

Nº de orden	1	2	3	4
Longitud (n)	1,05	1,11	6,82	2,14
n+1/n	1,05	6,14	0,31	RI: 2,5

Subcca (E):

Nº de orden	1	2	3
Longitud (n)	0,86	2,53	4,38
n+1/n	2,94	1,73	RI: 2,33

Análisis específico para las cuencas (C) San Francisco, (D) y (E)

Relación de bifurcación

Cuenca (C) San Francisco

Subcca (C1)

Nº de orden	1	2	3	4
Cantidad de cursos (n)	22	3	2	1
n/n+1	7,33	1,55	2	Rb:3,61

Subcca (C2)

Nº de orden	1	2	3
Cantidad de cursos (n)	8	2	1
n/n+1	4	2	Rb: 3

Cuenca (D)

Subcca (D3)

Nº de orden	1	2	3
Cantidad de cursos (n)	5	2	1
n/n+1	2,5	2	Rb: 2,25

Subcca (D4)

Nº de orden	1	2	3
Cantidad de cursos (n)	15	3	1
n/n+1	5	3	Rb: 4

Cuenca (E), (E5)

Nº de orden	1	2	3
Cantidad de cursos (n)	9	2	1
n/n+1	4,5	2	Rb: 3,25

Relación de longitud

Cuenca (C) San Francisco

Subcua (1)

Nº de orden	1	2	3	4
Longitud (n)	0,88	1,44	3,23	2,14
n+1/n	1,68	2,24	0,66	RI: 1,52

Subcua (2)

Nº de orden	1	2	3
Longitud (n)	2,2	2,64	8,75
n+1/n	1,2	3,31	RI: 2,25

Cuenca (D)

Subcua (3)

Nº de orden	1	2	3
Longitud (n)	0,57	1,62	5,04
n+1/n	2,84	3,11	RI: 2,97

Subcua (4)

Nº de orden	1	2	3
Longitud (n)	1,01	1,45	8,67
n+1/n	1,43	5,97	RI: 3,7

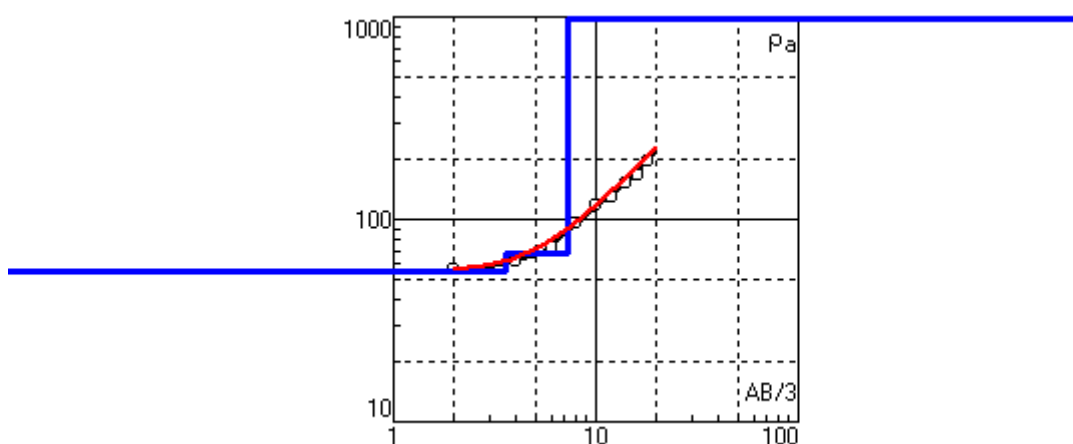
Cuenca (E), (5)

Nº de orden	1	2	3
Longitud (n)	0,86	2,53	4,38
n+1/n	2,94	1,73	RI: 2,33

Sondeos eléctricos verticales (SEV)

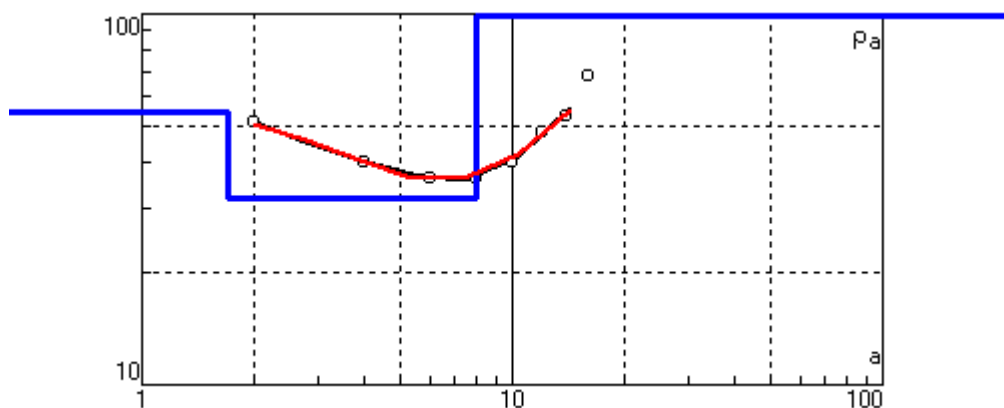
A continuación se presentan los SEV de la zona pedemontana donde ρ es la resistividad aparente, h es el espesor de la capa y d es la profundidad. En el eje de y se presenta el valor de resistividad representado por la línea azul y en el eje x la profundidad en metros. Además se observa la resistividad aparente en color rojo.

