

TESIS DE LICENCIATURA
ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE MEANDROS EN EL TRAMO
DEL RÍO CHOCANCHARAVA/CUARTO (CBA), PROCESOS DE
CAMBIO Y ESTABILIDAD DE CANAL. RELACION CON EL
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

FRANCO GASPAR MORENO

DIRECTOR: Dra. SUSANA DEGIOVANNI. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA. FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES. UNRC.

CO-DIRECTOR: Dra. KARINA ECHEVARRIA. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA. FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES. UNRC.

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

2018



|

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser un pilar importante en este proceso. A la heroína sin capa más grande que conozco, mi mamá Franca, que nunca se dio por vencida por ninguno de sus hijos. A mis hermanas que me han bancado todos mis estados de humor y me siguieron apoyando. A Raúl, mi padrastro, que sin su apoyo esto hubiera sido imposible.

A mi viejo, que con altos y bajos, también hizo posible que yo pudiera atravesar esta etapa mientras trabajaba. A mis hermanos y Soledad, que de una u otra forma me apoyaron.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, por permitirme completar mi formación académica y brindar una educación de gran calidad.

A las profesoras Susana Degiovanni "gringa" y Karina Echevarría por guiarme y acompañarme a lo largo de este trabajo. También a los profesores Nelso Doffo, Daniel Origlia y Guillermo Sagripanti por su colaboración y contribución.

A todos los profesores del Departamento de Geología de la UNRC, por contribuir a mi formación como profesional.

A mis amigos y compañeros, en especial a Sebastián, por no dejar que baje los brazos. A Marini por todo su apoyo y colaboración levantando perfiles. A Virginia por ser una gran amiga y compañera estos últimos años. A Dani, Cele, Euge, entre tantos otros que ayudaron a concluir esta etapa.

Al movimiento Scout, y en especial al Grupo Scout Espíritu Santo, porque sin su incentivo no hubiera retomado la carrera.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
I.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
I.2 PLANTEO DEL PROBLEMA	5
I.3 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	7
I.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO	7
I.5 OBJETIVOS	8
I.5.1 Objetivo general.....	8
I.5.2 Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS	9
II.1 TRABAJO INICIAL DE GABINETE.....	9
II.2 TRABAJO DE CAMPO	10
II.3 TRABAJO DE LABORATORIO	10
II.4 ETAPA DE GABINETE FINAL.....	11
CAPÍTULO III.....	13
GEOLOGÍA REGIONAL.....	13
III.1 INTRODUCCIÓN	13
III.2 ESTRATIGRAFÍA.....	14
III.3.- ESTRUCTURAS	15
III.4 GEOMORFOLOGÍA	19
CAPÍTULO IV	29
CLIMA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	29
IV.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO CUARTO	29
IV.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	31
CAPÍTULO V	35
CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	35
V.1 ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	35
V.1.1 Descripción e interpretación de perfiles sedimentarios	35
V.1.2 Síntesis de la estratigrafía local	52
V.2 ESTRUCTURAS	52
CAPÍTULO VI	57
GEOMORFOLOGÍA LOCAL	57
VI.1 INTRODUCCIÓN - DEFINICIÓN DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	57

VI.1.1 Unidades geomorfológicas:	57
VI.2 – DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	59
CAPÍTULO VII	73
MORFOMETRÍA DEL CANAL	73
VARIACIONES ESPACIO-TEMPORALES	73
VII.1 - INTRODUCCIÓN.....	73
VII.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL DISEÑO EN PLANTA	74
VII.2.1 Sinuosidad.....	75
VII.2.2 Amplitud, longitud de onda y radio de curvatura de los meandros	76
VII.2.3 Orientación de meandros	91
VII.3 PERFIL LONGITUDINAL	93
CAPÍTULO VIII	95
DINÁMICA DE MEANDROS	95
VIII.1. INTRODUCCIÓN	95
VIII. 2 RESULTADOS.....	96
VIII.3 CASOS DE ESTUDIO	100
CAPÍTULO IX	115
CAMBIOS DE CANAL:	115
FACTORES DE CONTROL.....	115
IX.1 INTRODUCCIÓN	115
IX.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE CONTROL EN EL AREA DE ESTUDIO	116
IX.2.1 Controles aguas arriba	116
IX.2.2 Controles aguas abajo.....	120
IX.2.3 Controles locales	122
CAPÍTULO X	127
CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	137
ANEXO 1 – Análisis granulométrico	137
ANEXO 2: Tabla de parámetros morfométricos.....	147

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES

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 consideradas dependientes como ancho, profundidad, pendiente, sinuosidad, entre otras, a variaciones de la descarga y suministro de sedimentos (variables independientes o de control). El tiempo de respuesta/ajustes de los cursos de agua está fuertemente condicionado por la resistencia de los materiales que componen las márgenes y fondo del canal, así los canales aluviales, semiconfinados y de lecho rocoso, muestran una movilidad cada vez más restringida. Trabajos pioneros llevados a cabo por destacados geomorfólogos desde la década del '50 (Horton, 1945; Strahler, 1957; Leopold y Wolman, 1957; Leopold y Langbein, 1962, Scheidegger, 1964, Langbein, 1965; Yang, 1971, entre otros) observaron que estos ajustes en todos los casos se relacionan con la disipación o conservación de la energía y con la distribución del gasto energético dentro del sistema fluvial.

Particularmente, en canales aluviales en un estado estable, los parámetros hidráulicos están constantemente ajustándose, rápida y materialmente a medida que la descarga y el suministro de sedimentos varían con el tiempo, pero existen diferentes alternativas, que surgen a partir de varias combinaciones posibles, que pueden satisfacer las leyes físicas de conservación de la energía y de las masas (respuesta múltiple, Leopold, 1995; Schumm, 2005).

Uno de los geoindicadores más utilizados en geomorfología fluvial por su alta *sensibilidad* para reflejar estos cambios, es el diseño o patrón de canal, que representa el modo en que un río 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 (Osterkamp y Schumm, 1986; Downs, 1995; Downs *et al.*, 2013; Gregory, 2006; Schumm, 2005). En la literatura

existen varias clasificaciones de diseño de canal dependiendo de la perspectiva y variables consideradas por los autores. La clasificación pionera de Leopold y Wolman (1957) en canales rectos, meandriformes y entrelazados está basada fundamentalmente en la descarga y el gradiente. Los dos primeros poseen canal único diferenciándose por el índice de sinuosidad (recto $< 1,5$; meandriforme $> 1,5$), 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, meandriforme 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. Brice (1982, 1983) anexa a estos tres tipos básicos, los ríos "*anabranching*" y anastomosados y distingue dos tipos de canales meandriformes según su estabilidad. Este autor relaciona variables morfométricas del canal (ancho, gradiente y sinuosidad), con la carga de sedimentos y estabilidad de las márgenes en los diferentes tipos de diseño/patrón de canal y muestra cómo para cada uno de los canales simples identificados existe un correspondiente canal múltiple (*anabranching* o anastomosado). Nanson y Knighton (1996) por su parte profundizan la clasificación de canales *anabranching* (tipo y estabilidad).

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 meandriformes, como lo señala Leopold (1994), ya que este diseño representa el modo más eficiente de utilizar y disipar la energía dentro del sistema fluvial. Así, en los canales meándricos existe una fuerte correlación entre longitud de onda, radio de curvatura y ancho del canal; longitud de onda y caudal de bankfull; radio de curvatura y pérdida de energía por fricción; entre otros; poniendo de manifiesto que los parámetros geométricos se ajustan de un modo tal que proveen el mínimo gasto energético (Leopold y Wolman, 1957 y 1964; Knighton, 1984; Leopold, 1994; Schumm, 2005).

Los cambios en los canales meandriformes tienen lugar por erosión de márgenes, deposición dentro del canal, estrangulamiento (*neck cut-off*), acortamiento (*chute cut-off*) o avulsión, procesos estos últimos que involucran cambios en la posición del canal. Por su gran distribución espacial y los problemas ambientales relacionados a la dinámica de estos cursos, son numerosos los trabajos que abordan distintos aspectos de los canales meandriformes, ya sea generales o a nivel de curvas/meandros

individuales, entre ellos Leopold y Wolman (1957); Hickin, (1983); Hooke (1984, 2007); Schumm (2005).

Estos trabajos antecedentes muestran que, en general, los ríos meándricos más activos, son aquellos que exhiben alta tasa de migración lateral, raramente presentan una estabilidad de formas o rasgos morfológicos, más bien ellos muestran un progresivo desarrollo (Hooke, 1984 y 2007; Hickin, 1983; Schumm, 2005; Downs *et al.*, 2013). A pesar de la abundante literatura un tema de interés que aún necesita de mayores estudios, es dilucidar los cambios progresivos en el corto plazo de las características morfométricas, hidráulicas y dinámicas de curvas/meandros en particular y cuánto de este comportamiento es alogénico o autigénico. En este trabajo se propone abordar algunos de estos aspectos en el tramo medio del río Chocancharava/Cuarto, caracterizado por un diseño meandriforme.

I.2 PLANTEO DEL PROBLEMA

El río Chocancharava/Cuarto (cuenca: 2500 km²) tiene sus nacientes en la Sierra de Comechingones (Sierras Pampeanas) y descarga en los Bañados del Saladillo, integrándose a la cuenca del Plata, vía río Saladillo-Carcarañá-Paraná. En la cuenca alta drena rocas de basamento cristalino, ígneo-metamórfico, mientras que su cuenca media y baja se desarrolla en sedimentos cuaternarios continentales de la llanura Pampeana. El clima en la cuenca es de tipo Mesotermal, variando de Subhúmedo-Húmedo en la zona serrana y pedemontana a Subhúmedo-Seco en las planicies deprimidas más orientales.

Este curso posee un régimen torrencial y sus principales tributarios son: río Alpa Corral-Las Barrancas-Río Seco, Piedras Blancas, San Bartolomé-La Invernada y Las Cañitas. Según datos de la ex-Empresa de Agua y Energía S.E., los caudales erogados, varían desde 1,7 m³/s, en estiaje, hasta 250, 700 y 2000 m³/s, en crecidas bianuales, decenales y centenarias, respectivamente.

En su recorrido extraserrano, el río Cuarto presenta notorios cambios de orientación y morfología de cauce y faja fluvial (Degiovanni *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014), conforme atraviesa diferentes contextos geológicos/geomorfológicos y recibe a sus tributarios aunque, a diferencia de cursos de magnitud similar (Primero, Segundo y Tercero), este curso no sortea obstáculos estructurales significativos (por ej. Sas Chicas) y, desde que abandona el piedemonte rápidamente adopta las características de un río de llanura (Carignano *et al.*, 2014).

En la zona pedemontana y hasta la confluencia con el río Seco su traza está fuertemente controlada por estructuras de rumbo SO-NE y NO-SE, la tasa de incisión

es importante, el canal es angosto, rectilíneo de lecho cohesivo, observándose "meandros rectangulares" semiconfinados y dos niveles de terrazas. A partir de los aportes de los ríos Las Cañitas, San Bartolomé y, muy especialmente, del río Seco, se incrementa marcadamente la carga de fondo areno-gravosa, la planicie aluvial se ensancha al igual que el canal, que adopta un diseño entrelazado ligeramente sinuoso y corre en dirección NO-SE hasta proximidades de la ciudad de Río Cuarto (Ulla, 2008; Carignano *et al.*, 2014).

Aguas abajo de la ciudad y hasta su zona de descarga adopta un rumbo general hacia el ESE, con cambios locales (NO-SE) asociados a las fallas de Reducción y Alejandro Roca-Pampayasta (Degiovanni *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014). Hasta aproximadamente la localidad de Las Acequias, el curso profundiza su valle manteniendo su ancho medio y presenta tres niveles de terrazas. En distintos segmentos de este tramo se exponen sedimentos cohesivos pleistocenos (toscas) en el lecho de un canal de sinuosidad intermedia. A partir de este sitio el río presenta un cauce meandriforme de alta sinuosidad y elevada tasa de estrangulamiento/avulsión en una llanura aluvial bien desarrollada en la que se destacan meandros abandonados, algunos ocupados por cuerpos lagunares. En este tramo, se identifica un nivel de terraza muy reducido que se extiende hasta un poco al Este de Alejandro Roca. A partir de allí, el río mantiene un curso general hacia el ESE encajado en sus antiguos derrames, hasta alcanzar los bañados del Saladillo (Carignano *et al.*, 2014).

Conforme a estas variaciones morfológicas, morfodinámicas y sedimentológicas este curso presenta diferentes problemáticas ambientales vinculadas tanto a causas naturales (climáticas y tectónicas) como antrópicas (minería de cauce, rectificaciones, construcción de azudes, canalizaciones, albardonado, etc), como lo señalan Blarasin *et al.* (1994, 2005), Degiovanni (2005, 2008), Degiovanni *et al.* (2014), Doffo *et al.* (2016), entre otros. En su cuenca media dominan procesos de incisión y erosión lateral que ocasionaron severos problemas a zonas urbanizadas (Río Cuarto, Alejandro Roca, Reducción) e infraestructura vial (rutas nacionales N°36 y N°8, puentes en Reducción, Río Cuarto, La Carlota); mientras que, en cuenca baja, son recurrentes los problemas de inundación (ciudad de La Carlota, zonas rurales, ruta nacional N°8).

Al presente, si bien son numerosos los trabajos sobre el río Cuarto que abordan aspectos hidrológicos, de producción y transporte de sedimentos, geomorfológicos y geoambientales (Degiovanni *et al.*, 1998, 2000, 2005a y b, Doffo *et al.*, 2016) la información es discontinua y a diferentes escalas espacio-temporales y los resultados alcanzados en los procesos de gestión no fueron suficientemente óptimos. Este trabajo de Tesis de Licenciatura forma parte del proyecto de investigación "*Comportamiento morfohidrológico de la cuenca del río Cuarto, con énfasis en sitios ambientalmente*

críticos. Análisis de variables tectónicas, climáticas y antrópicas que operaron en el mediano y largo plazo" (SECYT-UNRC y PICT-FONCYT) y se propone abordar el estudio del segmento meandriforme del río Chocancharava/Cuarto comprendido entre la ciudad homónima y Alejandro Roca, con el propósito de comprender la dinámica del canal (avulsión, acortamiento y estrangulamiento de meandros) como base para la gestión de peligros naturales asociados.

I.3 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de trabajo se ubica en el sector centro Sur de la provincia de Córdoba, República Argentina, en los departamentos Río Cuarto y Juárez Celman (Fig. I.1), específicamente en las coordenadas $33^{\circ}06'00''S$ - $64^{\circ}17'00''O$ y $33^{\circ}22'00''S$ - $63^{\circ}41'00''O$. Presenta una superficie aproximada de 700 km^2 que abarca el tramo del río Cuarto comprendido entre las localidades de Río Cuarto y Alejandro Roca. Otros asentamientos urbanos en el área son, de mayor a menor en número de habitantes, Reducción, Las Acequias, La Gilda y San Ambrosio. Se puede acceder al área por la ruta nacional N°8, ruta provincial N°10 y se recorre a través de una red de caminos secundarios consolidados.



Figura I.1: Ubicación del área de estudio.

I.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1- El diseño de canal en un río aluvial es un indicador de alta sensibilidad y refleja la respuesta morfológica más óptima/eficiente de gasto energético frente a diferentes combinaciones posibles de la pendiente, caudal y suministro de materiales.

2- En canales aluviales existe una marcada relación entre variaciones en la morfometría de meandros y dinámica del canal, dominando procesos de migración/traslación en meandros geoméricamente más estables y acortamiento, estrangulamiento y avulsión en aquellos que muestran mayores cambios.

3- Los procesos de traslación, acortamiento, estrangulamiento y avulsión de meandros en el río Cuarto, responden en general a causas intrínsecas o autigénicas, pero su ocurrencia espacial se asocia a unidades morfotectónicas regionales.

4- Existe una marcada relación entre las características morfológicas y morfométricas de la faja fluvial del río Cuarto, en el tramo comprendido entre la ciudad homónima y Alejandro Roca, con el contexto geológico regional (litología-tectónica). Así en los bloques más elevados, con mayor pendiente y materiales más gruesos, los parámetros morfométricos de meandros son mayores que en los tramos de menor pendiente y materiales más finos y cohesivos.

I.5 OBJETIVOS

I.5.1 Objetivo general

Analizar la morfometría de meandros, sus variaciones, los procesos morfodinámicos y el grado de estabilidad del canal en el tramo medio del río Chocancharava/Cuarto, estableciendo relaciones con el contexto geológico regional.

I.5.2 Objetivos Específicos

-Caracterizar el contexto geológico-geomorfológico regional/local del área de estudio.

-Analizar el diseño en planta del canal.

-Efectuar un análisis morfométrico de detalle en los meandros presentes en el tramo estudiado y establecer la variabilidad espacio-temporal de los principales parámetros geoméricos de los mismos.

-Realizar un análisis de los procesos/mecanismos que provocan cambios en el diseño del canal.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos planteados en la presente tesis se realizaron distintas tareas de campo, laboratorio y gabinete, divididas en cuatro etapas de trabajo que se detallan a continuación:

II.1 TRABAJO INICIAL DE GABINETE

- Recopilación, análisis e interpretación de antecedentes bibliográficos y material cartográfico de la zona a investigar: cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, ex Instituto Geográfico Militar-IGM), imágenes satelitales y fotografías aéreas de diferentes épocas y escalas, fotografías oblicuas y modelos digitales de elevación (MDE).

- Recopilación e interpretación de datos climáticos e hidrológicos disponibles a nivel de cuenca (Subsecretaría de Recursos Hídricos Nacional –SSRH-, Departamento Geología UNRC, Departamento Hidráulica-UNC, Sec. Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia de Córdoba -Ex Dipas).

- Elaboración de la cartografía básica preliminar sobre aspectos geológico-geomorfológicos y morfológicos/morfodinámicos de la faja fluvial del tramo medio del río Chocancharava/Cuarto, a escala de semidetalle y detalle, respectivamente, en base a cartas topográficas, escala 1:50.000 del IGN, fotografías aéreas, escala 1:20.000 y 1:60.000 (UNRC), imágenes satelitales Landsat y disponibles en sitio Google Earth© y, mediante el uso de herramientas SIG.

- confección de un mapa de morfoisohipsas de la zona de estudio, en base a las hojas topográficas del IGN, escala 1:50.000, con una equidistancia de 10 metros. Estos intervalos se diferenciaron con una paleta de colores degradados indicando el rango de cotas.

- Segmentación preliminar del canal en función del diseño en planta.

- Selección de secciones de control representativas de diferentes condiciones del canal (procesos dominantes, litología de lecho y márgenes), de sitios de aforo y

muestreo de material de carga de fondo y suspensión y tramos para relevamiento planialtimétrico de detalle

II.2 TRABAJO DE CAMPO

- Relevamiento de las características geológicas-geomorfológicas de la zona a estudiar. Descripción de perfiles sedimentológico-estratigráficos en la faja fluvial. Específicamente a nivel de canal, se midieron secciones transversales (ancho, profundidad, altura de barrancas) y se describieron procesos dominantes (erosión lateral y vertical, sedimentación, migración de meandros, avulsión, entre otros).

- En cada sección de control, se midió el caudal, se tomó una muestra de agua superficial a fin de estimar la concentración de sólidos en suspensión y se extrajo una muestra de sedimentos de fondo de canal. El caudal se determinó mediante el método de la sección media compensada, por vadeo con micromolinetete (OTT).

- Relevamiento planialtimétrico con estación total en tres sitios representativos de variabilidad en el diseño de canal. En dos de ellos se relevaron meandros recientemente abandonados por estrangulamiento (2007) y avulsión (2015), mientras que el tercer sitio ejemplifica una condición de estabilidad. Para el relevamiento topográfico se empleó una estación total Sokkia Set 60, aplicando los métodos de teodolito más distanciómetro (Campanella y Origlia, 2015). Se utilizaron dos jalones con prismas fijados en el tope, GPS Garmin etrex vista HCx para tomar las coordenadas geográficas de las estaciones y cinta métrica para mediciones de equipamiento y distancias menores. La toma de puntos se hizo mediante el método de radiación desde la estación establecida, puesta en 0° con el Norte y con posterior corrección por declinación magnética. Para mantener la precisión de las mediciones, en cada cambio de estación, se fijó el N (0°) en la estación anterior.

II.3 TRABAJO DE LABORATORIO

- En el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto se determinó la distribución por tamaño de partícula de las distintas fracciones granulométricas de las muestras extraídas. Se procedió al secado de las muestras a temperatura ambiente, posterior cuarteo y tamizado mediante un agitador de tamices tipo *rot-up*. La secuencia de tamices empleada fue: 5, 10, 18, 35, 60, 120, 230, 270 y fondo.

- Determinación de la concentración de sólidos en suspensión (Cs) mediante el método de comparación peso húmedo/peso seco de un volumen de agua conocido.

Este valor se convirtió en caudal sólido (Qs) multiplicándolo por el caudal líquido (Ql) de la sección correspondiente, obtenido en campo.

II.4 ETAPA DE GABINETE FINAL

- En ambiente SIG se confeccionó la cartografía definitiva, a nivel general (mapa geológico-geomorfológico) y específico (mapas morfométricos, morfoisohipsas, estabilidad de canal).

- A partir del mapa de morfoisohipsas se efectuó análisis morfotectónico y se definieron las principales morfoestructuras o megabloques presentes en el área de estudio y, las fallas, fracturas y lineamientos mayores que los seccionan. Se trazaron perfiles transversales y longitudinales representativos. Considerando las unidades morfotectónicas mayores, se dividió al canal en tres segmentos, los cuales se utilizaron de base para el análisis morfométrico.

- Mediante análisis estadístico se determinó la distribución granulométrica y las variaciones de valores estadísticos (media, moda, selección, D50 y D90), de las muestras de sedimentos de fondo. Esto permitió determinar cambios granulométricos en la carga transportada.

- Se digitalizó el canal en diferentes años (1984, 2004 y 2016) a partir de imágenes satelitales *Google Earth*®, hojas topográficas y fotos aéreas y, para cada escenario temporal, se inventariaron y numeraron los meandros presentes medición de los parámetros geométricos de canal y meandros: índice de sinuosidad, amplitud, longitud del *talweg*, de valle y de onda, radio de curvatura, orientación del eje de simetría de la curva y gradiente.

- Mediante el uso de diversos softwares (*ArcGIS*, *Global Mapper*, *Google Earth*®) se estimaron para cada segmento de canal, en los tres escenarios temporales considerados, los siguientes parámetros morfométricos: índice de sinuosidad, orientación, amplitud, longitud de onda y radio de curvatura de los meandros inventariados.

- Se subdividieron los meandros según su orientación en 12 grupos con un intervalo de ángulo de 30°, representando las direcciones N, NNE, ENE, E, ESE, SSE, S, SSO, OSO, O, ONO y NNO.

- Se realizó el tratamiento estadístico de los parámetros morfométricos medidos en meandros mediante diagramas de caja.

- Se analizó la dinámica de meandros por segmentos para los periodos 1984-2004 y 2004-2016 y se agruparon los procesos de migración en 7 categorías (rotación, extensión, lobulamiento, rectificación y acortamiento, creación de nuevos meandros, estables y procesos mixtos/compuestos). Luego, mediante gráficos de barras, se llevó

a cabo una comparación donde se identificaron procesos dominantes en cada segmento para los periodos analizados.

- Los datos del relevamiento planialtimétrico fueron procesados mediante el programa Excel. Se asignaron coordenadas planas (X, Y, Z) arbitrarias a la primera estación en cada sitio y se calcularon las mismas coordenadas para todos los puntos relevados. Como apoyo se usó el programa *Google Earth*®, mediante el cual se verificó la declinación magnética usando líneas orientadas de control y se comprobó la consistencia de la ubicación de todos los puntos relevados. Finalmente, los puntos se agruparon de acuerdo a su ubicación morfológica y se realizaron todos los cálculos necesarios para la elaboración de las vistas en planta y perfiles longitudinales.

- En los sitios seleccionados para efectuar estudios de detalle de los aspectos morfométricos y morfodinámicos, se llevó a cabo un análisis secuencial de imágenes satelitales *Google Earth*® y fotografías aéreas. Esta información se complementó con los resultados del relevamiento planialtimétrico lo que permitió estimar parámetros de interés para aproximar umbrales de cambio (pendiente del canal abandonado y rectificado, profundización del canal, sinuosidad, sitios de agradación, de erosión, entre otras).

- Se confrontó la información de la variabilidad morfométrica y morfodinámica de meandros, con la información tectónica, litológica y geomorfológica, antecedente y relevada, con el propósito de establecer posibles vínculos/controles entre la dinámica fluvial del sector estudiado y el contexto geológico regional/local.

- Redacción informe final.

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

III.1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia geomorfológica Llanura Chacopampeana (Fig. III) que forma parte de una gran cuenca de agradación (Paleozoico-actualidad) que atraviesa todo el continente sudamericano, desde los llanos de Colombia y Venezuela al Norte, hasta las pampas de la República Argentina al Sur. Desde el Mioceno esta cuenca es parte de un gran antepaís que recibe sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye mayormente el lugar de tránsito de esos materiales hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli *et al.*, 1999).

La llanura Chacopampeana se divide en tres grandes regiones diferenciadas por sus características morfosedimentarias: Chaco, Pampa Norte y Pampa Sur, de acuerdo a la clasificación de Iriondo (2010). La Llanura Chaqueña presenta un predominio de materiales fluviales provenientes de unos pocos mega-abanicos aluviales que nacen en las Sierras Subandinas: los abanicos de los ríos Pilcomayo y Bermejo, correspondientes a la cuenca del Paraná, y el mega-abanico del Salado del Norte, del que son parte los sistemas del Saladillo y del Dulce, pero que desaguan en la laguna Mar Chiquita (Chebli *et al.*, 1999; Iriondo, 2010). La Llanura Pampeana está dominada por depósitos eólicos pleistocenos y holocenos que conforman un potente manto que cubre la mayor parte de su superficie y, subordinadamente, por depósitos aluviales asociados a los cursos que drenan la vertiente oriental de Sas Pampeanas. Los depósitos eólicos fueron agrupados por Iriondo (Iriondo 1990a, b y c, 1997) en una gran unidad geomorfológica denominada Sistema Eólico Pampeano, que se compone de un núcleo de sedimentos arenosos denominado Mar de Arena Pampeano y de una extensa Faja Periférica Loésica (Iriondo 1990a, b y c; Iriondo y Kröhling, 1996), en transición lateral hacia sotavento en el patrón depositacional.

Los depósitos aluviales provienen de los cinco abanicos mayores generados por los ríos Suquía, Xanaes, Ctalamochita, Chocancharava y Popopis, y otros más pequeños asociados a cursos de menor jerarquía (Carignano *et al.*, 2014).

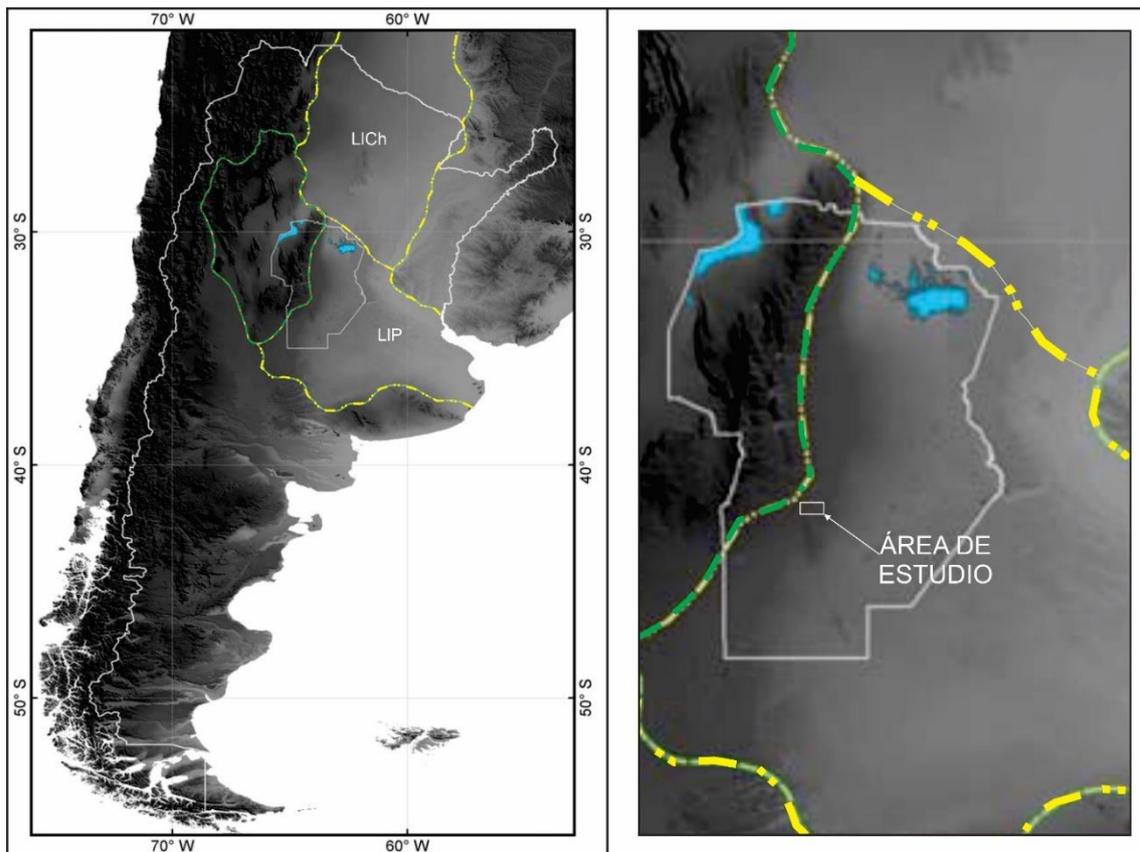


Figura III.1: Mapa ubicación. Sierras Pampeanas (línea verde) –Llanura Chacopampeana (línea amarilla). LICH (Llanura Chaqueña) – LIP (Llanura Pampeana). Modificado de Carignano *et al.* (2014).

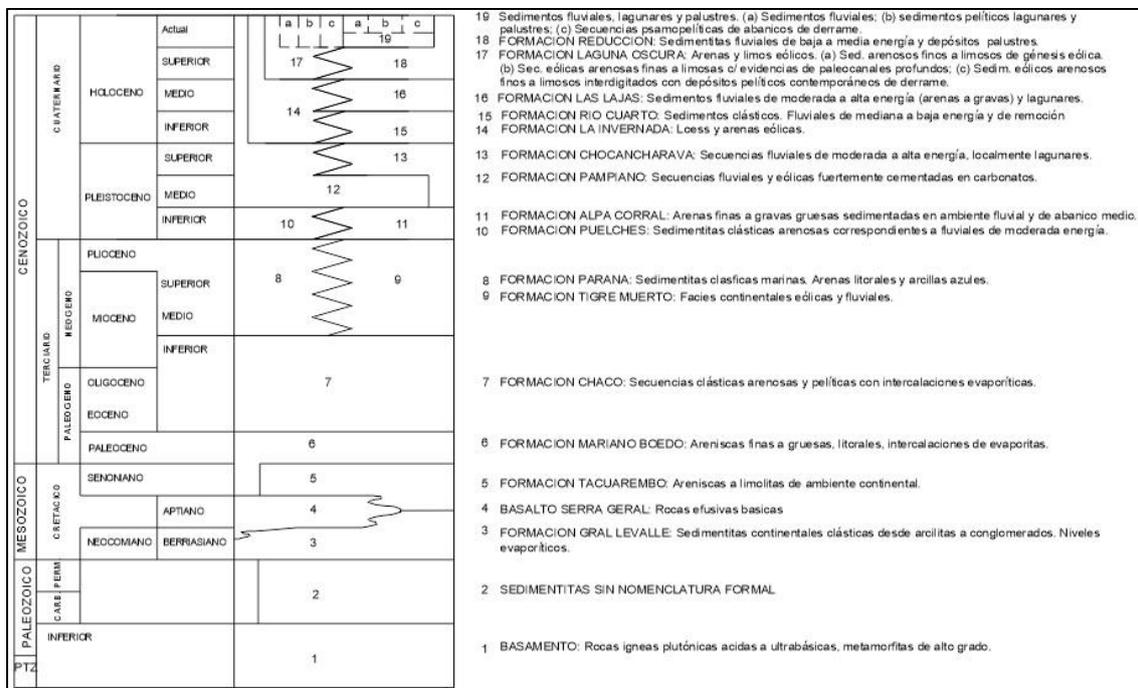
III.2 ESTRATIGRAFÍA

En el Sureste de la provincia de Córdoba los sedimentos más antiguos correspondientes al Cuaternario en general no están aflorando y sólo se observan en barrancas de ríos, arroyos y cárcavas y en perforaciones realizadas para distintos fines

En el área de estudio la secuencia cuaternaria responde a una interestratificación de depósitos continentales eólicos y fluviales-lagunares (Cuadro III.1), descritos por Cantú (1992) y Degiovanni *et al.* (2005). La unidad más antigua del área corresponde a la Formación Pampiano, del Pleistoceno medio o superior, compuesta por sedimentos eólicos y fluviales, consistentes en limos y limos arenosos fuertemente cementados por carbonatos, de coloración rojiza, que se presentan en varios niveles lateralmente discontinuos. A esta formación le sobreyacen en discordancia los depósitos aluviales de granulometría variable entre pelitas y psefitas, asignados a la Formación Chocancharava del Pleistoceno superior, correspondientes a sedimentos de cauce, albardón y llanura de inundación. Coetáneamente con esta

Formación, en los interfluvios, se desarrollaron suelos asignados al Paleosuelo Estancia El Cerrito.

Durante el Pleistoceno superior-Holoceno inferior, la aridización del clima permitió la depositación de la Formación La Invernada, constituida por mantos de limos arenosos muy finos, masivos y con alto contenido de vidrio volcánico, mientras que los sistemas fluviales disminuían su energía de transporte, coincidente con la depositación de la Formación Río Cuarto. La etapa más húmeda del Holoceno bajo-medio acentúa la dinámica de los sistemas fluviales y lagunares, cuyos depósitos se asignan a la Formación Arroyo Las Lajas. Coetáneamente, en los interfluvios se desarrolló el Paleosuelo Las Tapias.



Cuadro III.1: Estratigrafía regional del Sur de Córdoba, extraído de Degiovanni *et al.* (2005).

Finalmente, durante el Holoceno superior se depositaron materiales eólicos, la Formación Laguna Oscura, en tanto las secuencias fluviales se restringen en su distribución, correspondiendo los sedimentos a la Formación Reducción (Degiovanni *et al.*, 2005).

III.3.- ESTRUCTURAS

La Llanura Chaco Pampeana presenta una tendencia negativa, en la que se han acumulado espesas series sedimentarias continentales y marinas. Evidencias estratigráficas, sedimentológicas y sísmicas permiten interpretar para el subsuelo la

existencia de grandes depresiones separadas por altos estructurales, lo que demuestra que el basamento cristalino se encuentra dislocado, conformando bloques que están diferencialmente desplazados (Chebli *et al.*, 1999).

Passotti (1974) también consideró a la Llanura Chacopampeana como una cuenca intracratónica de plataforma, con un potente relleno sedimentario, que puede ser dividida en tres grandes bloques, limitados por megatrazas de orientación meridiana. Estos grandes bloques poseen morfología y comportamiento diferentes: el bloque del Oeste, denominado "Pampa Elevada", se caracteriza por el aporte constante de sedimentos que recibe de las sierras y su movimiento es de ascenso. En el bloque central o "Pampa Hundida" predomina la colmatación y el descenso, mientras que en el bloque oriental o "Pampa Levantada" se observa un levantamiento y basculamiento (Passotti, 1974). Estos bloques están controlados por megatrazas meridianas denominadas San Francisco del Chañar–Hernando, la cual divide la Pampa Hundida de la Elevada, Tostado-Selva-Melincué, que limita la Pampa Hundida de la Levantada.

En tiempos paleozoicos toda el área pudo haberse comportado como una única zona negativa, que luego, debido a los movimientos tectónicos del Jurásico, se separó en cuencas menores que se colmataron con sedimentos cretácicos y terciarios (Russo *et al.*, 1979). La ausencia de depósitos triásicos-jurásicos permiten inferir que hubo un prolongado periodo de erosión, proponiendo para el Cretácico intensos movimientos tectónicos, que generaron modificaciones en el relieve, en estilo estructural y formaron una serie de depocentros, como las cuencas de Macachín, Levalle-Laboulaye, Salado, Colorado y Chacoparanaense. Chebli *et al.* (1999) definieron la conformación de la Llanura Chacopampeana en altos y depresiones que se alinean en general en sentido NE-SO.

El evento extensional al que estuvo sometida la cuenca en el Paleozoico inferior originó un hemigraben que posteriormente fue invertido parcialmente en el Paleozoico superior–Mesozoico inferior. Para el Mesozoico superior, el régimen fue distensivo y generó un rift intracratónico, evidenciado por el desarrollo de cuencas menores. Posteriormente, durante la orogenia Ándica (régimen compresivo) las estructuras normales lítricas de crecimiento se transformaron en inversas.

El Sur de Córdoba muestra un estilo tectónico definido por bloques hundidos y levantados, basculados al E y SE, que generan una morfología escalonada y ondulada, cuya expresión disminuye en el sentido de la pendiente regional hacia el Sudeste. Los bloques son elongados, con ejes mayores de dirección N-S y limitados por fallas normales e inversas con esta orientación. Su disposición condiciona la morfología, ejerciendo un control de la red de drenaje. La orientación de las estructuras presentes define dos sistemas principales; uno con orientación N-S, formado por megatrazas y

fallas, y otro formado por fallas y fracturas de rumbo O-E (Fig. III.2). Se identifican además otros sistemas con orientaciones NO-SE y NNE-SSO (Degiovanni *et al.*, 2005).

- **Sistema Norte-Sur**

Se encuentra conformado por las fallas Santa Catalina, San Basilio, Del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro-Pampayasta y El Rastreador-Los Cisnes.

-La *megatraya de Alejandro-Pampayasta*, es una falla muy importante, reconocida por centenares de kilómetros en la provincia de Córdoba y, según Pasotti (1974), divide los bloques de la "Pampa Elevada", al Oeste, y la "Pampa Hundida" en la llanura oriental de Córdoba. Se infiere un carácter inverso con plano buzante al Oeste (Degiovanni, *et al.*, 2005)

-La *falla del Tigre Muerto* presenta un rumbo meridiano-submeridiano, es una estructura regional de carácter inverso con labio hundido al Oeste y plano buzante al Este. Constituye el límite occidental del bloque de Levalle, ejerciendo un importante control sobre el arroyo Santa Catalina.

-El *lineamiento de la falla de Levalle* (Cantú y Degiovanni, 1982), posee un labio hundido hacia el Este y se infiere que es inversa con plano buzante al Oeste. Influye en la morfología actual del sector e incide en el patrón y dirección de escurrimiento del río Cuarto y arroyo Chucul.

-Las *fallas de Reducción y El Rastreador-Los Cisnes* poseen el bloque hundido hacia el Este. Sus lineamientos se reconocen en las imágenes satelitales, ya que tienen incidencia en la morfología (Degiovanni *et al.*, 2005).

-La falla San Basilio, se infiere que su carácter es inverso, con plano buzante al Oeste (Cantú y Degiovanni, 1982). Define el bloque Tosquita y delimita conjuntamente con la falla del Tigre Muerto un bloque hundido, donde se sitúan los bañados del mismo nombre.

-Falla de la Sierra Chica, es una de las más importantes de las Sierras de Córdoba. Es de carácter inverso y posee buzamientos variables, entre 30° y 40° al Este (Martino *et al.*, 1995). Su extensión llega hasta el arroyo Tegua (Gallo, 2011).

-La falla Las Peñas, orientada 010° N, posee una escarpa muy erosionada y se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios (Bonalumi *et al.*, 2005)

- **Sistema Este-Oeste**

Está constituido por la falla Río Cuarto y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores.

- La *falla Río Cuarto* (Villegas, 1996), controla el río homónimo hasta proximidades de la localidad de Reducción. Hacia el Este pueden reconocerse sus evidencias morfológicas hasta la depresión del Saladillo.

Hacia el Sur, Degiovanni *et al.* (2005) identificaron al menos cuatro fracturas (Fig. III.2), a partir de anomalías gravimétricas.

- **Sistema Nor-noreste-Sur-suroeste**

Sistema conformado por la *falla del Saladillo* (Villegas, 1996), con el bloque hundido al NO. Limita hacia el oriente al bloque elevado de Viamonte-Laboulaye, basculado al E y SE, y es el límite oriental del bloque deprimido donde se sitúan los bajos del Saladillo, al Norte, y el sistema de lagunas alineadas de La Chanchera, La Brava y Santa Ana, al Sur (Fig. III.2). Esta estructura genera un resalto topográfico de alrededor de 30 m.

Presenta evidencias de actividad neotectónica asociadas al escurrimiento superficial el cual, actualmente, tiene como barrera el bloque elevado, mientras que en el Pleistoceno los sistemas fluviales continuaban hacia el Este (Degiovanni *et al.*, 2005).

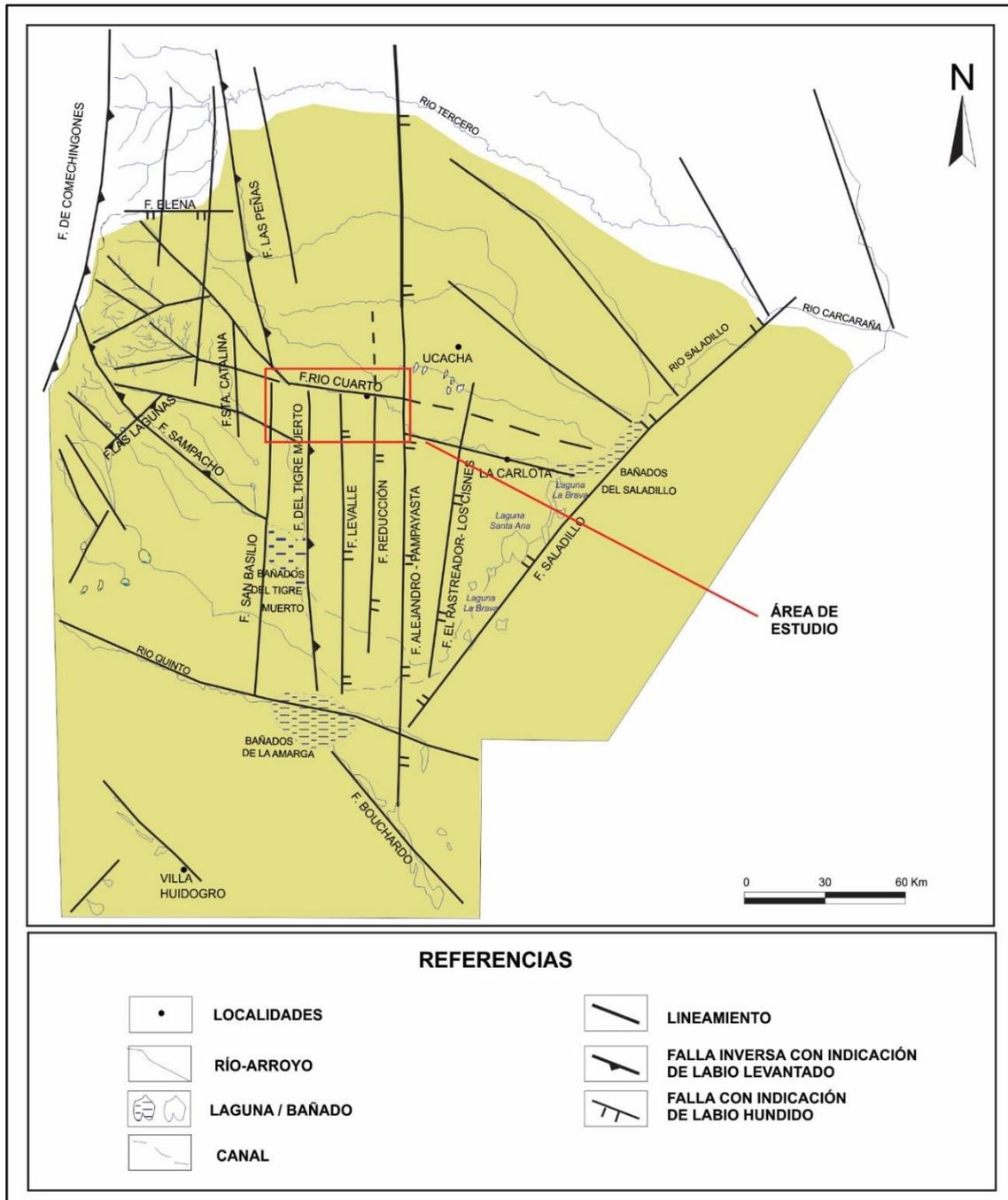


Figura III.2: Mapa estructural del Sur de la provincia de Córdoba. Modificado de Degiovanni (2008).

III.4 GEOMORFOLOGÍA

La Provincia de Córdoba se compone de dos regiones geomorfológicas de primer orden: la zona de montañas y las grandes llanuras (sensu Iriondo 1989a, 1990a y b). La primera abarca la zona oriental de la provincia geomorfológica de Sierras Pampeanas y comprende cinco unidades mayores: Sierra Norte, Sierras Chicas-Las Peñas, Sierras Grandes-Comechingones, Sierras de Pocho-Guasapampa y Valles

estructurales. Las planicies son parte del sector sudoccidental de la gran provincia geomorfológica de la Llanura Chacopampeana que, a su vez, se divide en tres grandes regiones naturales a partir de sus características morfosedimentarias: Chaco, Pampa Norte y Pampa Sur, de acuerdo con la clasificación de Iriondo (2010). (Fig. III.3 y 4)

Cuatro ambientes geomorfológicos mayores se diferencian en la llanura cordobesa: Depresión de la Laguna de Mar Chiquita, Planicie fluvio eólica central, Planicie arenosa eólica del Sur y Ambientes pedemontanos (Carignano *et al.*, 2014). La zona de estudio se encuentra en la parte media de la cuenca del río Cuarto, dentro de la Planicie fluvio eólica central (Fig. III.3 y 4).