SEV 1 Croato- El Cano



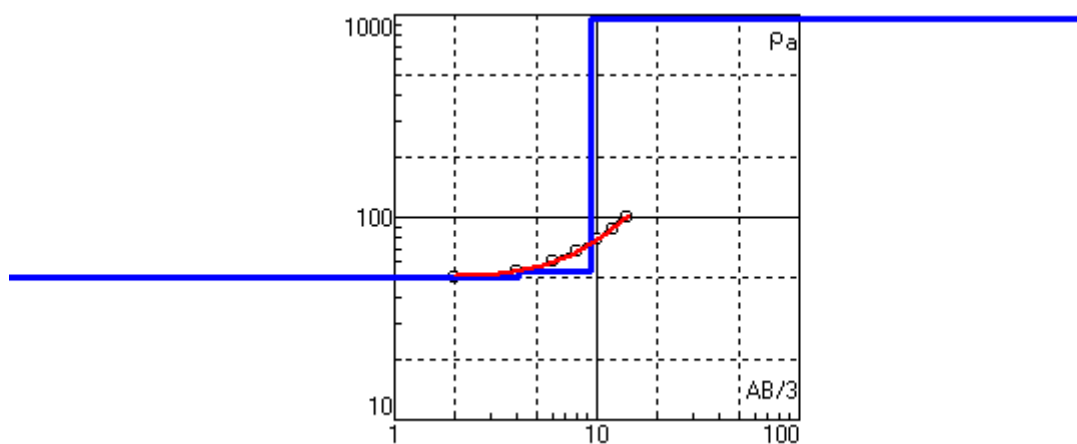
N	ρ	h	d	Alt
1	54.8	3.58	3.58	-3.585
2	68	2.75	6.34	-6.338
3	11509			

SEV 2 Croato- El Cano



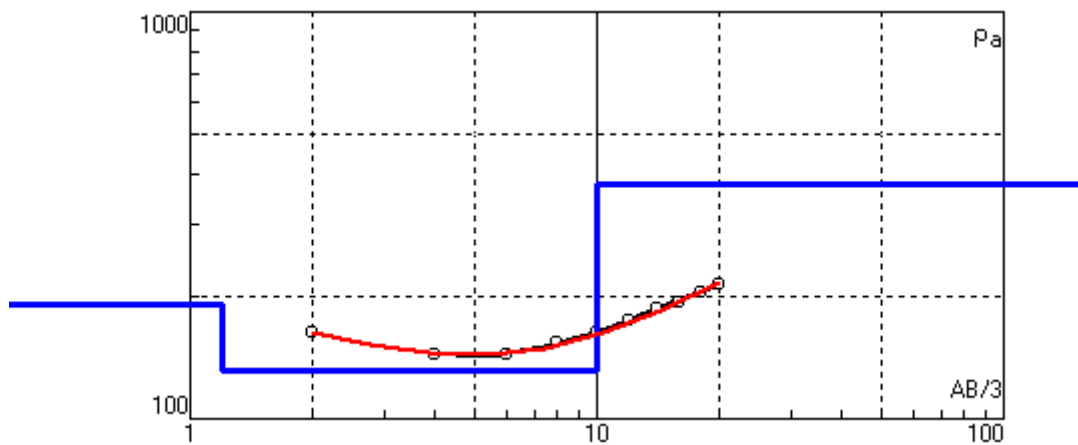
N	ρ	h	d	Alt
1	54.03	1.698	1.698	-1.6982
2	31.85	6.276	7.974	-7.9743
3	1972			

SEV 3 Croato- El Cano



N	ρ	h	d	Alt
1	50.61	4.122	4.122	-4.1217
2	54.38	5.271	9.392	-9.3923
3	964.4			

SEV 4 Croato- El Cano



N	ρ	h	d	Alt
1	191	1.2	1.2	-1.2
2	98.9	7.14	8.34	-8.34
3	672			