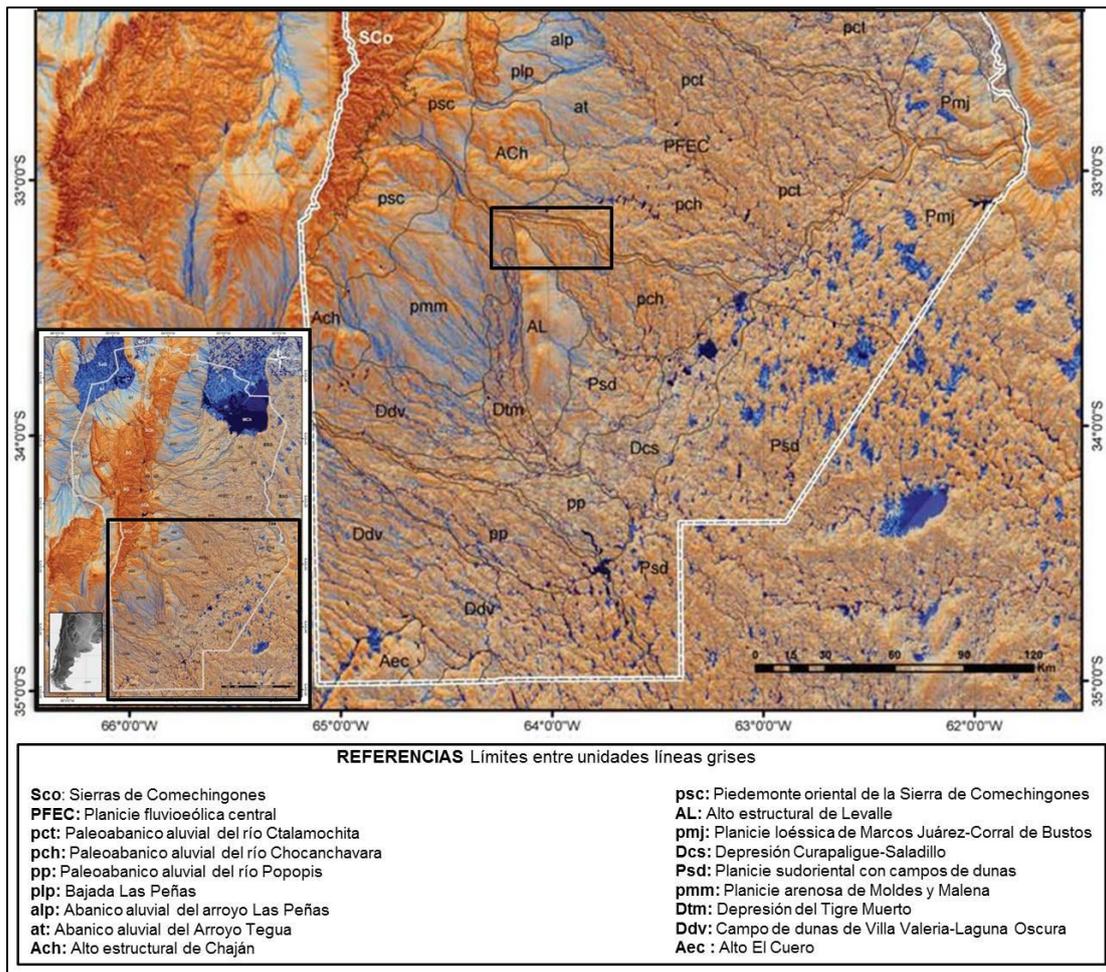


Figura III.3: Mapa geomorfológico del Sur de la provincia de Córdoba, tomado de Carignano *et al.*, (2014). El recuadro negro representa el área de estudio.

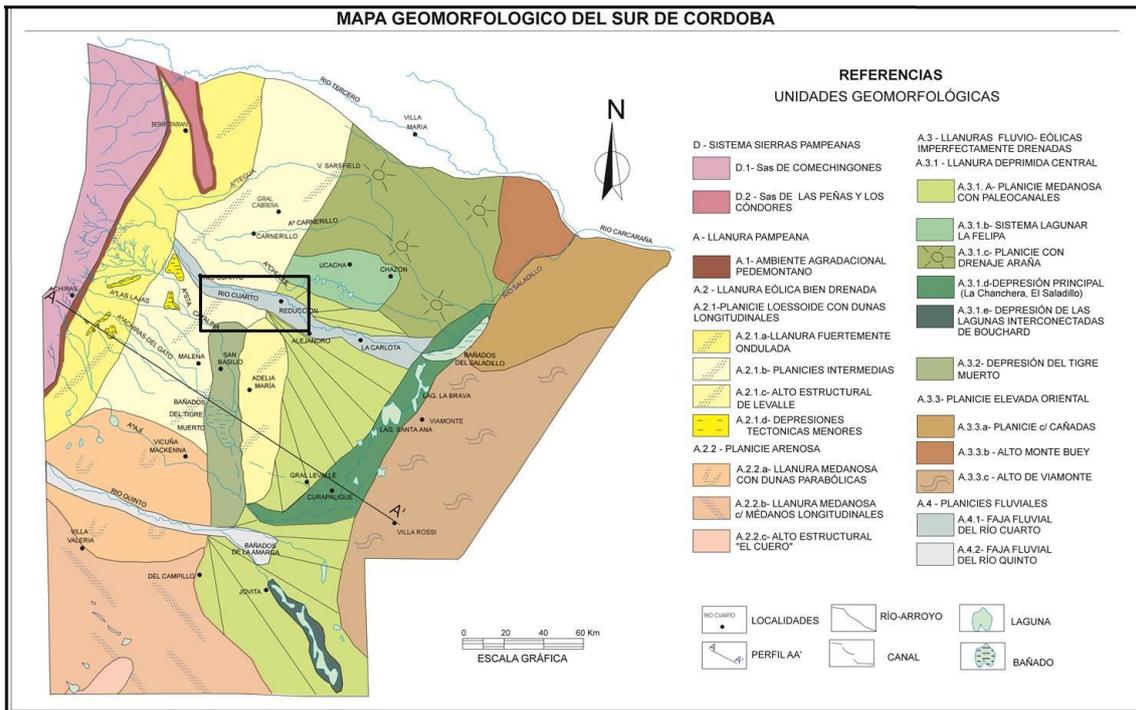


Figura III.4: Mapa geomorfológico del sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin *et al.* (2005). El recuadro negro representa el área de estudio.

Sierras Pampeanas de Córdoba

Estas sierras están compuestas por bloques de basamento fallados y basculados hacia el Este, presentando una morfología asimétrica (Gordillo y Lencinas, 1979). Los cordones serranos que la componen presentan una ladera occidental corta y abrupta, caracterizada por la escarpa de falla que representa el frente de levantamiento andino de los boques y una ladera con mayor extensión areal y menor gradiente topográfico que constituye la pendiente estructural de estos megabloques.

Las escarpas, en general se encuentran disectadas por ríos y torrentes que generan en su frente espolones y formas triangulares (similares a un facetado trapezoidal o triangular), con algunas acumulaciones de pie de talud en las partes bajas. En el flanco oriental (estructural) de estas sierras se encuentran restos de superficies de erosión, cuya posición queda evidenciada por la regular alineación en las cimas de cerros y lomas que, por lo general, tienen una inclinación al Este de 8 a 12°. (Carignano *et al.*, 2014)

Estas paleosuperficies, que se localizan a diferentes alturas sobre las laderas orientales de los cordones serranos, están parcialmente cubiertas por coluvios y sedimentos cretácicos, terciarios o cuaternarios, especialmente preservados en antiguos valles labrados sobre las rocas del basamento (Carignano *et al.*, 2014).

Sierras de Comechingones

Estas sierras tienen un marcado perfil asimétrico, en el que se destaca como elemento morfológico dominante la gran escarpa de falla occidental, coincidente con el frente de levantamiento andino de la sierra. Sobre esa escarpa por disección fluvial se han formado espolones muy notorios que, en la gran mayoría de los casos, presentan interfluvios agudos con un relieve relativo entre estos y el fondo de los valles bastante significativo. Además, sobre esos espolones pueden reconocerse caras libres de fracturas subverticales, cuya exposición es propiciada generalmente por desprendimientos gravitacionales. También es factible observar morfologías de aspecto triangular en la unión montaña-piedemonte, a semejanza de espolones facetados. (Carignano *et al.*, 2014).

Sobre la ladera oriental se encuentran remantes de las mismas paleosuperficies de la Sierra Grande, sólo que aquí están más inclinadas. Las principales diferencias se relacionan con un mayor gradiente de inclinación en el bloque de Comechingones (la pendiente general alcanza en algunos sectores 5°).

Ambientes pedemontanos

Esta unidad constituye una faja de transición entre el ambiente serrano y la llanura y se extiende desde los últimos afloramientos del área serrana hasta aproximadamente 300 m s.n.m, donde se observa un cambio en la pendiente general. El ambiente pedemontano se integra progresivamente con la Planicie fluvio eólica central (Carignano *et al.*, 2014).

El piedemonte oriental evolucionó como un complejo sistema que combina depósitos de abanicos aluviales (remanentes del Pleistoceno y aún activos del Holoceno) y depósitos eólicos retrabajados por arroyadas mantiformes de pendiente, que se interdigitan y superponen; avanzando uno sobre otro en función de la distancia al frente serrano y a las condiciones climáticas predominantes durante su formación (Carignano *et al.*, 2014). Al piedemonte oriental se lo puede dividir en tres segmentos principales: Piedemonte Oriental Norte, Piedemonte Oriental Central y Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones.

Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones

Este ambiente se extiende a lo largo de 200 km desde el valle estructural de La Cruz hasta 20 km al Sur de la localidad de Chaján, con un ancho del orden de 20-35

km. La altura varía entre 800-500 m s.n.m. registrándose las mayores en el sector central (cuenca del río Chocancharava). Presenta numerosos afloramientos aislados de basamento, vulcanitas cretácicas y rocas sedimentarias precuaternarias. El basamento se pierde por debajo de sedimentos aluviales y loessoides, en un paisaje de colinas suaves y lomas bajas conformado por el ambiente pedemontano que más al Este se integra transicionalmente con la Planicie Arenosa del Sur.

Carignano *et al.* (2014) zonifican al piedemonte en tres segmentos que, de Norte a Sur, son: sector Valle de la Cruz, sector Rodeo Viejo y alto estructural de Chaján (Fig. III.3). Se hará mención del sector Rodeo Viejo por ser área de interés para la zona de estudio.

- Sector Rodeo Viejo: Se extiende desde el alto de Mosuc Mayú hasta el arroyo La Barranquita, abarcando todo el alto de Rodeo Viejo (700–650 m s.n.m.). Comprende una antigua bajada dislocada tectónicamente y disectada por los tributarios del río Chocancharava (Barrancas-Seco, San Bartolomé-La Invernada, Las Cañitas y Piedras Blancas) y del arroyo Santa Catalina (La Colacha, Cipión, Barranquita y Knützen). Estos cursos han incidido fuertemente el terreno, generando un relieve ondulado muy irregular, con desniveles locales del orden de 50–70 m, con máximos de hasta 120 m.

Su configuración está controlada por estructuras de rumbo NE-SO, NO-SE y N-S, que controlan la red de drenaje y delimitan bloques. Estos presentan un relieve muy suave en el sector cumbral con una pendiente más pronunciada hacia el Norte (0,9–2 %) y una tendida hacia el Sur (inferior 1,2 %). Los sedimentos presentes son aluviales neógenos con niveles de paleosuelos y calcretas (Eric, 1986; Cantú, 1992; Andreazzini y Degiovanni, 2011).

Planicie fluvioeólica central

Es una extensa llanura que se ubica al Este de las Sierras de Córdoba, aproximadamente entre los 31°00'S y los 33°20'S y entre los 62°00'O y los 64°00'O (Carignano *et al.*, 2014). Está formada por grandes abanicos aluviales coalescentes (Fig. III.3) generados por los ríos que tienen nacientes en las Sierras Grandes y descargan sus aguas hacia el oriente: Suquía y Xanaes, que desembocan en la Laguna Mar Chiquita y los ríos Ctalamuchita y Chocancharava, que se unen para formar el río Carcarañá y desaguar en el río Paraná.

Cada uno de estos mega-abanicos está construido por yuxtaposición, incisión y progradación de sucesivos abanicos aluviales generados por el mismo río en diferentes estadios, y cuya posición estuvo fuertemente controlada por los cambios

climáticos ocurridos durante el Cuaternario y por la actividad neotectónica (Degiovanni *et al.*, 2005a).

Estos abanicos se formaron por acumulación de sedimentos aluviales y fluviales y a expensas de la removilización hídrica del loess que se acumuló en gran parte del área durante los períodos secos del Cuaternario Superior. Los abanicos aluviales están compuestos por facies de canales entrelazados, canales meandriformes, llanuras de inundación y palustres. Dentro de la unidad, tanto en sentido vertical como lateral, las típicas facies fluviales alternan con facies netamente eólicas. Excepto la zona apical, casi toda la unidad está constituida por sedimentos finos a muy finos, fundamentalmente limos y arenas finas. En los interfluvios y en las áreas distales de la planicie, el depósito de loess aparece en su estado primario (Carignano *et al.*, 2014).

Esta planicie se caracteriza por un paisaje plano o casi plano dominado por la dinámica de los grandes ríos que han formado amplias llanuras aluviales donde se reconocen diversos tipos de canales, terrazas, lagunas semicirculares, así como llanuras de inundación abandonadas y una gran cantidad de paleocauces, entre otras formas fluviales (Ferpozzi, 1988a y b; Carignano, 1996, 1997a y b; Kröhling, 1998; Carignano, 1999; Degiovanni y Blarasin, 2005). Esta morfología típica de la planicie demuestra la ocurrencia de numerosos cambios en su dinámica acontecidos durante el Cuaternario tardío (Carignano, 1996, 1997a y b, 1999; Kröhling e Iriondo, 1999; Degiovanni *et al.*, 2005; Degiovanni, 2008).

Las fajas fluviales de estos sistemas poseen un marcado control estructural en la zona pedemontana que provoca cambios notables en su orientación y diseño de cauce, resultando en un entallamiento relativamente angosto de este último y con varios niveles de terrazas, además de variaciones en la traza del cauce principal entre sistemas entrelazados y meandriformes. Según Carignano *et al.* (2014), el drenaje y la dinámica actual de estos cursos principales conservan las características desarrolladas durante del Pleistoceno tardío, durante los períodos lluviosos las fajas fluviales aumentan su caudal e incrementan su capacidad de carga, la que depositan al llegar a sus respectivos niveles de base; en los períodos secos sus trayectos se acortan, los cursos pierden capacidad de carga, generando un acercamiento de los abanicos aluviales al piedemonte.

Paleoabanico aluvial del río Chocancharava (Cuarto)

Este paleoabanico, de aproximadamente 6.000 km² (Fig. III.3), tiene cuatro ápices principales que, de Oeste a Este, se sitúan: 6 km aguas arriba de la ciudad de Río Cuarto, en la zona donde el río intercepta la prolongación austral del Sistema de

fallas de la Sierra Chica frente al alto del Espinillar-Chucul; en San Ambrosio, coincidente con el extremo norte del bloque de Levalle; en proximidades de Reducción, cuando el curso ingresa a la llanura deprimida y, en La Carlota, previo a su ingreso a la depresión del Saladillo.

Se desarrolla hacia el ESE-SE y está mejor representado hacia la margen sur del cauce actual. Presenta un relieve moderado a suavemente ondulado, resultado de la interferencia, durante el Pleistoceno tardío y Holoceno, de la actividad fluvial del río Chocancharava con la eólica asociada a la construcción del gran Mar de Arena Pampeano (Iriondo, 1990a, b y c; 1999). En consecuencia, el paisaje conforma un mosaico compuesto por paleocanales de orientación dominante O-E y NO-SE (al Norte y Sur del cauce actual, respectivamente), cubiertos y/o modificados por deflación y acumulación eólica asociada a vientos del SSO y NNE.

En las áreas deprimidas se desarrollan ambientes lagunares y de bañados. Toda el área está cubierta por depósitos arenosos finos a muy finos, con potencias variables, que constituyen campos de dunas longitudinales holocenas con variado grado de disipación y dunas parabólicas sobreimpuestas (Fig. III.4), algunas de las cuales presentan sectores activos. Cantú y Degiovanni (1984) y Degiovanni *et al.* (2005) identifican tres sectores: a) planicie medanosa con paleocanales cubiertos, b) planicie medanosa con paleocanales anegados y c) sistema lagunar La Felipa.

- a) La planicie medanosa con paleocanales cubiertos comprende el sector occidental de este abanico y una faja situada a ambos lados del curso actual, donde el relieve es más elevado, el nivel freático está más profundo, la cubierta eólica es importante y la mayoría de los paleocanales permanecen secos la mayor parte del año. Localmente el relieve es ondulado y las morfologías eólicas se superponen a las fluviales ortogonalmente.

Así, se reconocen bajos elongados en dirección NO-SE, discontinuos y sinuosos, con ancho variable entre 100 y 350 m correspondientes a paleocanales de moderada sinuosidad, cubiertos por un patrón de dunas longitudinales de orientación SO-NE a las que se asocian corredores de deflación de igual dirección.

- b) La planicie medanosa con paleocanales anegados es un ambiente de pendiente general inferior al 0,2% que se reconoce en el sector sur-sudeste del abanico y se caracteriza por presentar una condición de drenaje impedido, debido a que el nivel freático está cercano a la superficie o aflorando. La densidad de los paleocanales es más alta y la mayoría de ellos están ocupados por lagunas en rosario, de carácter permanente, asociadas a otras que sólo se anegan en los ciclos más húmedos.

La potencia de la cubierta eólica es variable y las dunas longitudinales tienen menor expresión, aunque al Sur de Los Cisnes y de La Carlota se reconoce un sistema de lagunas elongadas situadas en corredores de deflación. Los materiales que componen esta unidad también reflejan la alternancia de episodios fluviales/aluviales, lagunares, eólicos y pedogenéticos, pero dada su posición en la cuenca, en general las secuencias cuaternarias aluviales son finas (Blarasin, 2003; Degiovanni *et al.*, 2005; Chiappero, 2013).

- c) El sistema lagunar La Felipa se sitúa al Sur de la localidad de Uchacha, en el sector septentrional del abanico, donde los paleocanales se interdigitan con el sistema del arroyo Chucul. Presenta un relieve ondulado con pendientes generales del 0,2 al 0,4 % y locales de hasta 2,5 %, originado por una sucesión de dunas longitudinales de orientación aproximada N 20–25° E, entre las que se sitúan cuerpos lagunares, elongados en la misma dirección, ocupando los sectores más deprimidos de los corredores intermedanos, sometidos a intensa deflación (Degiovanni *et al.*, 2012).

Uno de los cuerpos lagunares más importantes es la laguna La Felipa, con una superficie actual de ca. 3km², pero con un área ya sedimentada del orden de los 30 km². En distintos sectores del área existen evidencias de paleoactividad fluvial, muy disipada por la cubierta eólica arenosa holocena (Carignano *et al.*, 2014).

Faja Fluvial del río Chocancharava (río Cuarto)

Este curso nace a partir de la unión de los ríos Piedras Blancas y Las Cañitas y, pocos kilómetros aguas abajo, recibe a los ríos San Bartolomé/La Invernada y de las Barrancas/Seco. En el sector pedemontano su traza está fuertemente controlada por estructuras conjugadas de rumbo SO-NE y NO-SE y, en menor grado, N-S. Carignano *et al.* (2014) describen la faja fluvial del sistema Piedras Blancas-río Cuarto, hasta la confluencia con el río Seco, con dirección SO-NE, ancho variable entre 1600–1500 m, dos niveles de terrazas, canal rectilíneo y lecho predominantemente rocoso/cohesivo, con rápidos y saltos menores, observándose "meandros rectangulares" encajados o semiconfinados en secuencias cementadas de la Formación Pampiano (Pleistoceno medio a tardío) o Chocancharava (Pleistoceno tardío).

A partir de los aportes de los ríos Las Cañitas, San Bartolomé y, muy especialmente, del río Seco, se incrementa marcadamente la carga de fondo arenoso-gravosa, el canal se ensancha y adopta un diseño entrelazado ligeramente sinuoso (Ulla, 2008). Al ingresar a la zona de llanura, este río no atraviesa obstáculos

estructurales significativos y su cauce presenta un ancho mayor con lecho arenoso (Carignano *et al.*, 2014). Desde la confluencia con el río Seco y hasta la ciudad de Río Cuarto, corre en dirección NO-SE por una extensa planicie aluvial de unos 2 km de ancho medio (y hasta de 4 km en proximidades de la ciudad homónima), con cauce de baja a moderada sinuosidad (Degiovanni *et al.*, 2005) y dos niveles de terrazas hasta el paraje Colonia del Carmen.

Desde este sitio, controlado por estructuras regionales, el río profundiza su valle manteniendo aproximadamente 2 km de ancho y presenta tres niveles de terrazas. Desde Río Cuarto y hasta la localidad de Reducción fluye en dirección Este y, a partir de las fallas de Reducción y Alejandro Roca-Pampayasta, cambia su dirección hacia el Sudeste (Degiovanni *et al.*, 2005) (Fig. III.2). Al Este de la localidad de Reducción, sobre una llanura aluvial bien desarrollada, su patrón es meandriforme con alta sinuosidad y elevada tasa de estrangulamiento. En este sector se destacan meandros abandonados donde algunos de ellos están ocupados por cuerpos lagunares.

A partir de la localidad de Alejandro Roca, el río mantiene un curso general hacia el ESE encajado en sus antiguos derrames, hasta alcanzar aguas abajo de La Carlota una zona prácticamente horizontal, con depresiones generadas por deflación eólica que dan origen a grandes bañados (Carignano *et al.*, 2014). La cuenca baja está caracterizada por un curso de sección transversal reducida, canalizado en su tramo final, que ingresa a los bañados del Saladillo e incide en una serie de abanicos de derrames de edad holocena (Degiovanni *et al.*, 2005). Desde los bañados del Saladillo se lo denomina río Saladillo y su dirección es SO-NE hasta la confluencia con el río Ctalamochita (Tercero) formando el río Carcarañá.

Planicie eólica arenosa del Sur

Esta planicie abarca el sector más austral de la provincia, al Sur de los 33°00'S, y se caracteriza por la presencia de grandes formas de deflación (Iriondo, 1990a, b y c), campos de dunas y mantos de arena que se superponen a las geoformas fluviales de los ríos Popopis y Chocancharava (Fig. III.4) conformando un complejo ambiente de interferencia eólico-fluvial (Carignano *et al.*, 2014). Esta planicie, forma parte del extremo noreste del extenso sistema eólico del Pleistoceno tardío denominado Mar de Arena Pampeano-MAP- (Iriondo, 1990a y b y c; Iriondo y Kröhling, 1996) que abarca el centro del país, prolongándose en el Sudeste de San Luis, Sur de Santa Fe, centro-Norte de Buenos Aires y Norte de La Pampa.

Muestra un complejo patrón de construcción-reactivación, y estabilización-disipación de dunas con el desarrollo de geoformas erosivas eólicas y fluviales (Dillon

et al., 1987, Iriondo *et al.*, 2011). La evolución del paisaje de esta parte de la provincia se produjo básicamente por la acción de cuatro procesos actuantes en el Cuaternario tardío: deflación, disipación de dunas, desarrollo de fajas fluviales y pedogénesis (Carignano *et al.*, 2014). La planicie presenta, como geformas mayores a megadunas y depresiones de origen fluvial, que posteriormente fueron retrabajadas por acción eólica. Debido al elevado grado de disipación que actualmente presentan, estas geformas son poco perceptibles en el terreno y más fácilmente identificables en imágenes satelitales. Localmente pueden hallarse enmascaradas por depósitos más jóvenes (Carignano, 1996, 1997a y b 1999).

La dinámica hídrica actual y las geformas resultantes en el Sudeste de la provincia están fuertemente influenciadas por los relieves heredados de paleoformas eólicas y fluviales (Ferpozzi, 1988a y b).

Esta planicie presenta megadunas longitudinales y parabólicas al Sudeste de la provincia (Fig. III.4) identificadas por Iriondo *et al.* (2011). Las megadunas longitudinales son estructuras lineales con un patrón regular y dirección SSO-NNE y S-N. Tienen longitudes de 50 a 200 km y amplitudes de 3 a 5 km entre crestas. Las alturas relativas entre crestas y senos son de 3 a 5 m, aunque el relieve original fue probablemente de varias decenas de metros (Carignano *et al.*, 2014). Los corredores de deflación interdunas quedan como depresiones alargadas actualmente ocupadas por pantanos y lagunas temporarias.

Las megadunas parabólicas son complejos irregulares que se distribuyen en forma agrupada en un paisaje predominantemente plano del Noreste del Mar de Arena Pampeano (Iriondo *et al.*, 2011). Presentan su característica forma de U con brazos de diferente longitud. Tienen entre 6 y 8 km de largo, con 0,3 y 0,7 km de ancho en cada ala y 5 m de altura relativa típica (Iriondo y Brunetto, 2008; Iriondo, *et al.*, 2011). En algunos casos las cubetas de deflación forman pantanos y lagunas temporarias acompañadas de suelos salinos (Carignano, *et al.*, 2014).

CAPÍTULO IV

CLIMA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

IV.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO CUARTO

La provincia de Córdoba se extiende en su totalidad en una zona templada. Las particularidades del medio físico que caracterizan al territorio provincial, su extensión, el predominio de planicies o llanuras suavemente onduladas y el desarrollo de un cordón serrano en dirección Norte-Sur, el de las Sierras Pampeanas de Córdoba, resultan fundamentales para analizar el comportamiento hídrico asociado a la dinámica atmosférica y climática (Dasso *et al.*, 2014).

El Sur de la provincia de Córdoba presenta un clima de tipo Mesotermal Subhúmedo húmedo, en el NE y NO, a Subhúmedo seco al SO, debido a las variaciones en el régimen hídrico. El régimen térmico se caracteriza por un invierno relativamente riguroso y un verano medianamente cálido. Las temperaturas medias son del orden de 16°C, con valores medios máximos para enero de 23°C y mínimos de 9°C para julio. El 80% de las lluvias se concentran en primavera-verano y sólo el 20% en otoño-invierno (Degiovanni *et al.*, 2005).

Las precipitaciones disminuyen desde el NE hacia el SO, lo que marca la influencia de aire cálido y húmedo procedente del Atlántico, disminuyendo desde 800 mm (Chazón, Río Cuarto, Viamonte, Alejandro Roca) a 750-650 mm (La Brianza, Vicuña Mackenna, La Cautiva, etc.) (Degiovanni *et al.*, 2005a). En la ciudad de Río Cuarto, para una serie de 27 años (1974-2000) procedente de la Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, la precipitación media anual es de 796 mm, con ciclos de años más secos y otros más húmedos (Degiovanni *et al.*, 2005).

Los vientos tienen velocidades medias del orden de 15 km/h con dirección predominante del NE, N y SO. El período más ventoso se extiende desde fines de agosto hasta octubre, con ráfagas que pueden alcanzar los 100 km/h (Blarasin, 2003)

En particular para la cuenca del río Cuarto, Andreazinni (2015) y Benito (2018) efectuaron el tratamiento de la serie de lluvias obtenidas de las estaciones Las Tapias y Los Chañares (1939-2016), ambas situadas en el faldeo oriental de la Sa. de Comechingones (Fig. IV.3). La curva cronológica (Fig. IV.1), muestra una precipitación

media anual (PMA) de 914 mm, siendo los años 1970 (582 mm, serie Los Chañares) y 1999 (1348,3 mm, serie Las Tapias) los que presentan los valores mínimos y máximos de lluvias, respectivamente. Se observa una marcada alternancia de períodos secos y húmedos, y una tendencia ascendente de las precipitaciones, con valores en su mayoría superiores la media a partir del año 1972.

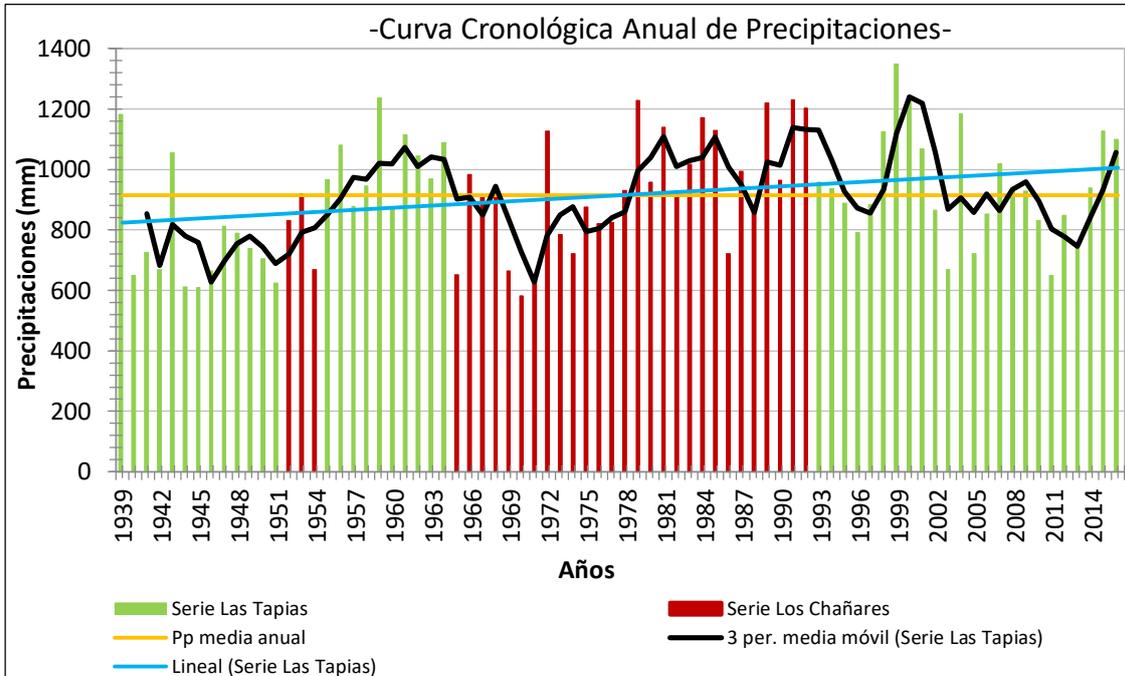


Figura IV.1: Curva cronológica anual de precipitaciones, serie Las Tapias-Los Chañares (1939-2016). Tomado de Andreazzini (2015) y Benito (2018).

Por otra parte, la distribución media mensual de las precipitaciones en esta serie (Fig. IV.2) permite observar que las mismas se concentran principalmente de octubre a marzo, destacándose el mes de diciembre como el de mayor valor medio (148,6 mm), luego los valores decrecen durante enero, febrero y marzo. Los meses de junio, julio y agosto denotan las medias mensuales más bajas, con 14,2; 13,7 y 14,5 mm, respectivamente. Las estaciones primavera y verano son las que poseen la mayor concentración de lluvias, con el 81,6 % del total anual (Andreazzini, 2015; Benito, 2018).

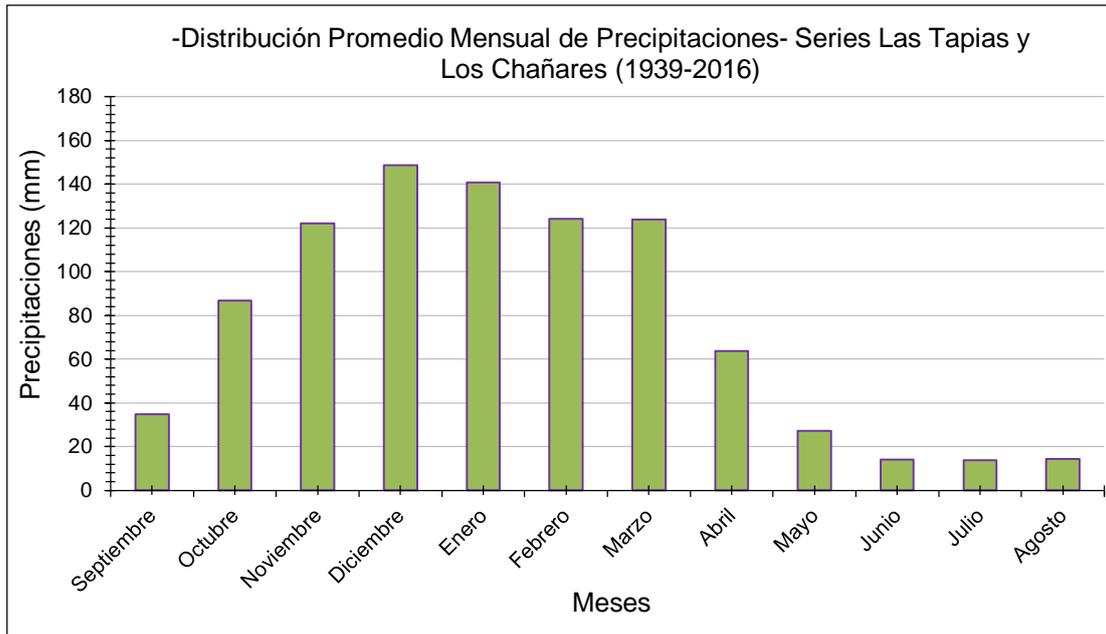


Figura IV.2: Curva de distribución promedio mensual de las precipitaciones serie Las Tapias-Los Chañares (1939-2016). Tomado de Andreazzini (2015) y Benito (2018).

IV.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Al Sur de la provincia de Córdoba se encuentran dos importantes sistemas hídricos: sistema del río Carcarañá y sistema del río Quinto o Popopis. El primero está integrado por los ríos Ctalamochita o Tercero y Chocancharava o Cuarto, ambos con sus nacientes en la vertiente oriental de las sierras de Comechingones. El río Cuarto incluye bañados y lagunas, adquiriendo el nombre de río Saladillo luego de los bañados del Saladillo. Este último, al juntarse con el río Tercero da origen al río Carcarañá (Dasso *et al.*, 2014). A su vez la cuenca del Saladillo está compuesta por las subcuencas arroyo Chazón, río Cuarto o Chocancharava y canal La Brava (Doffo *et al.*, 2016). La cuenca del río Quinto abarca parte de las provincias de San Luis, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires. Tiene sus nacientes en las sierras de San Luis y desarrolla su cuenca media-baja en el Sur de la provincia de Córdoba en la depresión de los bañados de La Amarga, desde donde es canalizado hacia la cuenca del Salado (Degiovanni y Blarasin, 2005).

Cuenca del río Chocancharava (Cuarto)

El río Cuarto drena un área de aproximadamente 2500 km² (Fig. IV.3) desde sus nacientes en las Sierras de Comechingones hasta sus derrames en los Bajos del Saladillo. Sus principales tributarios desarrollan sus cuencas casi totalmente en el área

serrana y confluyen en el sector pedemontano, y son: río Alpa Corral-Las Barrancas-Seco (287 km²), Piedras Blancas (339 km²), San Bartolomé-La Invernada (120 km²), y Las Cañitas (267 km²). El río Cuarto integra la cuenca del río Saladillo (39100 km²), la más importante del Sur de Córdoba (Doffo *et al.*, 2016).

A partir de este sector no recibe más afluentes y el área de aporte es mínima, siendo el área del sector serrano la que define el carácter hidrológico del río, el cual tiene régimen torrencial con hidrogramas asimétricos, tiempo al pico de pocas horas y curvas de descenso de varios días.

A partir de los hidrogramas disponibles de la SSRH, los caudales medios anuales (módulo) para sus principales afluentes son: río Alpa Corral, 4,08 m³/s (serie 1937-1981), Piedras Blancas, 2,93 m³/s (serie 1939-1981), y de Las Cañitas, 1,63 m³/s (serie 1939-1980) (Andreazzini, 2015). Para el río La Invernada/San Bartolomé el módulo es de 1,67 m³/s (serie 1942-1964) presentado en Bonacci (2018). En todos los casos la distribución de caudales medios mensuales muestra los máximos valores entre los meses de Octubre-Abril, con picos en Diciembre y Febrero, en coincidencia con la distribución de precipitaciones (Andreazzini, 2015). Los caudales del río Cuarto a la altura de la ciudad homónima, según datos de la Ex-Empresa de Agua y Energía Eléctrica de la Nación (1967), varían desde 1,7 m³/s, en estiaje, hasta 250, 700 y 2000 m³/s, en crecidas bianuales, decenales y centenarias respectivamente, con varios picos menores anuales de 60 m³/s. La mayor crecida registrada en esta localidad (año 1943) alcanzó un caudal máximo de 2000 m³/s, mientras que en las últimas décadas se registraron eventos importantes en los años 1979 (700 m³/s), 1998 (500 m³/s), 1985, 1992 y 2000 (aprox. 300 m³/s), 2007 (1100m³/s) y 2014 (650 m³/s). Para la crecida de marzo de 2015, en la ciudad de Río Cuarto, se estimaron caudales líquidos y sólidos de 750 m³/s, 150 tn/s, respectivamente (datos del Departamento de Geología – UNRC).

En cuenca baja, en proximidades de la localidad de La Carlota, según la Estadística Hidrológica de la República Argentina (SSRH, 2009), el caudal medio anual promedio del río Cuarto en Puente Olmos es de 5,86 m³/s (período 1938-1943), el mínimo medio anual de 1,77m³/s y el máximo medio anual de 10,05 m³/s.

Durante el desarrollo de este trabajo se efectuaron aforos líquidos y sólidos en distintas posiciones del tramo estudiado (Fig. IV.4) en condiciones de bajo caudal, cuyos resultados se presentan en la Tabla IV.1.



Figura IV.4: Mapa ubicación de los lugares de aforos líquido y sólido.

Tabla IV.1: Concentración de sólidos (Cs) en suspensión, conductividad eléctrica (CE), caudal líquido (Ql) y caudal sólido (Qs) de muestras tomadas dentro del área de estudio.

Muestras	Fecha	CE [mS]	Cs [gr/l]	Ql (m ³ /s)	Qs (gr/s)
F1	28/12/2016	-	-	19,9	
F2	28/12/2016	-	-	19,9	
F3	31/5/2017	0,324	0,121	11,28	1366,0
F4	31/5/2017	0,324	0,116	11,9	1385,2
F5	31/5/2017	0,339	0,137	10,2	1393,3
F6	31/5/2017	0,351	0,117	11,8	1375,9
F7	31/5/2017	0,36	0,125	11,5	1436,3
F8	24/5/2017	0,384	0,166	-	
F9	24/5/2017	0,327	0,176	11,3	1986,5

La concentración de sólidos en suspensión muestra un aumento normal hacia aguas abajo. Así, en cercanía de la ciudad de Río Cuarto, se midieron 0,1211 gr/L y, en proximidades de Alejandro Roca 0,1758 gr/L. La muestra F5 presenta un valor más elevado que podría asociarse a la extracción de áridos aguas arriba de donde fue tomada. Respecto a los caudales líquidos (Ql) las mediciones arrojaron valores entre 10 y 12 m³/s. El Ql de F1 y F2 son más elevados debido a que las muestras fueron tomadas en el mes de diciembre, donde hay mayores precipitaciones. En general el caudal sólido (Qs) muestra un aumento de F3 a F9, con valores de 1366 y 1986,5 gr/s respectivamente, excepto F6 que presentó un valor de 1375,9 gr/s

CAPÍTULO V

CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

V.1 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

En el área de estudio afloran fundamentalmente unidades estratigráficas compuestas por sedimentos eólicos, fluviales y palustres-lacustres de edad holocena como se explicó en el marco geológico regional. Las unidades más antiguas se pudieron identificar en las barrancas del río y en terrazas. En la figura V.1 se presenta el mapa geológico del área con la ubicación de los perfiles sedimentarios descritos y en el anexo 1 se muestran los resultados del análisis granulométrico de las muestras tomadas en el campo.

V.1.1 Descripción e interpretación de perfiles sedimentarios

PERFIL N°1: Este perfil de 7,5 m de espesor está ubicado en cercanías de la ciudad de Río Cuarto en las coordenadas 33°09'38" S y 64°14'6" O y se accede por la ruta nacional N° 8. Se expone en la barranca de un meandro abandonado en el año 2015 y representa el nivel de terraza más antiguo (Fig. V.2).

Descripción: La secuencia comienza con un cuerpo tabular de 1 m de potencia y base cubierta, granodecreciente con niveles inferiores conglomerádicos que gradan a arenas gruesas hacia el techo de color pardo claro y con laminación horizontal grosera. Presenta clastos cuarzo feldespáticos y de tosca de hasta 5 cm de largo. Le sobreyace en contacto neto un cuerpo de 3,5 m de espesor compuesto por una alternancia de capas arenosas finas a muy finas-limosas con laminación horizontal, estrato creciente, en contacto transicional entre sí. Las primeras son pardas claras y las segundas pardas en respuesta al mayor contenido de humedad en los materiales más finos; todo el paquete presenta bioturbación. Culmina la secuencia en contacto transicional un cuerpo de 3 m de potencia de materiales arenosos muy finos-limosos de color pardo a pardo oscuro hacia el techo con laminación horizontal y presencia de bioturbación. En el techo presenta mayor contenido de MO.

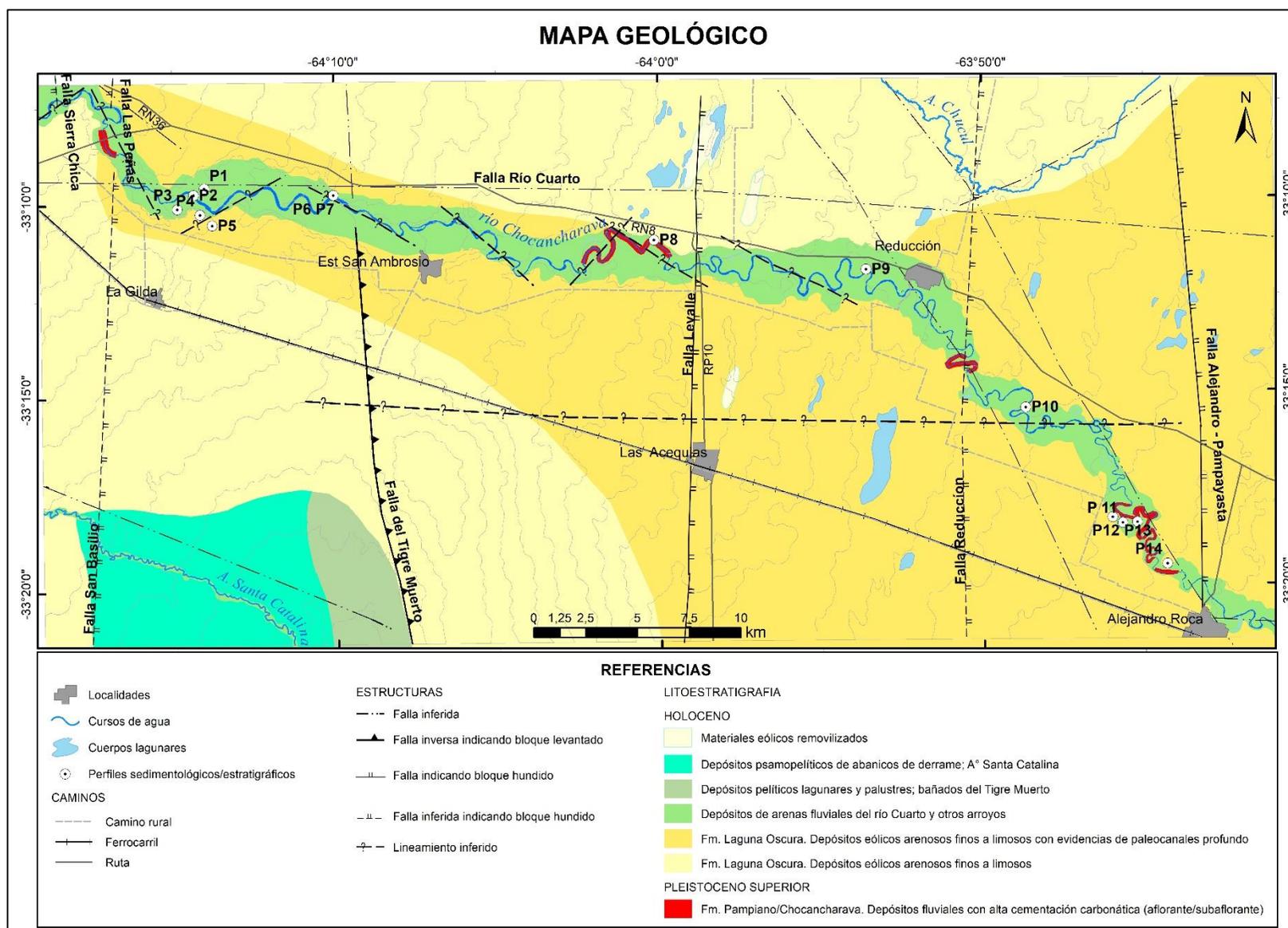


Figura V.1: Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Degiovanni *et al.* (2005).

Interpretación: Todo el perfil representa una secuencia depositada en ambiente fluvial que evidencia pulsos de diferente energía que pueden asociarse a las oscilaciones climáticas del Pleistoceno Superior-Holoceno, tal como se mencionara en el marco geológico regional. El perfil comienza con facies de canal de alta energía que se asignan tentativamente a la Formación Pampiano/Chocancharava (Pleistoceno Superior). Los depósitos suprayacentes representarían facies de canal de menor energía que corresponderían a la Formación Las Lajas (Holoceno Medio-Inferior) seguidos por una secuencia de materiales más finos de desbordes que se asignarían a la Formación Reducción (Holoceno Superior). Estos últimos presentan un moderado desarrollo edáfico.

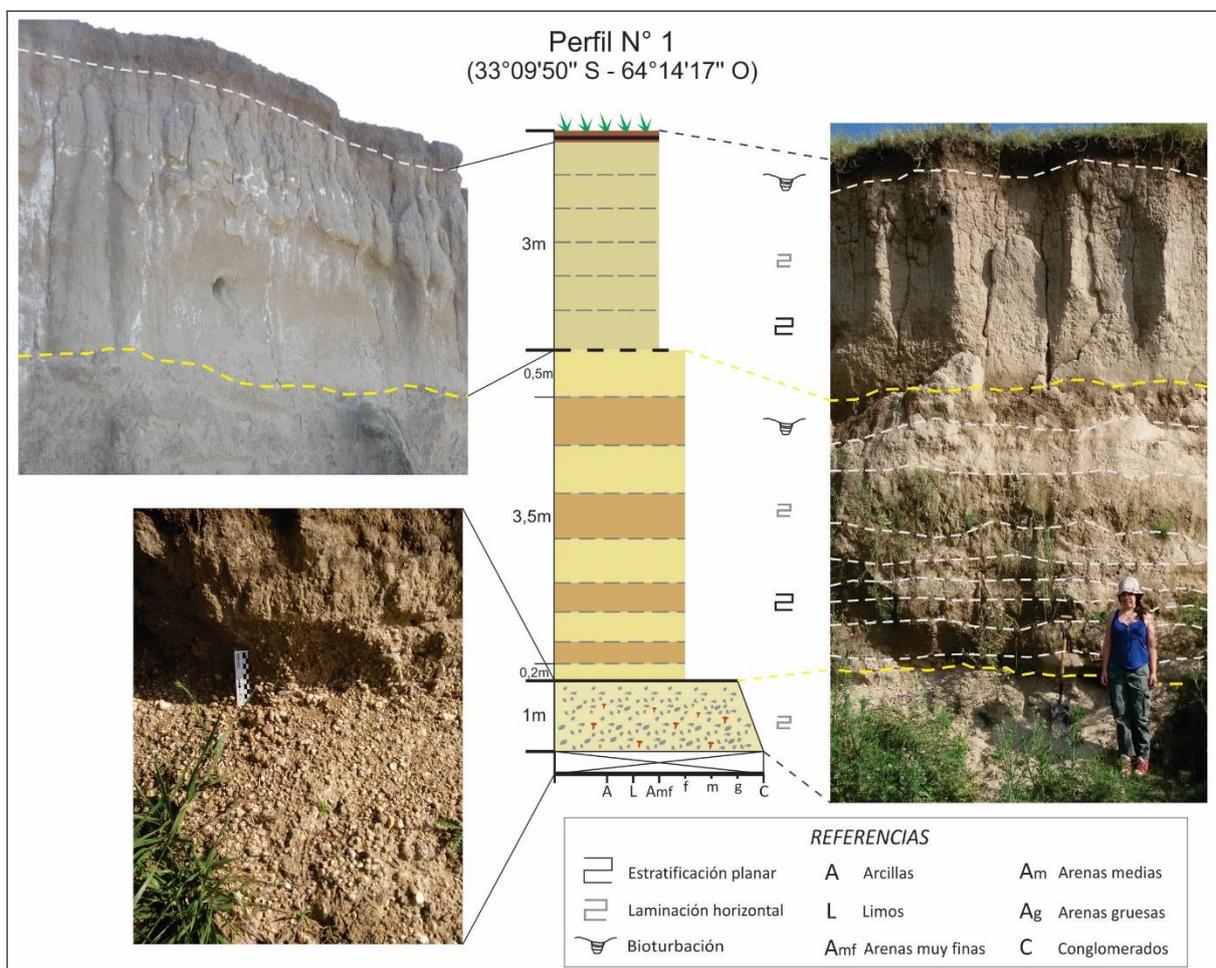


Figura V.2: Perfil sedimentario N°1.

PERFIL N°2: Se encuentra ubicado 200 m hacia el Sur del perfil N°1, en una terraza baja sobre la margen izquierda del cauce, en las coordenadas 33°9'50" S y 64°14'17" O (Fig. V.3).

Descripción: La secuencia posee 1,5 m de potencia. Comienza con un cuerpo tabular de 0,2 m de espesor con base cubierta, compuesto por un conglomerado fino con laminación grosera y color pardo. En contacto neto le sobryace un cuerpo tabular de materiales arenosos muy finos-limosos de 0,5 m potencia con intercalación de capas pardas claras y oscuras bioturbadas, donde las capas más oscuras corresponden a niveles con mayor contenido de MO. Culmina la secuencia, en contacto neto, un cuerpo de 0,8 m de espesor de arenas finas de color pardo claro con bioturbaciones, más oscuro en la parte superior por mayor contenido de MO.

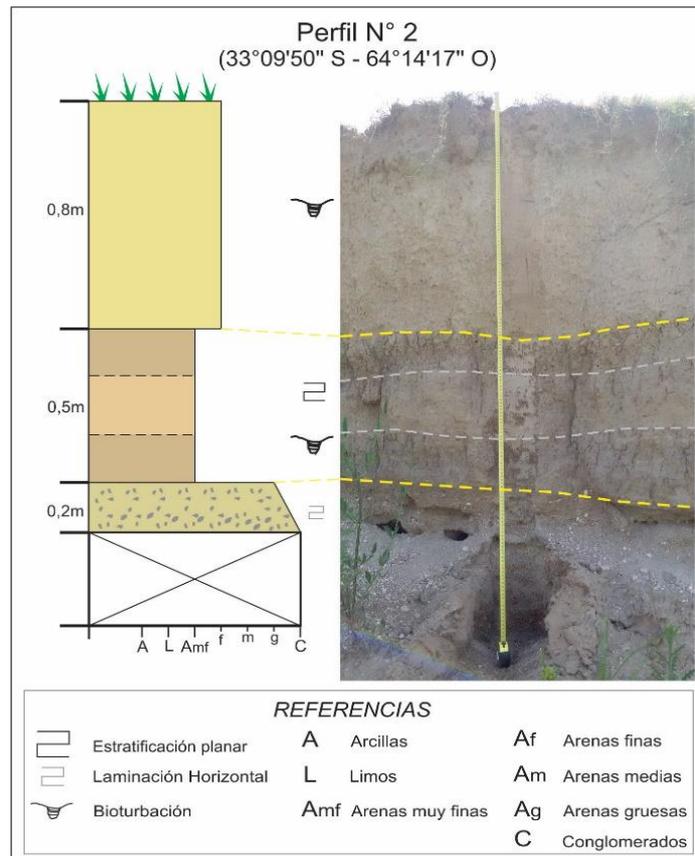


Figura V.3: Perfil sedimentario N°2.

Interpretación: El nivel inferior corresponde a facies de canal, seguido por sedimentos muy finos depositados en un ambiente de llanura de inundación, lo cual explica los niveles de mayor contenido de materia orgánica, muy bioturbados. Por último, sobreviene un evento de desborde donde se depositaron materiales arenosos finos, que presenta un leve desarrollo edáfico. Esta secuencia se asignaría al Holoceno superior-actualidad.

PERFIL N°3: El perfil se encuentra en una terraza baja en la margen derecha de un meandro abandonado del río Chocancharava, coordenadas 33°10'2,49" S y 64°14'21,46" O (Fig. V.4).

Descripción: Comienza la secuencia un cuerpo tabular de 0,17 m de espesor de materiales areno-gravosos de color pardo claro con laminación horizontal grosera. En contacto neto se apoya un cuerpo tabular de 0,3 m de potencia compuesto por arenas finas pardas con laminación horizontal, bioturbación y algunos materiales antrópicos (restos plásticos). En su techo tiene un nivel de 0,07 m pardo grisáceo con mayor contenido de MO. Culmina la secuencia, en contacto neto, un cuerpo tabular de 0,3 m de espesor de arenas muy finas de color pardo y laminación horizontal.

Interpretación: La base de la secuencia corresponde a facies de canal históricos (décadas) que fueron abandonadas y cubiertas por sucesivos eventos de desbordes y facies de llanura de inundación, evidenciado por la presencia de niveles con mayor contenido de MO.

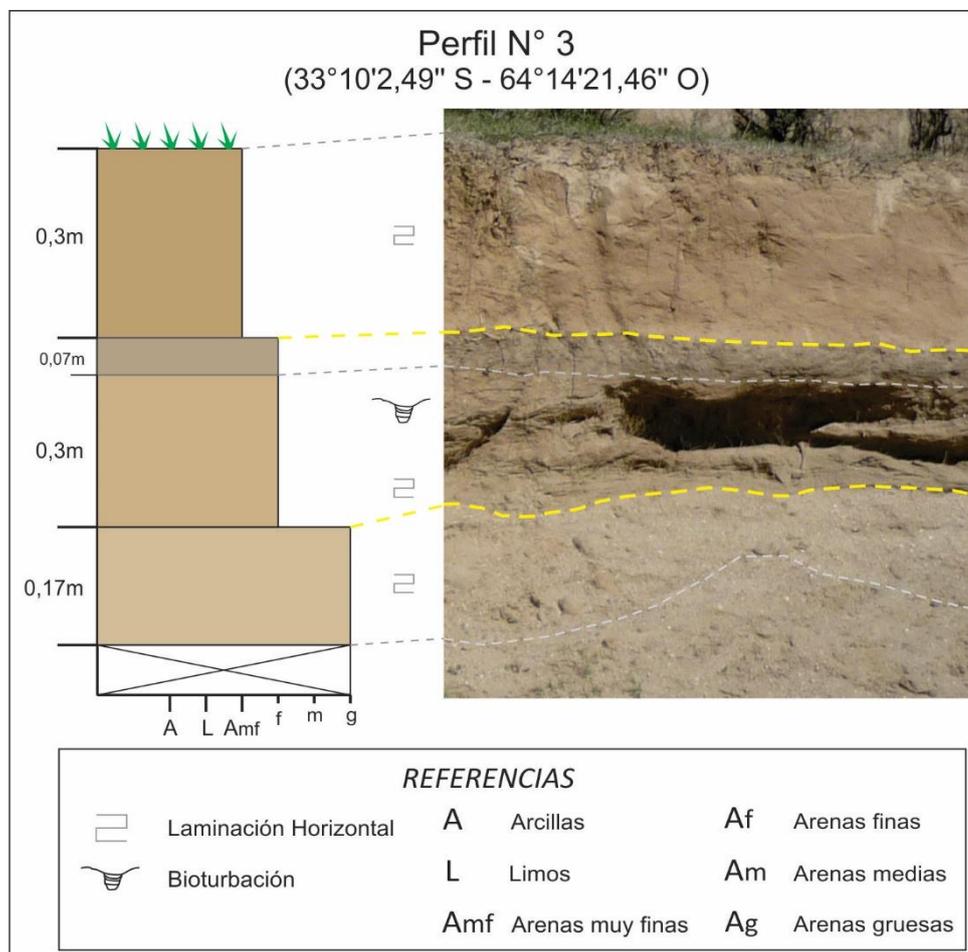


Figura V.4: Perfil sedimentario N°3.

PERFIL N°4: Se encuentra ubicado a 200 m hacia el O del perfil N°3, coordenadas 33°10'07" S y 64°14'15" O (Fig. V.5).

Descripción: La secuencia comienza con un banco tabular de 1,4 m de potencia compuesto por arenas finas de color pardo rojizo, cementadas y con laminación grosera. Mediante un contacto erosivo se apoya un cuerpo de 1,25 m con bancos tabulares del orden de 0,25 m que intercalan entre arenas medias y finas pardo claras y con laminación horizontal. En el centro aparece un banco de arenas gruesas pardo claras con estratificación entrecruzada en artesas. Culmina la secuencia en contacto transicional un cuerpo tabular de 0,5 m de espesor de arenas muy finas de color pardo claro, con laminación grosera y bioturbación.

Interpretación: El perfil comienza con secuencias cohesivas, en general finas, que se asignan tentativamente a la Formación Pampiano/Chocancharava (Pleistoceno Superior). Luego hay un hiato temporal que se evidencia por un contacto erosivo sobre el cual se

depositaron secuencias fluviales modernas, correspondientes a facies de canal en la base culminando con materiales más finos de desbordes

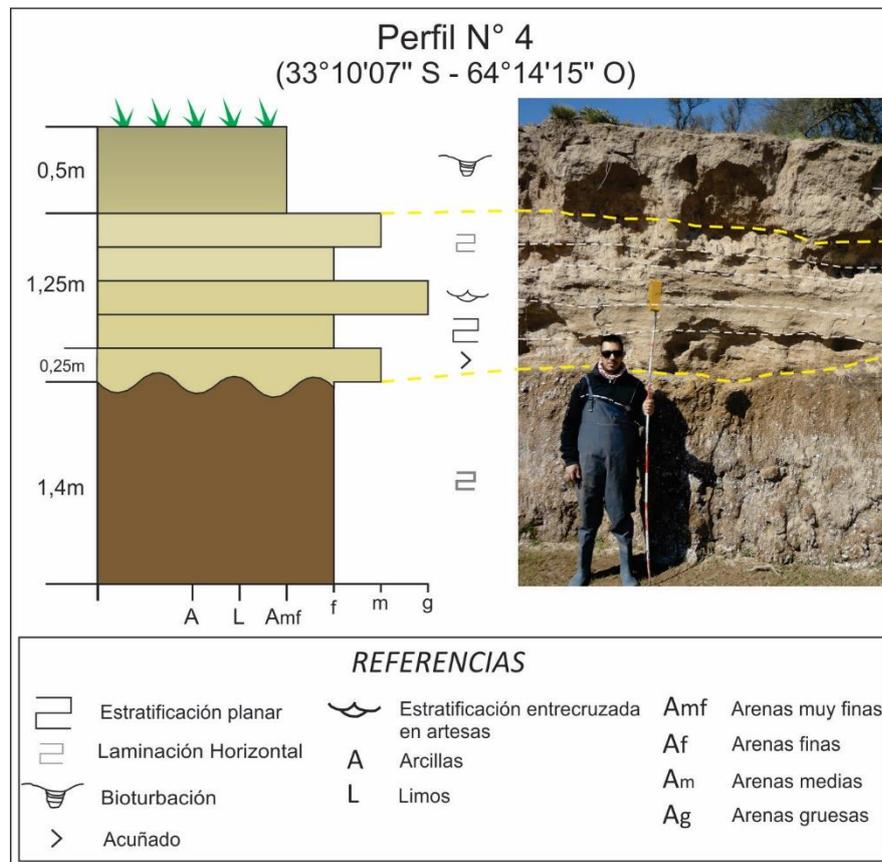


Figura V.5: Perfil sedimentario N°4.

PERFIL N°5: Se encuentra ubicado a 750 m hacia el SE del perfil N°4 en las coordenadas 33°10'19,16" S y 64°13'51" O (Fig. V.6).

Descripción: Con un total de 10,4 m de potencia, el perfil comienza con un banco tabular de 2 m de espesor compuesto por arenas finas a muy finas de color pardo rojizo con alto grado de cementación y laminación horizontal. Mediante un contacto transicional le sobryace un banco tabular de 3 m de potencia de arenas finas pardas con laminación horizontal grosera. Hacia el techo presenta un nivel de 0,60 m de color pardo rojizo, con estructuras en bloques. Se apoya en contacto neto un cuerpo tabular de 2 m de espesor compuesto por arenas muy finas de color pardo claro con laminación horizontal y bioturbación. Le sobryace en contacto neto un cuerpo de 1,8 m de potencia que se acuña lateralmente compuesto de arenas finas de coloración parda con estratificación entrecruzada planar. Remata la secuencia un cuerpo de 1,6 m de espesor, que se acuña lateralmente, compuesto de arenas finas de color pardo oscuro, con bioturbación.

Interpretación: La secuencia fluvial basal correspondería a la Formación Pampiano (Pleistoceno Superior) y las facies de llanura de inundación suprayacente se asignan,

tentativamente, a la Formación Chocancharava (Pleistoceno Superior). Luego en un periodo más árido se depositaron sedimentos fluviales finos equivalentes a la Formación La Invernada, que se asignan tentativamente a la Formación Río Cuarto (Pleistoceno Superior – Holoceno) que culmina con el desarrollo de un paleosuelo asignable al Geosuelo Las Tapias en un periodo más húmedo (Holoceno Inferior). Le siguen secuencias aluviales de mayor energía correlacionables con la Formación Las Lajas (Holoceno Inferior- Medio). Nuevamente en un ciclo más árido se depositan sedimentos de origen eólico que serían correspondientes a médanos de la Formación Laguna Oscura (Holoceno Superior), con desarrollo edáfico en su parte superior.

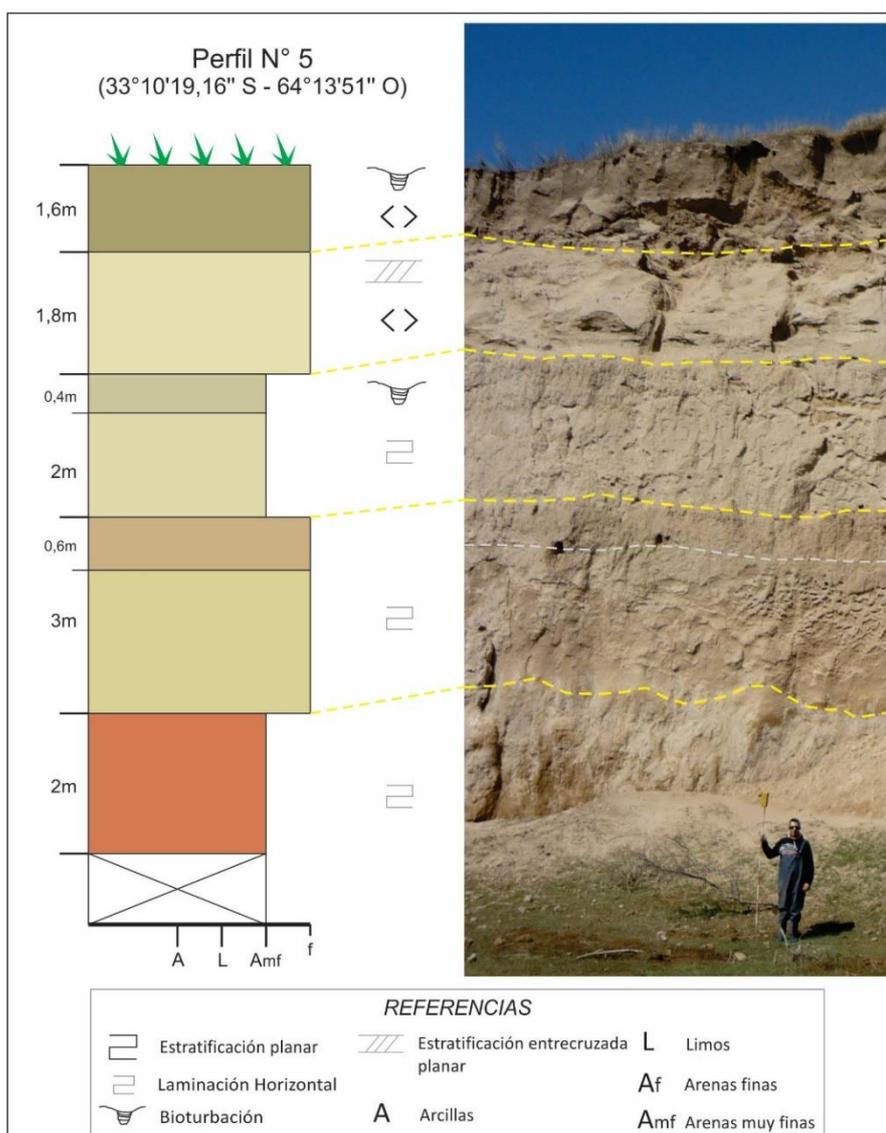


Figura V.6: Perfil sedimentario N°5.

PERFIL N°6: Se encuentra ubicado en las coordenadas de 33°09'49,7" S y 64°10' O y se accede por la ruta nacional N°8 (Fig.V.7).

Descripción: El perfil tiene una potencia de 1 m y está compuesto por un cuerpo tabular de arenas finas a muy finas de color pardo oscuro con laminación grosera y bioturbación, la cual aumenta hacia el techo.

Interpretación: Toda la secuencia está compuesta por materiales fluviales de baja energía correspondiente a sucesivos eventos de desbordes, con un leve desarrollo edáfico.

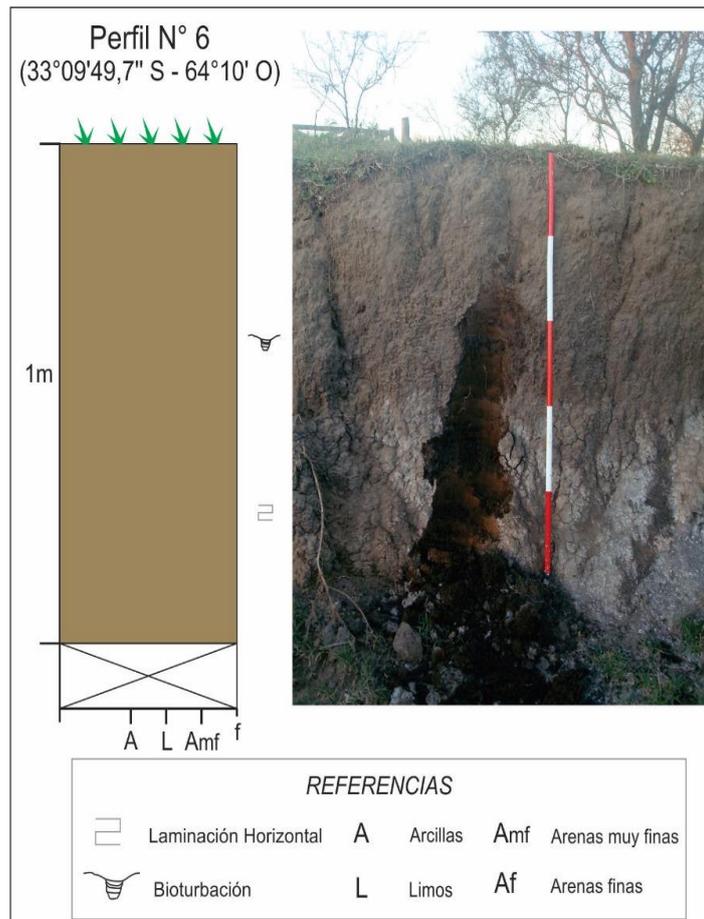


Figura V.7: Perfil sedimentario N°6.

PERFIL N°7: Se encuentra a 30 m al sudeste del perfil N°6, coordenadas 33°09'50,49" S y 64°09'58,84" O (Fig. V.8).

Descripción: Comienza la secuencia con un cuerpo tabular de 0,6 m de potencia con base cubierta, compuesto por arenas finas a muy finas de color pardo oscuro con laminación grosera, bioturbación y mayor contenido de MO hacia el techo. Le sigue un cuerpo de 0,6 m de espesor compuesto por dos bancos de 0,3 m de arenas finas a muy finas pardas con mayor contenido de MO hacia el techo y color más oscuro. Presenta laminación grosera y bioturbación.

Interpretación: La secuencia está compuesta por materiales fluviales de baja energía correspondientes a sucesivos eventos de desbordes, donde luego de cada evento quedan como zonas encharcadas con mayor contenido de MO hasta que le sobreviene otro evento de desborde. Estos corresponden a eventos modernos.

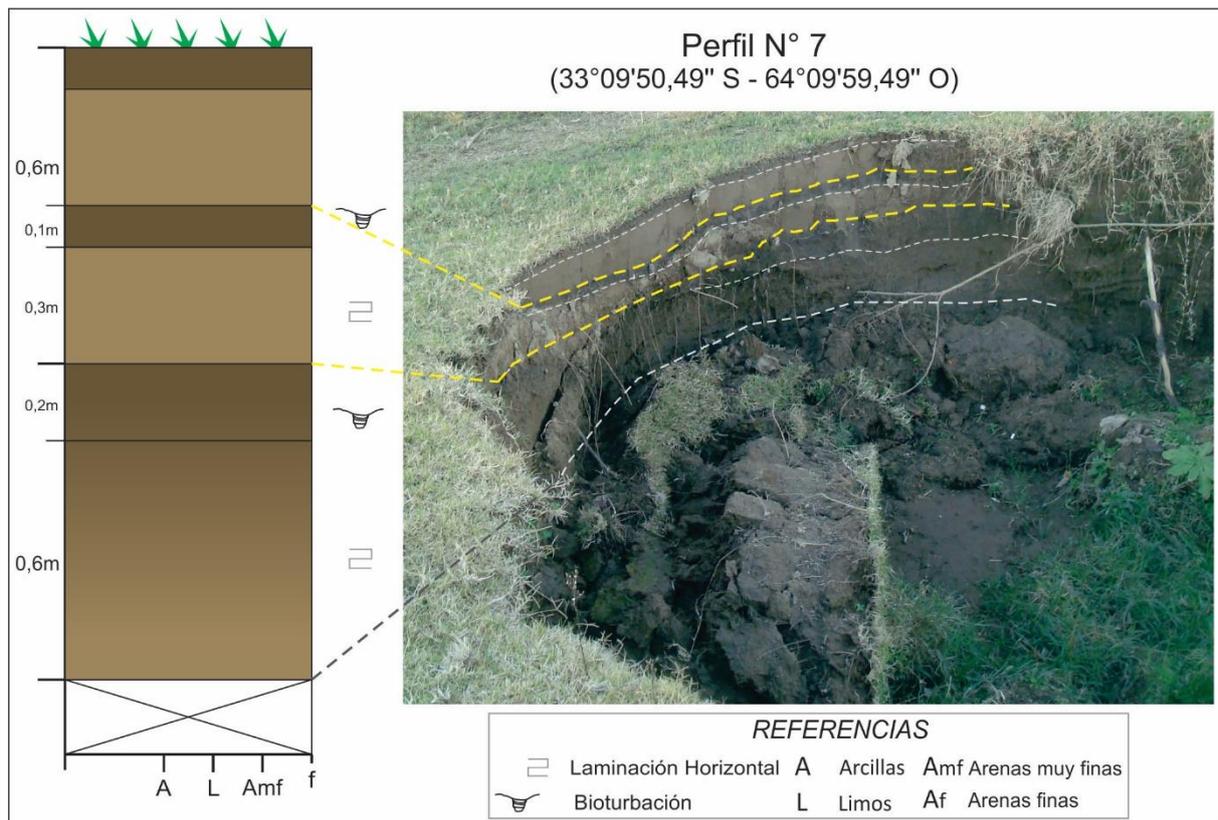


Figura V.8: Perfil sedimentario N°7.

PERFIL N° 8: Al perfil se accede por la arenera del km 571 de la ruta nacional N° 8, coordenadas 33°11'3" S y 64°0'8,9" O (Fig. V.9).

Descripción: La secuencia, de base cubierta, comienza con un cuerpo tabular de 0,7 m compuesto por arenas muy finas, pardo rojizas, fuertemente cementadas, con laminación horizontal gruesa. Sobreyacen en contacto neto un cuerpo tabular de 1,4 m de potencia de arenas finas de color pardo seguido, en contacto transicional, de un cuerpo tabular de 1,4 m de espesor compuesto por arenas muy finas pardo oscuras, con mayor contenido de materia orgánica y presencia de bioturbación. Se apoyan en contacto transicional otro cuerpo tabular de 0,6 m de espesor de arenas finas pardas con leve laminación horizontal. Remata el perfil un cuerpo tabular de 1,4 m de potencia compuesto de arenas muy finas con bancos de 0,4 m de color pardo grisáceo a pardo grisáceo oscuro. Estos últimos poseen mayor contenido de MO y presenta bioturbación que aumenta hacia el techo con abundante presencia de raíces.

Interpretación: La secuencia comienza con facies fluviales distales cementadas que corresponderían a la Formación Pampiano/Chocancharava (Pleistoceno Superior). Le siguen secuencias fluviales de baja energía que se asignarían a la Formación Río Cuarto (Pleistoceno Superior-Holoceno) y Formación Reducción (Holoceno Superior).

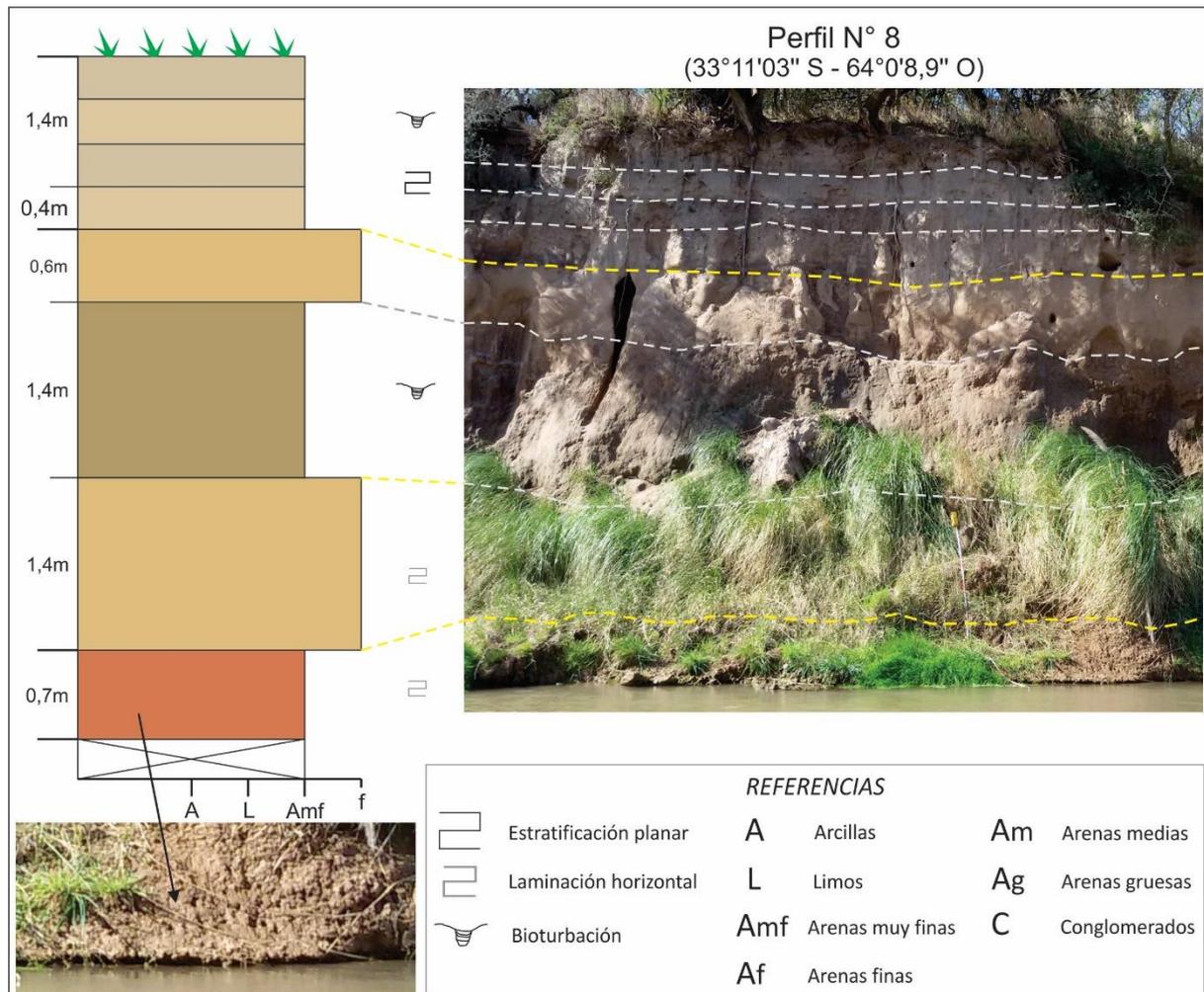


Figura V.9: Perfil sedimentario N° 8.

PERFIL N° 9: Se encuentra ubicado 1 km al Oeste de la localidad de Reducción en un corte del camino de acceso a la arenera del Sr. Sazzarini, coordenadas 33°11'52" S y 64°53'37" O (Fig. V.10).

Descripción: Con un total de 5,7m de potencia, el perfil comienza con un cuerpo tabular de 0,7m de espesor compuesto por arenas muy finas-arcillosas, cohesivas, de color pardo claro. Le sobreyace, en contacto transicional, un cuerpo tabular de arenas finas con 0,5 m de espesor. Continúa la secuencia un cuerpo de 0,7m de potencia, compuesto de arenas finas con mayor contenido de arcilla que el nivel infrayacente, de color pardo grisáceo, estructura en columnas con grietas verticales, precipitación de sales en masa y bioturbación. Se apoya, en contacto transicional, un cuerpo tabular de 1,3 m de espesor de arenas finas granodecrescentes de color pardo gradando a materiales limo-arcillosos de color pardo gris oscuro de 0,2 m de espesor. En el medio del cuerpo se encuentra un banco de 0,3 m de espesor compuesto por arenas finas de color pardo claro y presencia de sales en la masa. Culmina la secuencia en contacto neto, un cuerpo tabular de 2,5 m de potencia de color pardo

claro compuesto de una alternancia de capas de arenas finas y limo-arenosas muy finas en contacto transicional entre sí, con laminación muy fina, prácticamente imperceptible en algunos niveles, y bioturbaciones. En el techo presenta un color pardo oscuro y mayor contenido de MO.

Interpretación: La secuencia representa eventos de baja energía, asociados a llanura de inundación y desbordes. La unidad inferior, dominada por niveles más finos, con mayor contenido de materia orgánica y bioturbados, se asociaría a un período más húmedo con ambientes leníticos menores y desarrollo de suelos, interrumpido por eventos de mayor energía evidenciados por las intercalaciones de otros cuerpos más arenosos. La unidad superior se interpreta como de sucesivos desbordes, donde el periodo de tiempo entre distintos eventos es corto, evidenciado por la falta de rasgos pedogenéticos en el perfil, a excepción del techo del mismo que presenta un suelo de escaso desarrollo. Estas secuencias se atribuyen a la Formación Reducción (Holoceno Superior) pudiendo corresponder parte de la unidad inferior a la Formación Las Lajas (Optimum Climaticum – Holoceno Inferior a Medio).

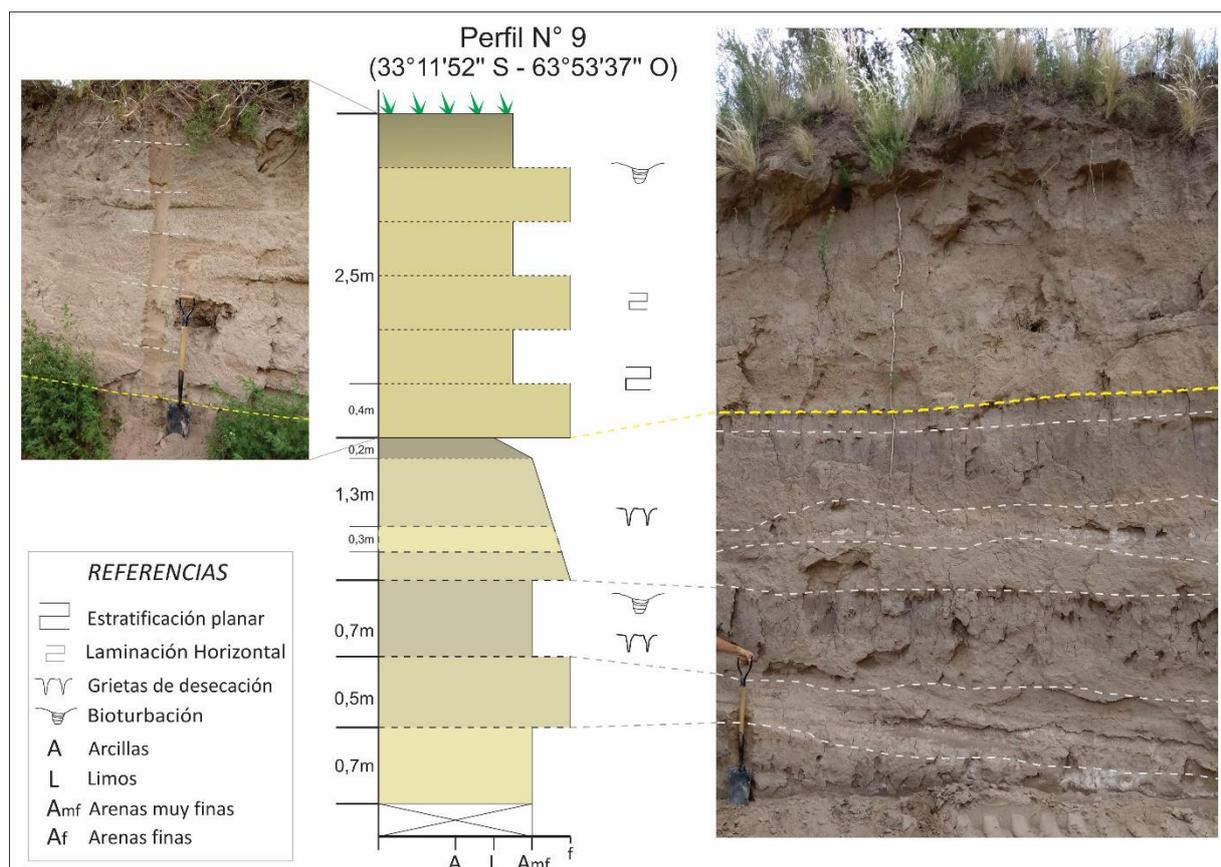


Figura V.10: Perfil sedimentario N° 9.

PERFIL N° 10: Se encuentra ubicado a 6 km al SE de la localidad de Reducción, se accede por la ruta nacional 8 y 1km hacia el Sur por camino rural, coordenadas 33°15'21,50" S y 63°48'36,66" O y fue relevado sobre la margen izquierda del río (Fig. V.11).

Descripción: El perfil, de 3,40 m de altura, comienza con un cuerpo tabular de 0,2 m de espesor, base cubierta, compuesto por materiales finos de granulometría uniforme (arenas muy finas) con pocas micas dispersas, color pardo rojizo. Le sobreyace en contacto transicional un cuerpo tabular de 2,2 m de potencia de arenas muy finas de color pardo claro, finamente laminadas con materiales pelíticos. Hacia el techo, con 0,6 m de espesor, los sedimentos presentan un color pardo oscuro con bioturbaciones, mayor contenido de materia orgánica y micas. Culminando la secuencia se encuentra un cuerpo tabular de 1 m de espesor conformado por arenas finas a muy finas de color pardo claro que se hace más oscuro hacia el techo donde incrementa el contenido de materia orgánica y raíces.

Interpretación: la secuencia corresponde a distintos eventos de desbordes en un ambiente de llanura de inundación. Los materiales pardos oscuros con mayor contenido de materia orgánica y bioturbación, indicarían un mayor tiempo de exposición en superficie con más desarrollo de actividad biológica que, luego fue cubierto por otro evento de desborde de mayor energía que depositó arenas finas. Se asigna este paquete a la Formación Reducción (Holoceno Superior), a excepción del nivel superior que correspondería a eventos más modernos.

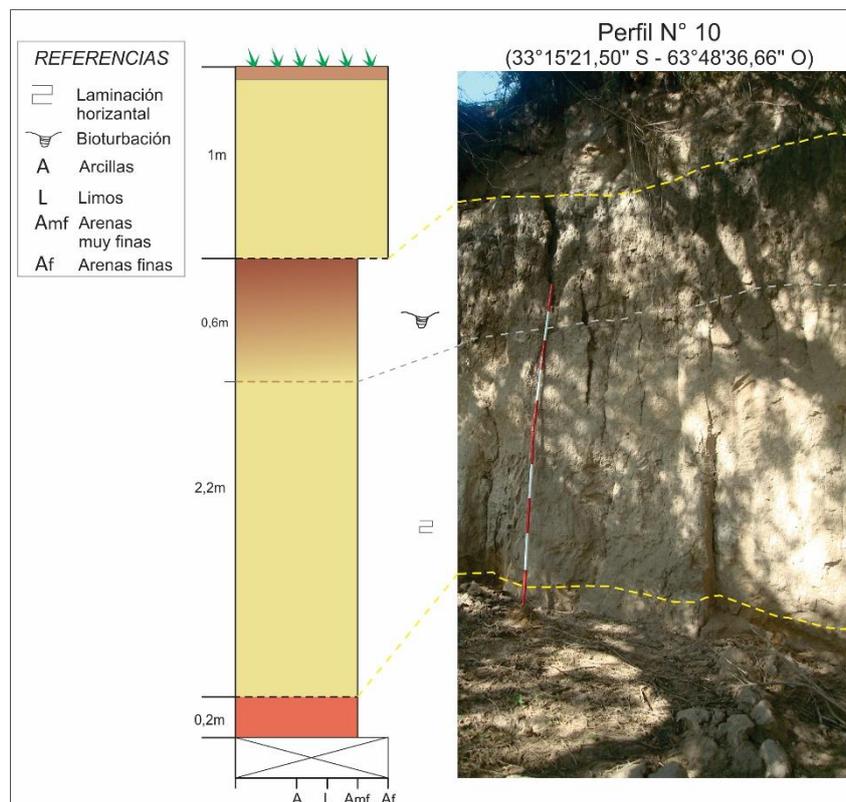


Figura V.11: Perfil sedimentario N°10.

PERFIL N° 11: Se encuentra ubicado a 6 km al NO de la localidad de Alejandro Roca, sobre la margen derecha del cauce actual, coordenadas 33°18'17,26" S y 63°45'41,52" O (Fig. V.12).

Descripción: La secuencia, de 9,3 m de potencia, comienza con un cuerpo tabular de 1 m de espesor con base cubierta, compuesta por arenas muy finas de color pardo rojizo fuertemente cementadas y con laminación horizontal grosera. Le sobreyace en contacto erosivo un cuerpo tabular de 1,6 m de potencia de arenas finas pardo oscuras con laminación horizontal grosera. En contacto neto se apoya un cuerpo tabular de 2,2 m de potencia de arenas finas de color pardo claro con laminación horizontal. Continúa la secuencia, en contacto neto, un cuerpo tabular de 2,5 m de espesor compuesto por arenas finas de color pardo claro, con un banco de materiales un poco más gruesos en su base. Posee laminación horizontal y en su techo un nivel de 0,2 m oscuro por el alto contenido de MO. Culmina el perfil un cuerpo tabular de 1 m de espesor de arenas muy finas pardas con laminación horizontal, bioturbación y mayor contenido de MO en el techo.

Interpretación: el cuerpo basal correspondería a facies aluviales de baja energía fuertemente cementadas que se asignan a la Formación Pampiano (Pleistoceno Superior). Luego, la secuencia suprayacente representa ciclos fluviales/aluviales de diferente energía que corresponderían a las Formaciones Chocancharava, Río Cuarto (Pleistoceno superior – Holoceno), Formación Las Lajas (Holoceno Inferior- Medio), y Formación Reducción (Holoceno Superior). En la parte superior, el perfil presenta un suelo de escaso desarrollo.

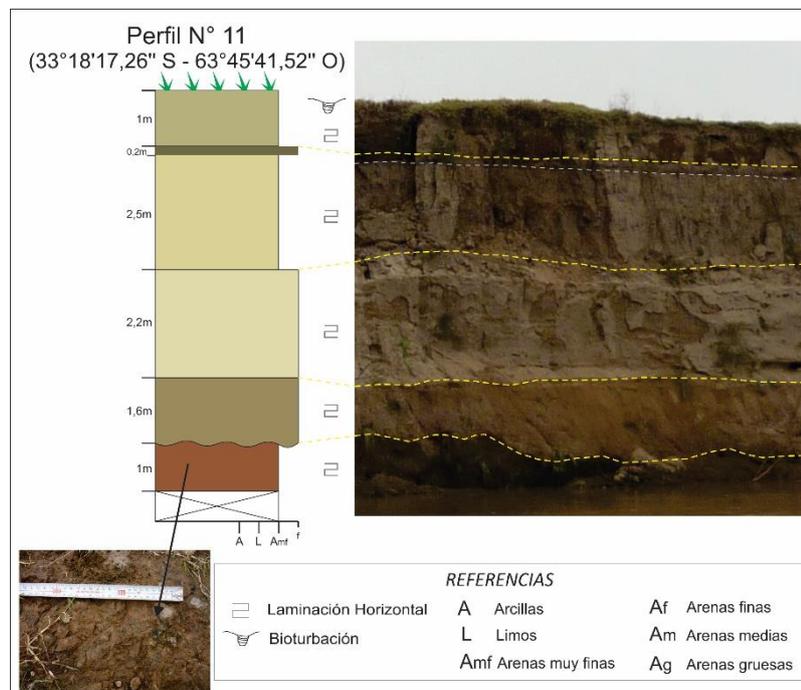


Figura V.12: Perfil sedimentario N° 11.

PERFIL N° 12: El perfil se encuentra en las coordenadas 33°18'16,78" S y 63°45'39,69" O a 50 m al Este del perfil N° 11 (Fig. V.13).

Descripción: Con un total de 2,6 m de potencia y base cubierta, la secuencia comienza con un cuerpo tabular de 0,3 m de espesor de arenas finas pardo claras con laminación grosera. Se apoya en contacto transicional un cuerpo tabular de 0,5 m de potencia compuesto de arenas muy finas de color pardo grisáceo. Se observan micas, clastos pequeños de tosca y presenta carbonatos dispersos. En contacto transicional continua un cuerpo tabular de 0,5 m de espesor de materiales predominantemente pelíticos pardos grisáceos con la leve laminación y estructura en bloques, muy bioturbado. Este paquete culmina con un nivel de 0,1 m, más oscuro con abundante contenido de MO y presencia de gastrópodos. Le sobreyace en contacto neto un cuerpo de tabular de 0,6 m de materiales limosos de color pardo en lo que se diferencian bancos de 0,2 m que poseen laminación horizontal. Remata la secuencia un cuerpo de tabular de 0,7 m compuesto de arenas muy finas de color pardo oscuro, muy bioturbado y con mucha presencia de raíces.

Interpretación: La secuencia comienza con facies de canal de baja energía que pasan a depósitos de llanura de inundación. Los materiales más oscuros con mayor contenido de materia orgánica y bioturbación, indicarían un mayor tiempo de exposición en superficie con más desarrollo de actividad biológica que luego fue cubierto por un evento de desborde que depositó arenas muy finas. Por último, sobreviene otro evento de desborde de mayor energía de arenas finas. Se asignaría esta secuencia a la Formación Reducción (Holoceno Superior), aunque las secuencias basales podrían ser más antiguas.

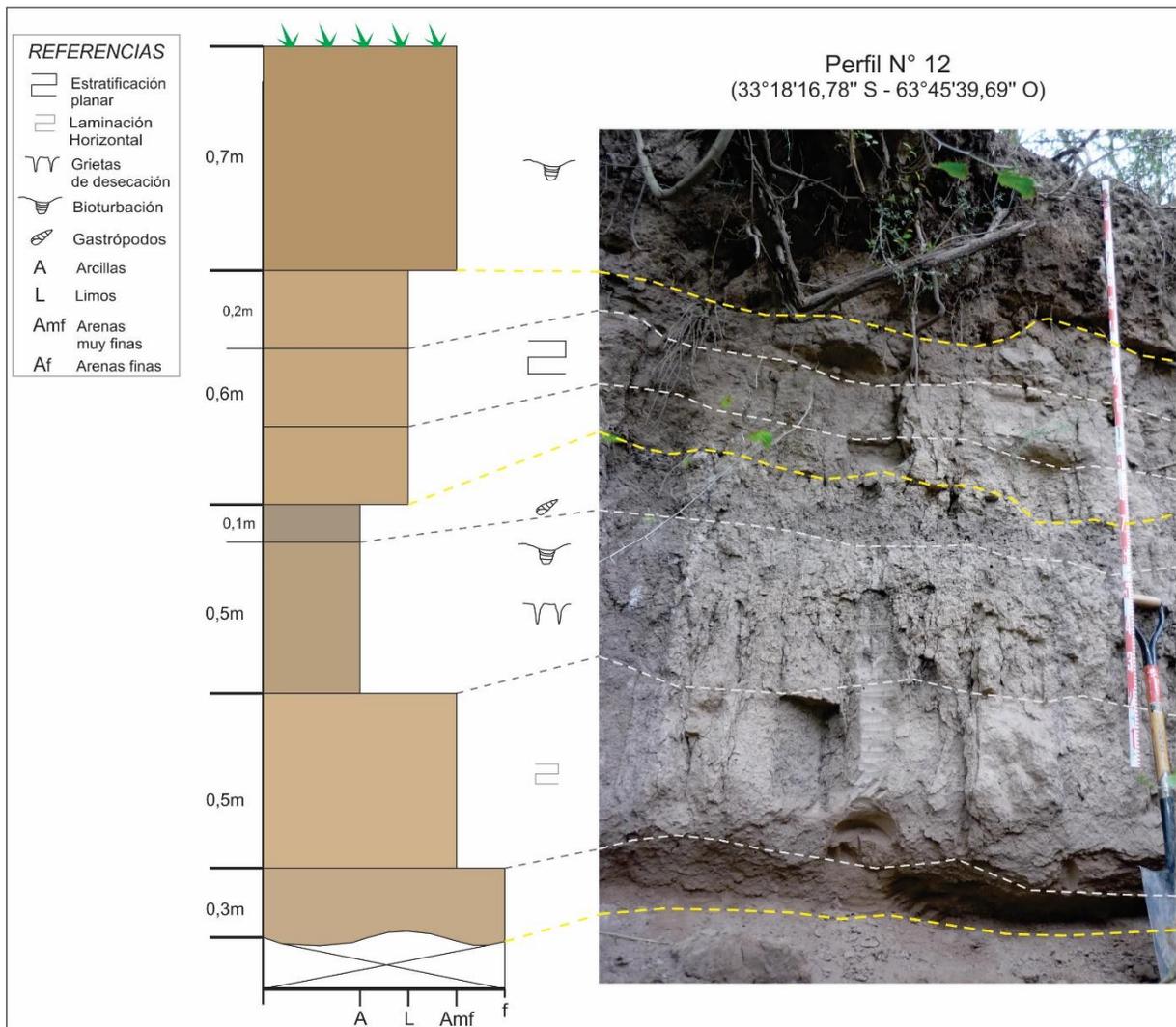


Figura V.13: Perfil sedimentario N° 12.

PERFIL N°13: Se encuentra en la entrada de un meandro abandonado, coordenadas 33°18'16,90" S y 63°45'32,50" O, 200 m hacia el Este del perfil N° 12.

Descripción: La secuencia, de base cubierta, tiene 2 m de espesor. Se inicia con una estructura de corte y relleno que representa un cuerpo de 1 m de potencia, de color pardo claro, granodecreciente, de base conglomerádica gradando hacia arriba a arenas gruesas a medias, que exhibe laminación plano paralela. Remata la secuencia en contacto neto, un cuerpo tabular de 1 m de espesor compuesto por arenas finas de color pardo rojizo, con abundante actividad de raíces.

Interpretación: Los niveles basales representan facies de mayor energía que definen un antiguo canal y se asignan a depósitos modernos correspondientes al canal abandonado. Le suceden sedimentos de desbordes históricos-actuales, poco edafizados.

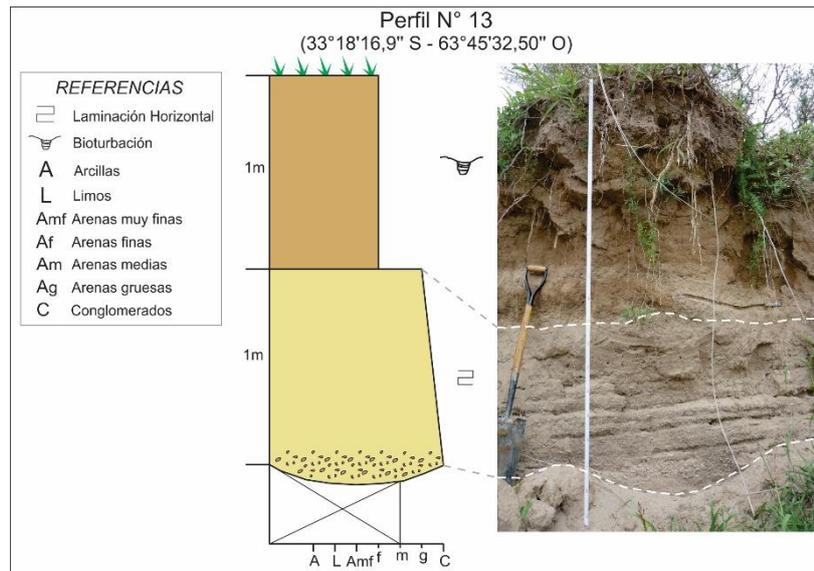


Figura V.14: Perfil sedimentario N°13.

PERFIL N°14: Está ubicado en el sector conocido como Vieja Cascada, a 2,5 km al NO de la localidad de Alejandro Roca, sobre la margen izquierda del cauce, coordenadas 33°19'41,72" S – 63°44'32" O (Fig. V.15).

Descripción: La secuencia, de 10,8 m de potencia, comienza con un cuerpo tabular de arenas muy finas pardo rojizas de 2 m de espesor, con fuerte cementación carbonática (tosca) y grietas de desecación. Sobre éste apoya en contacto neto un nivel de arenas muy finas de color pardo rojizo de 0,5 m de potencia con grosera laminación y presencia de limos, arcillas y "muñequitas" de tosca. Le sobreyace en contacto ondulado un cuerpo de 2 m de espesor con geometría en artesa, granodecreciente, con base conglomerádica pasando a arenas medias y finas hacia el techo, de color pardo. En contacto neto se apoya un cuerpo tabular de 3 m de espesor con intercalaciones de bancos pardos claros y oscuros de 0,2 a 0,3 m de arenas finas a muy finas. Estos últimos corresponden a los bancos más oscuros, con mayor contenido de MO. Presenta laminación, gravillas dispersas y bioturbación. Culminando la secuencia, en contacto neto, se encuentra un cuerpo tabular de 2,8 m con bancos poco definidos de arenas finas pardo amarillentas con alto contenido de MO y laminación grosera.

Interpretación: los materiales que componen el cuerpo basal fuertemente cementado se interpretan como correspondientes a facies aluviales de la Formación Pampiano (Pleistoceno Superior). Luego, la secuencia suprayacente representa ciclos fluviales/aluviales de diferente energía (en general baja) que corresponderían a las Formaciones Chocancharava, Río Cuarto (Pleistoceno superior – Holoceno), Formación Las Lajas (Holoceno Inferior- Medio), y Formación Reducción (Holoceno Superior). En la parte superior, el perfil presenta un suelo de escaso desarrollo.

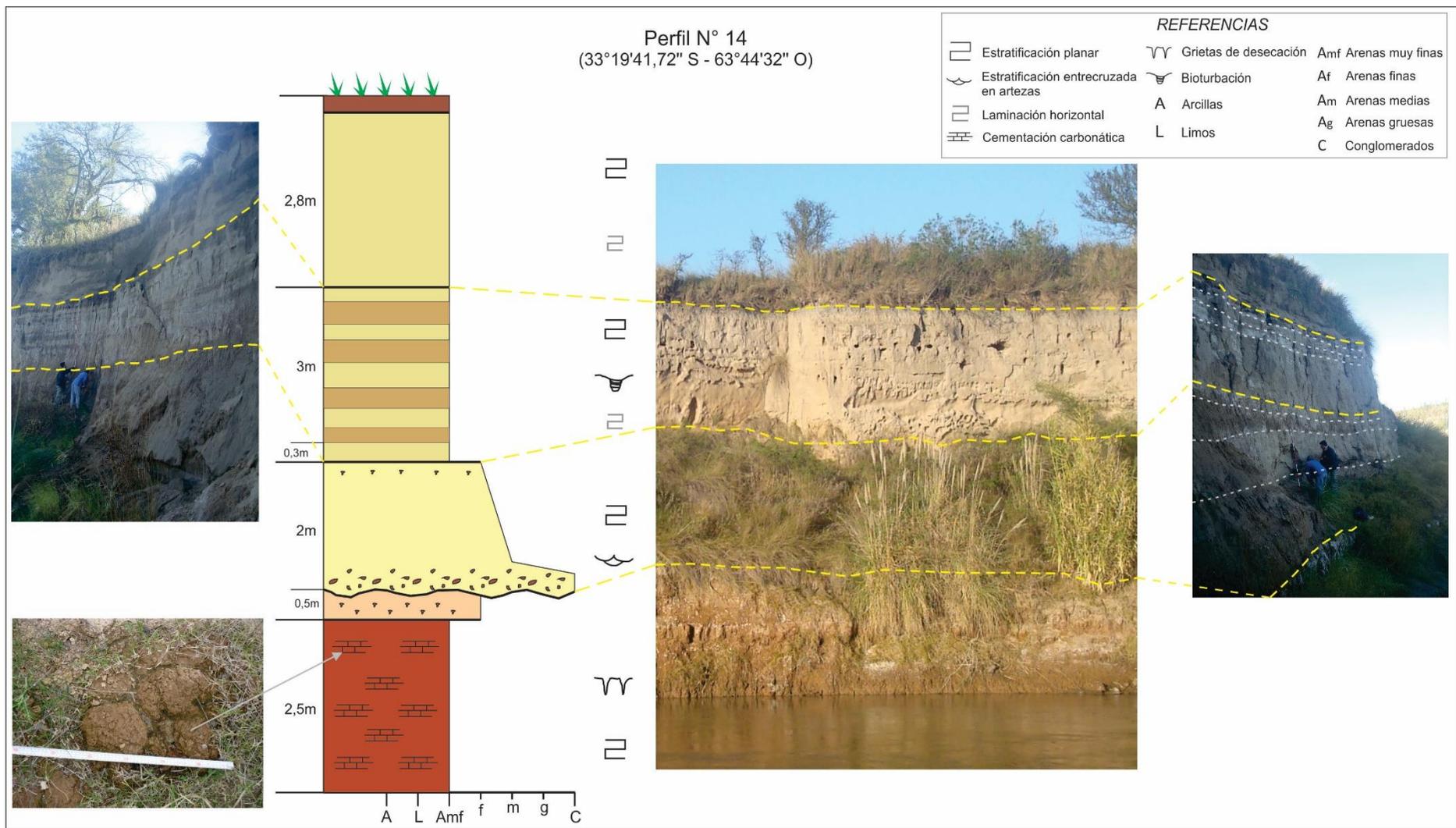


Figura V.15: Perfil sedimentario N°14.

V.1.2 Síntesis de la estratigrafía local

Todos los perfiles han sido relevados dentro de la faja fluvial del río Chocancharava, donde la mayoría de los depósitos son aluviales y corresponden al Cuaternario, frecuentemente al Holoceno y, en algunos sectores actualmente dominados por la incisión vertical, se exponen secuencias pertenecientes al Pleistoceno superior tardío. Las secuencias descritas muestran cambios energéticos que estarían representando, principalmente, las variaciones climáticas del Cuaternario. Como se indica en Carignano (1999) y Carignano *et al.* (2014), el río Cuarto, en su tramo medio-inferior, evidencia desplazamientos del ápice de su abanico terminal, hacia el Oeste, en los ciclos más secos y, hacia el Este, en los húmedos. Así, las secuencias asignadas a la Formación Pampiano, representarían facies distales en un período más seco, mientras que los sedimentos de mayor energía o llanura de inundación de la Formación Chocancharava, suprayacentes, corresponderían a condiciones más húmedas o en transición hacia el ciclo árido del Último Máximo Glacial. Este último período estaría representado por secuencias fluviales matriz sostén (Fm. Río Cuarto). Los depósitos asignados a la Formación Las Lajas se asociarían al ciclo húmedo inicial del Holoceno, correspondiente al Optimum Climaticum, mientras que las secuencias aluviales de baja energía (Fm. Reducción), presentes en la mayoría de los perfiles, se asociarían con el período seco del Holoceno superior. Finalmente, las secuencias fluviales modernas, corresponden a eventos de desbordes, bancos de espiras o canales abandonados. Fuera del ambiente fluvial se exponen secuencias arenosas muy finas correspondientes a la Formación Laguna Oscura, o sus removilizaciones actuales.

V.2 ESTRUCTURAS

En la figura V.16 se presenta el mapa de morfoisohipsas con los principales rasgos estructurales identificados. Tomando como base el trabajo Blarasin *et al.* (2005), se reconocieron 6 megabloques diferencialmente ascendidos que representan de Oeste a Este las estribaciones meridionales de la Sierras Chica de Córdoba y la zona de transición hacia las llanuras deprimidas orientales. Estos bloques son *Bloque Río Cuarto, la Depresión del Tigre Muerto, el Bloque de Levalle* y 3 bloques de transición, que en este trabajo denominamos *Bloque de Charras, Las Acequias y Reducción* (Fig. V.17.B).

Las cotas en el área de estudio varían desde 430 a 210 m s.n.m, desde el sector noroccidental hacia el Sudeste y la pendiente general es de 0,37% hacia el SE, aunque varía en gradiente y dirección en los diferentes bloques.

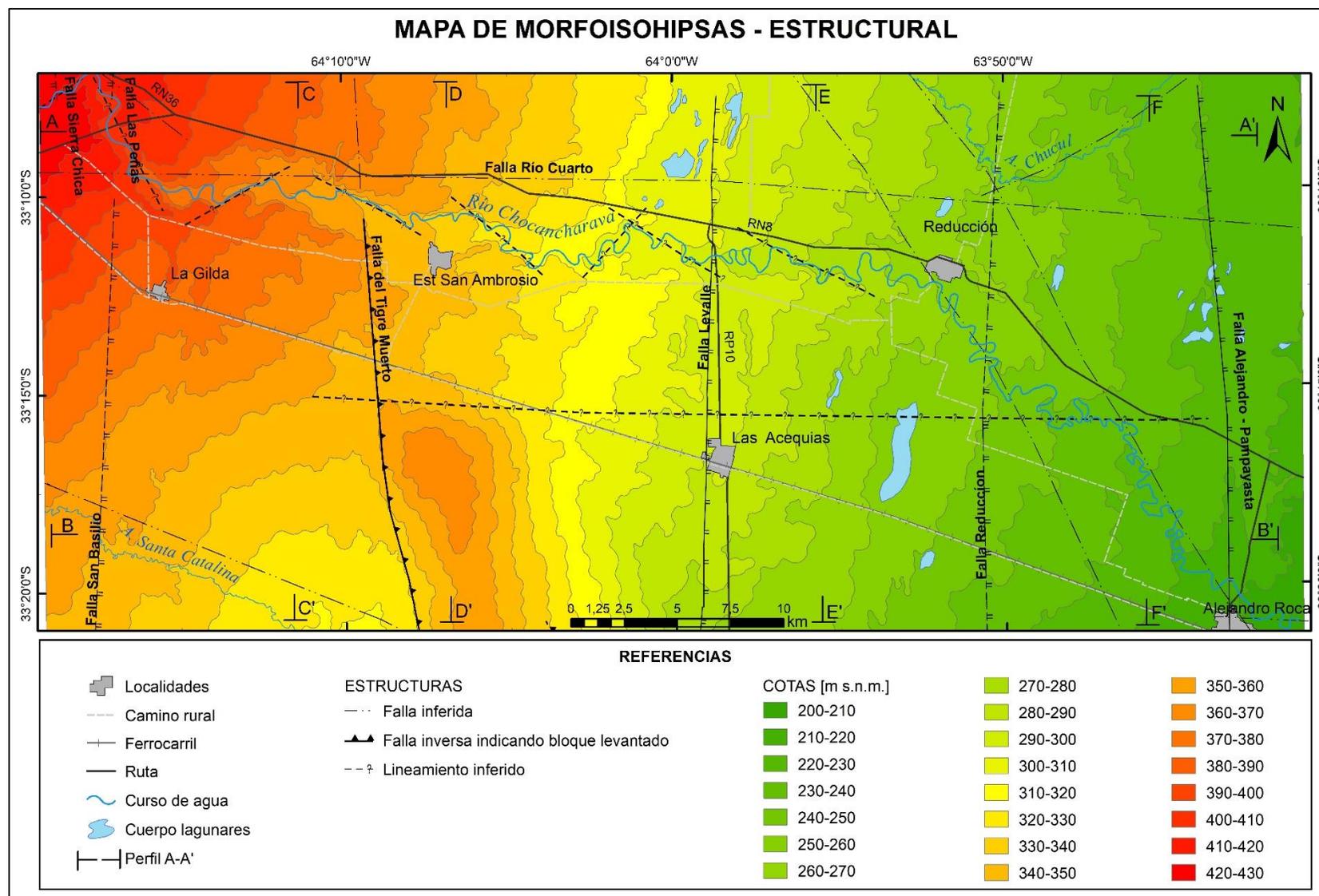


Figura V.16: Mapa de morfoisohipsas – estructural del área de estudio.

Como se observa (Fig. V. 16 y 17), en la zona de estudio se reconocen los sistemas de fracturas meridionales regionales, como lo son las fallas de la Sierra Chica, Las Peñas, San Basilio, Tigre Muerto, Levalle, Reducción y Alejandro-Pampayasta y el sistema E-O, representado por la falla Río Cuarto, que definen los bloques mayores conjuntamente con otros sistemas menores, de rumbo NO-SE y NE-SO que los segmentan y controlan tramos del río Chocancharava y arroyos cercanos.

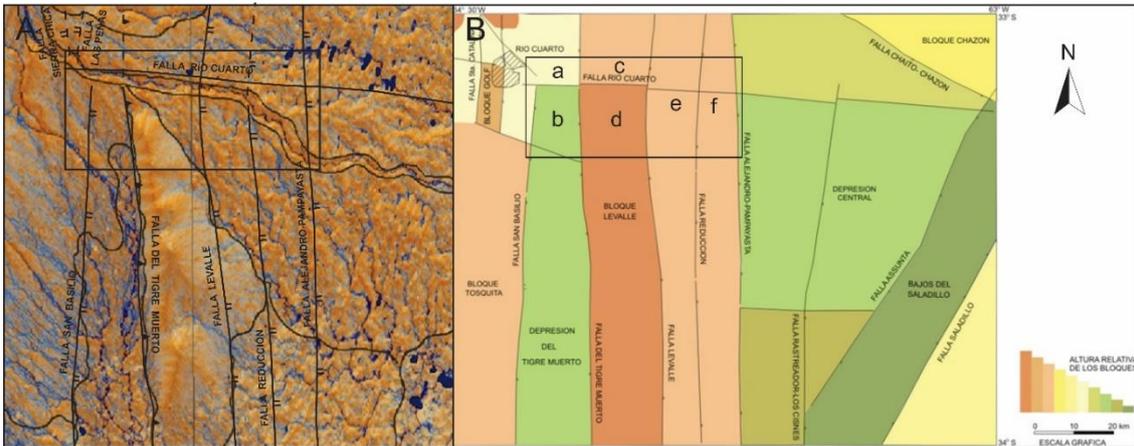


Figura V.17: A) Ventana del mapa geomorfológico del Sur de la provincia de Córdoba, modificado de Carignano *et al.*, (2014). B) Mapa morfotectónico del Sur de la provincia de Córdoba, tomado de Blarasin *et al*, 2005. a: bloque Río Cuarto; b: Depresión del Tigre Muerto; c: bloque Charras; d: bloque Levalle; e: bloque Las Acequias; f: bloque Reducción. En recuadros negros en ambas figuras, se muestra el área de estudio

Dentro de la zona de estudio el *Bloque Río Cuarto* se encuentra al NO y está limitado al E por lo que se infiere sería la prolongación de la falla del Tigre Muerto hacia el N, y hacia el S por la falla Río Cuarto. Por el O lo elevan estructuras meridionales que, como interpreta Bettiol (2012) corresponderían a la prolongación hacia el S de la falla de la Sierras Chica y Las Peñas (Fig. V.16). La falla de la Sierras Chica ha tenido actividad en el Pleistoceno superior y Holoceno superior desde la sección Las peñas-Los Cóndores hasta el arroyo Tegua (Gallo, 2011) En cuanto a la falla Las Peñas, también se registraron 2 eventos paleosísmicos de edad Holoceno medio-superior y post Holoceno superior (Bettiol, 2012). En este bloque se encuentran las mayores alturas, que varían desde 420 a 340 m s.n.m. y presenta una pendiente general de 0,5% hacia el SE.

Le sigue en altura el bloque *Levalle* con cotas desde 370 a 290 m s.n.m., el cual está limitado por las fallas del Tigre Muerto y Levalle, al O y E, respectivamente y Río Cuarto, al Norte. Esta morfoestructura exhibe un perfil transversal asimétrico con pendientes más pronunciadas hacia el O del orden de 0,8 a 1,2% y más tendidas hacia

el E de 0,6 a 0,8%. Dentro del área es el bloque que mayor desnivel presenta con respecto a los demás.

El bloque *Charras* es un bloque de transición que tiene alturas entre los 360 y 300 m s.n.m. y se encuentra entre las fallas del Tigre Muerto (inferida al N del río Chocancharava) y Levalle y limita el S con la falla de Río Cuarto. Su pendiente es del orden de 0,37% hacia el ESE. La *Depresión del Tigre Muerto* limita al E con la falla del mismo nombre y al O con la falla de San Basilio. Tiene alturas entre los 340 y 310 m s.n.m. con una pendiente del orden de 0,23% hacia Sudeste.

Los bloques *Las Acequias* y *Reducción* son los que presentan las cotas más bajas, 310-260 y 260-210 m s.n.m, respectivamente, al igual que las menores pendientes, 0,33% hacia E para el bloque *Las Acequias* y 0,26% al SE para el bloque *Reducción*.

En la figura V.18 y 19 se presentan perfiles topográficos O-E y N-S respectivamente, realizados a partir de *Google Earth*®, cuya ubicación se muestra en la figura V.16. El perfil A-A' (Fig. V.18.A), localizado al N del río Chocancharava, desciende desde 415 a 229 m s.n.m., con una pendiente bastante regular (valor medio 0,33%) con dirección Este. No muestra quiebres importantes asociado a las estructuras meridianas regionales. El perfil B-B' (Fig. V.B), al Sur del área de estudio, presenta cambios notorios a lo largo de su traza, pudiendo asociarse los más importantes a las fallas antes mencionadas, en especial al bloque elevado de *Levalle*, con un desnivel de hasta 30 m. El perfil se compone de 4 segmentos con distinto gradiente y dirección de la pendiente: 1)-se asocia a la *Depresión del Tigre Muerto*, con 0,23% hacia el E, 2) asociado al bloque *Levalle*, con 1% en promedio hacia el O en el flanco occidental y 0,7% hacia E para el flanco oriental, 3) corresponde al bloque *Las Acequias*, con 0,33% hacia E y 4) se asocia al bloque *Reducción*, con 0,26% hacia E.

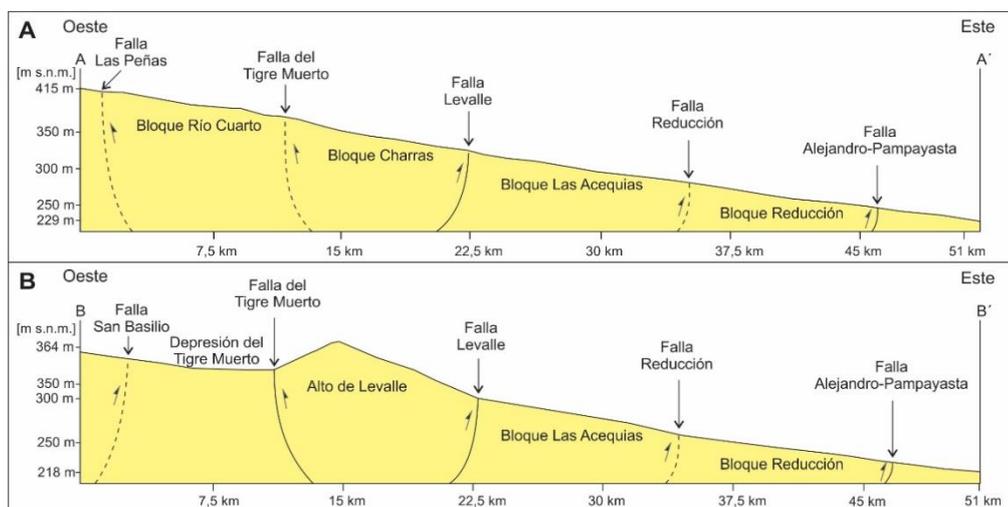


Figura V.18: Perfiles topográficos O-E. A) sector Norte. B) sector Sur. Movimiento de bloques tomado de Degiovanni *et al.* (2005).

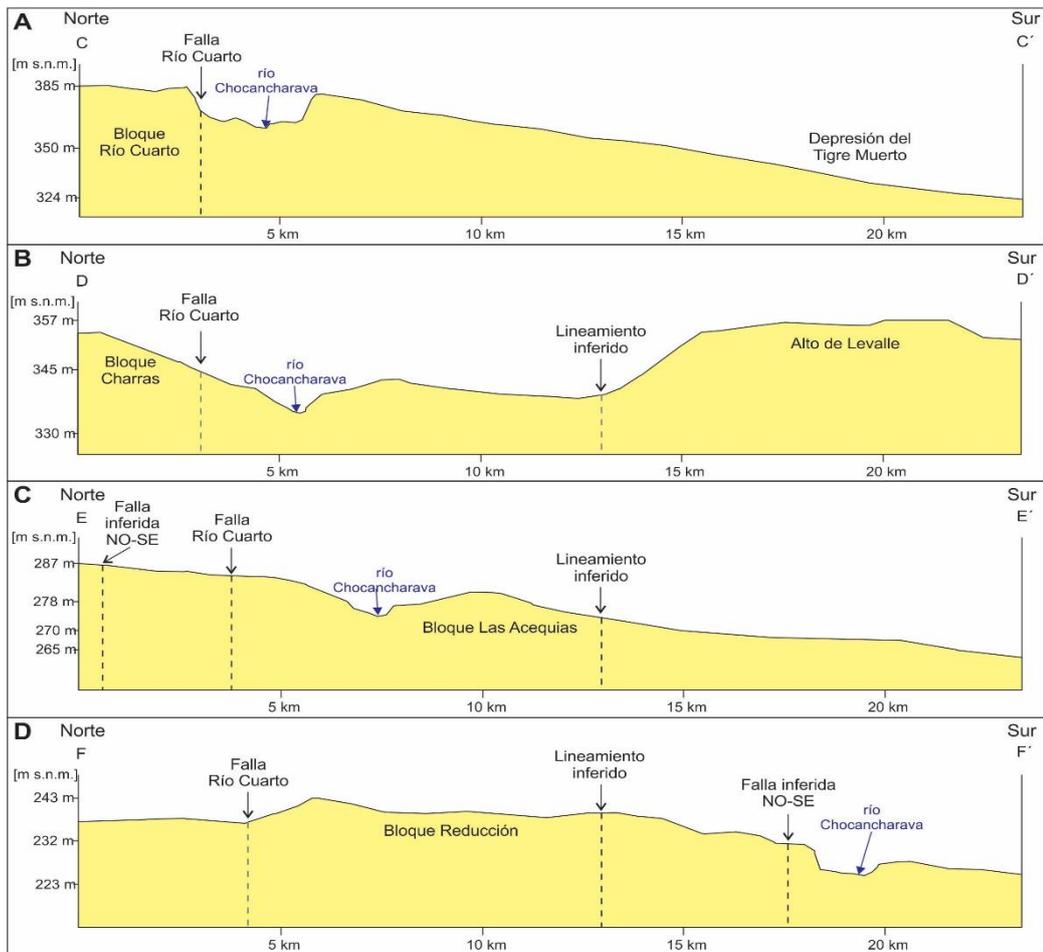


Figura V.19: Perfiles topográficos N-S. Desde el sector Oeste del área A), al sector Este D).

El perfil C-C' (Fig. V.19.A) se encuentra en el sector O de la zona de estudio, con alturas que van de 385 a 324 m s.n.m. exhibiendo 2 segmentos de distinta pendiente correspondiente a los bloques *Río Cuarto* y la *Depresión del Tigre Muerto*, con 0,27% y 0,17% al S respectivamente. La traza del perfil D-D' (Fig. V.19.B) atraviesa los bloques *Charras* y *Levalle*. Este último, muestra un resalto importante con un desnivel de 20 m aproximadamente con una pendiente de 0,8% al N, mientras que el bloque *Charras* presenta una pendiente más tendida al S de 0,3% en promedio. El perfil E-E' (Fig.V.19.C) se encuentra en el bloque *Las Acequias*, con una pendiente más homogénea en promedio de 0,12% al Sur. Por último, el perfil F-F' (Fig. V.19.D) se encuentra en el sector más oriental del área con una suave pendiente al S de 0,11% en promedio. En su extremo Norte muestra un segmento con pendiente de 0,14% al N, correspondiente a bajos que en algunos casos conforman cuerpos lagunares.

CAPÍTULO VI

GEOMORFOLOGÍA LOCAL

VI.1 INTRODUCCIÓN - DEFINICIÓN DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Como se señaló, en el contexto de las unidades morfotectónicas regionales definidas por Passotti (1974), el área de estudio se encuentra en la pampa elevada y limita con la pampa hundida mediante la megatraya de la falla Alejandro – Pampayasta-San Francisco del Chañar. Se trata de una llanura de agradación, con pendientes en general muy bajas, relieve leve a moderadamente ondulado producto de la interacción durante el Cuaternario de la actividad fluvial del río Chocancharava/Cuarto con la eólica asociada a la generación del gran Mar de Arena Pampeano (Iriando, 1990a, b y c). En este contexto se destacan algunos altos estructurales definidos en la figura V.17.B.

En el mapa Geomorfológico (Fig. VI.1) se muestran las unidades que se describen a continuación, las cuales se agruparon en tres niveles jerárquicos siguiendo criterios genéticos y morfodinámicos, tomando como base la cartografía de Degiovanni *et al.* (2005)

VI.1.1 Unidades geomorfológicas:

1 – Llanuras eólicas

1.1 – Planicie suavemente ondulada con médanos históricos

1.2 – Alto estructural de Levalle

2 – Llanuras fluvioeólicas

2.1 – Paleoabanico aluvial del río Chocancharava

2.2 – Depresión del Tigre Muerto

2.2.1 – Paleoderrames con cubierta medanosa

2.2.2 – Paleoderrames con bajos anegadizos

3 – Faja fluvial del río Chocancharava

3.1 – Faja antigua del río Chocancharava

3.2 – Faja actual del río Chocancharava

3.2.1 – Cauce

3.2.2 – Terrazas T2 y T3

3.2.3 – Meandros abandonados

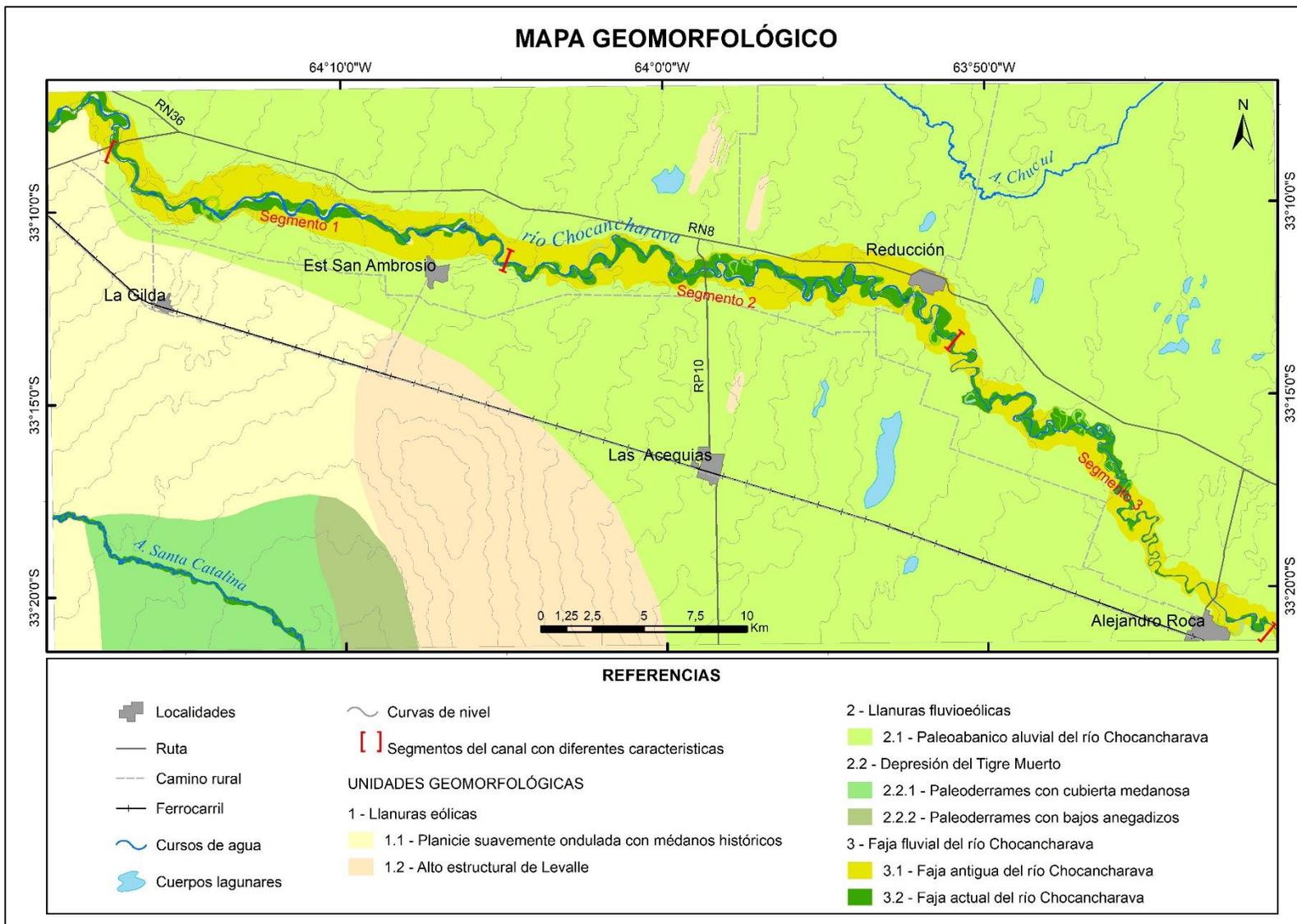


Figura VI.1: Mapa geomorfológico sector cuenca media del río Chocancharava/Cuarto.

VI.2 – DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

1. LLANURAS EÓLICAS

1.1– Planicie suavemente ondulada con médanos históricos

Son llanuras que presentan en general un relieve suave a moderadamente ondulado con pendientes promedios inferiores al 0,5%. Predominan sedimentos arenosos finos de la Formación Laguna Oscura que conforman antiguas dunas longitudinales disipadas que presentan algunas reactivaciones históricas (Fig. VI.2).



Figura VI.2: Arriba: Imagen satelital *Google Earth*® de un sector de la planicie suavemente ondulada con médanos históricos, donde se observan sistemas de dunas longitudinales muy disipadas con la orientación característica NNE-SSO. Abajo: ventana del recuadro blanco.

1.2 - Alto estructural de Levalle

Es un alto topográfico de orientación meridional levemente basculado hacia el S y E, limitado en su flanco occidental por la falla del Tigre Muerto de carácter inversa (Degiovanni *et al.*, 2005), que controla la traza del arroyo Santa Catalina, en dirección submeridiana (Fig. VI.3a y b).

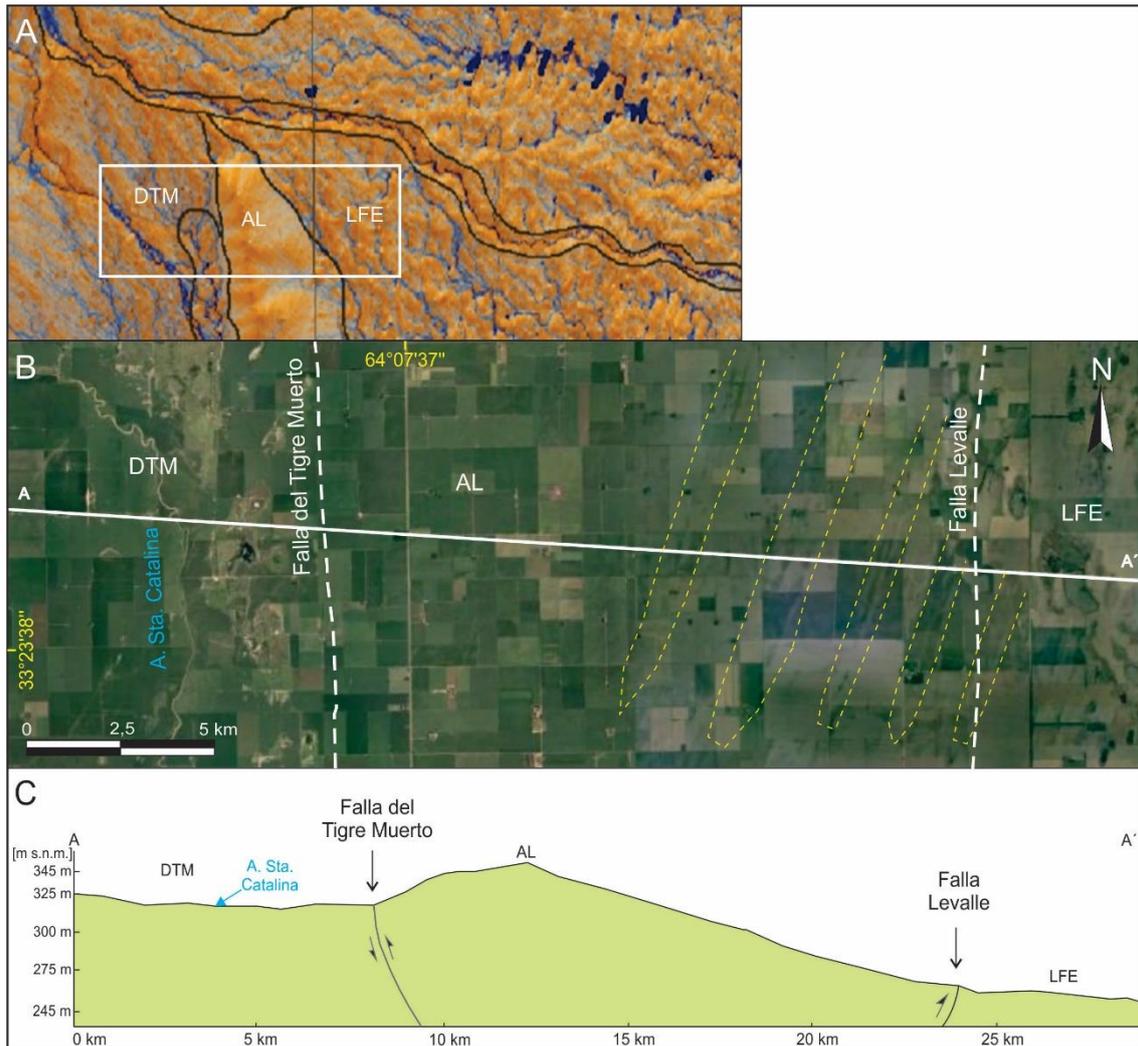


Figura VI.3: A) Ventana del mapa geomorfológico del Sur de la provincia de Córdoba, tomado de Carignano *et al.* (2014). B) Imagen satelital *Google Earth*© donde se muestran las unidades Depresión del Tigre Muerto (DTM), Alto de Levalle (AL) y Llanura fluvioeólica (LFE). En líneas punteadas amarillas se indican dunas longitudinales. C) Perfil topográfico A-A' con escala vertical exagerada.

Presenta un perfil transversal asimétrico, con una pendiente de 0,8% - 1% en su borde occidental y desniveles de hasta 30 m, mientras que hacia el Este y Sur la

pendiente es menor y su límite con las llanuras circundantes es transicional. Se encuentra cubierto por materiales eólicos holocenos (Formación Laguna Oscura), su relieve es suavemente ondulado por la presencia de dunas disipadas, no presenta una red de drenaje definida y sólo se observan leves rasgos de erosión hídrica.

2 – LLANURAS FLUVIO-EÓLICAS

Como se señalara (Capítulo III), estas planicies representan el relleno de grandes depresiones tectónicas y su relieve dominante resulta de la interdigitación de formas asociadas a procesos fluviales y eólicos. (Degiovanni, 2005). En el área de estudio, está representada por el sector medio-occidental del paleoabanico del río Cuarto y el ingreso a la depresión del Tigre Muerto.

2.1 – Paleoabanico aluvial del río Chocancharava

Esta unidad presenta cuatro ápices importantes (Carignano *et al.*, 2014), de los cuales dos se encuentran en el área de estudio: uno a la altura de San Ambrosio en el extremo norte del bloque de Levalle y, el otro, en cercanías de la localidad de Reducción. Estos cambios de posición están vinculados, principalmente, a eventos paleoclimáticos y, subordinadamente, a controles tectónicos. Los paleocanales tienen una dirección predominante hacia el E, al Norte del río Cuarto, mientras que, sobre la margen Sur, hacia el SE. Sobreimpuesto a este relieve se observan formas típicas del gran Mar de Arena Pampeano (Iriondo, 1990a, b y c), conformado por dunas longitudinales disipadas, donde en algunos corredores de deflación en la parte más oriental del área, se generan cuerpos lagunares (algunos permanentes y otros temporarios). También se observan en menor cantidad dunas parabólicas históricas estabilizadas donde, en algunos casos, en la cubeta de deflación contiene cuerpos lagunares. Los paleocanales también muestran rasgos de deflación que alojan ambientes leníticos de distintas dimensiones y régimen. (Fig. VI.4).

Esta unidad, en general, presenta un relieve ondulado con una pendiente promedio hacia el SE, del orden de 0,3%.

2.2 – Depresión del Tigre Muerto

Constituye un área deprimida, con nivel freático poco profundo o aflorante, que se corresponde con el bloque hundido asociado a la falla del Tigre Muerto. Presenta rumbo submeridiano, pendiente general hacia el SE-S del orden de 0,2% y un perfil transversal

marcadamente asimétrico, situándose el eje de la depresión al oriente, al pie del Alto estructural de Levalle (Fig. VI.3c). El desnivel entre ambos bloques disminuye de Norte a Sur, desde aproximadamente 30 m hasta hacerse imperceptible. El borde occidental de esta depresión no tiene manifestación topográfica, pero queda indicado por una serie de rasgos morfosedimentarios, hidrológicos y edáficos (lóbulos de derrames, materiales aluviales, nivel freático subaflorante, suelos enterrados, entre otros), que coinciden con la traza de la falla San Basilio (Degiovanni *et al.*, 2005). En el área de estudio, sólo se reconoce el sector Norte de esta depresión, donde se distinguen dos subunidades.

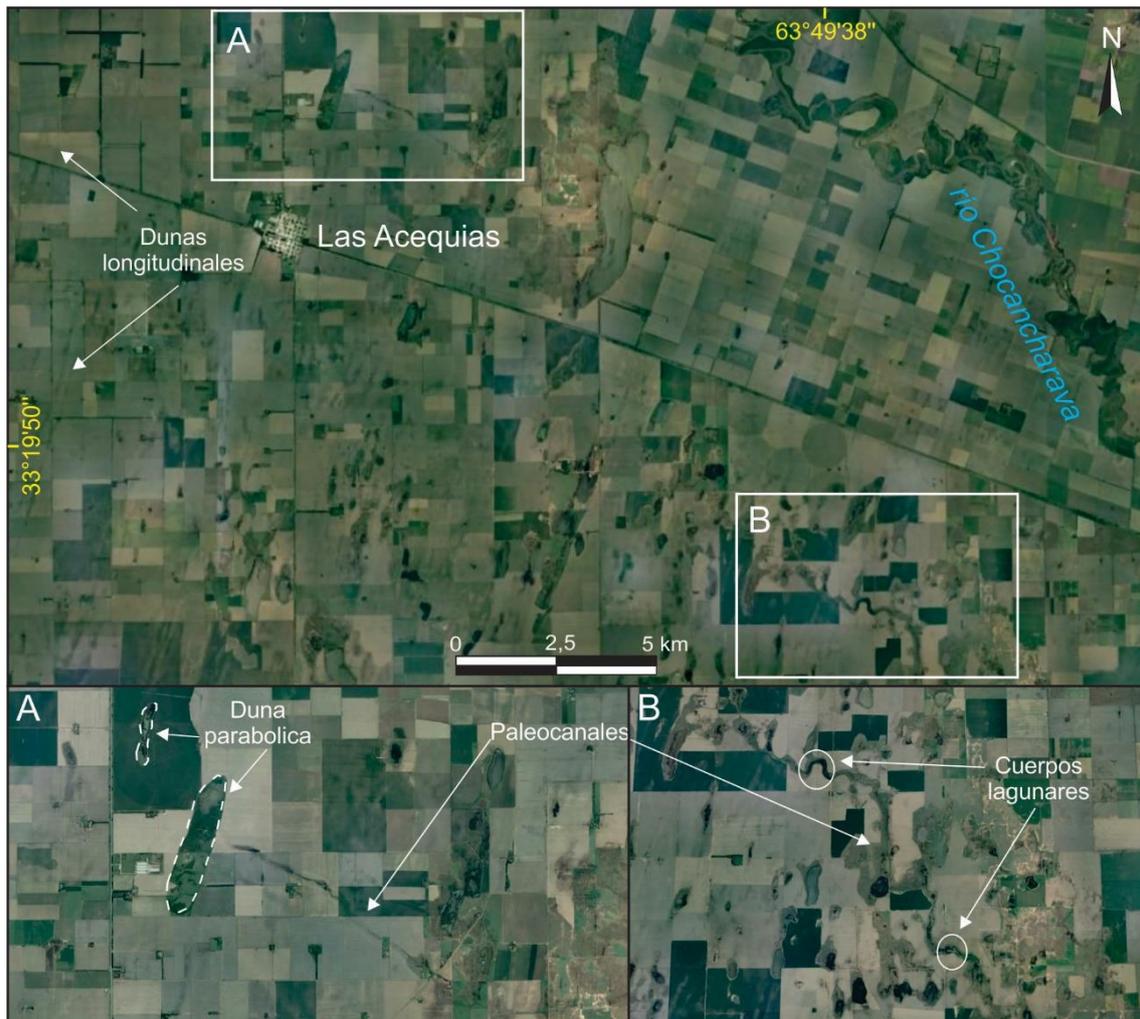


Figura VI.4: Imagen satelital *Google Earth*© de la unidad paleoabánico aluvial del río Chocancharava. Se pueden observar las dunas longitudinales disipadas y en los recuadros A) y B) ventanas donde se detectan paleocanales, cuerpo lagunares y dunas parabólicas estabilizadas.

2.2.1 – Paleoderrames con cubierta medanosa

Conforman una planicie con pendientes muy tendidas y bajo gradiente (hasta 0,2%) orientadas hacia el S-SE, dominada por paleoderrames del arroyo Santa Catalina, cubiertos parcialmente por depósitos eólicos (Fig. VI.5) Estos conforman dunas longitudinales que se superponen ortogonalmente a las lomadas y bajos poco manifiestos de origen aluvial. El nivel freático está poco profundo y los suelos sobre estos materiales aluviales muestran un importante desarrollo y presentan localmente duripanes (Degiovanni, *et al.*, 2005).

2.2.2 –Paleoderrames con bajos anegadizos

Esta unidad se corresponde con el sector más bajo de la depresión y se sitúa al pie del Alto de Levalle, Se reconocen paleorasgos fluviales del arroyo Santa Catalina y extensos bajos vinculados a procesos de deflación, los cuales exhiben anegamiento temporario y evidentes procesos de halomórficos asociados a afloramiento freático (Fig. VI.5).

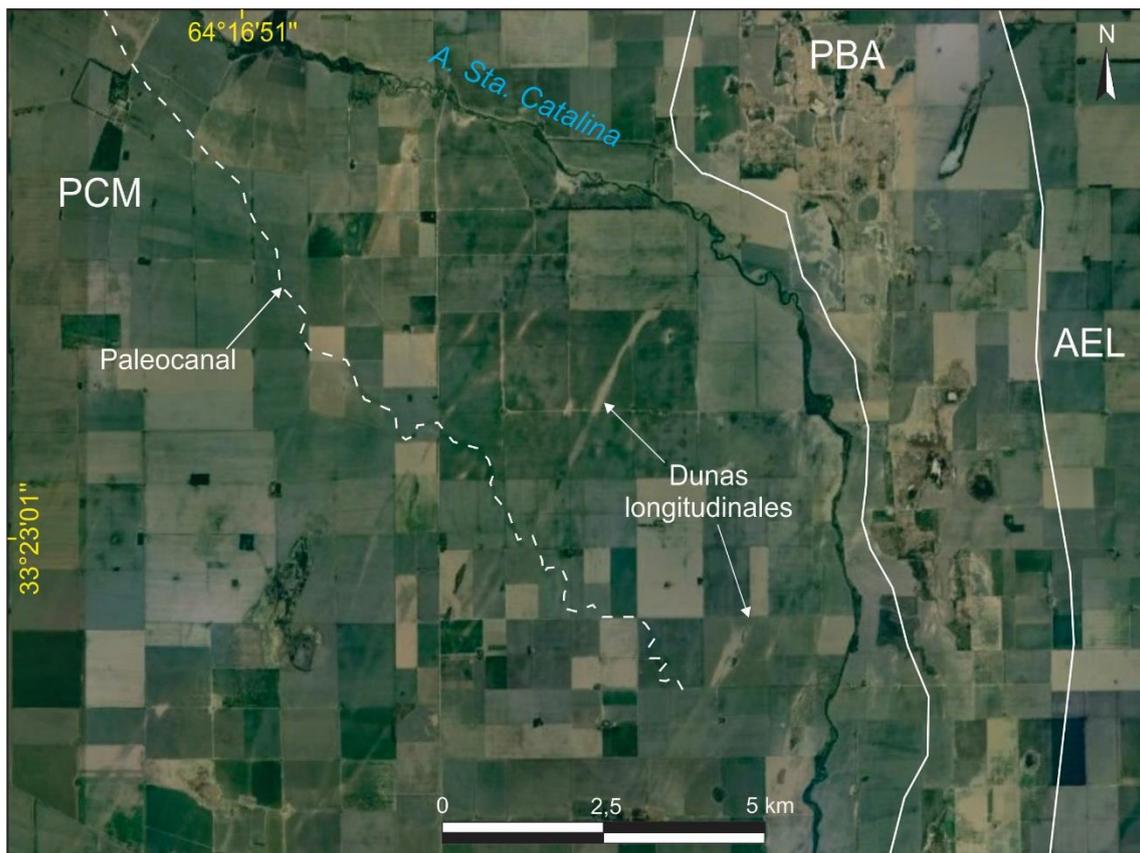


Figura VI.5: Imagen satelital Google Earth© donde se muestran las subunidades de la Depresión del Tigre Muerto. PCM: Paleoderrames con cubierta medanosa. PBA: Paleoderrames con bajos anegadizos. AEL: Alto estructural de Levalle.

3 – Faja fluvial del río Chocancharava/Cuarto

En esta unidad, se reconocen morfologías originadas en la etapa posterior a la incisión del paleoabánico, donde el río Chocancharava/Cuarto ha desarrollado una faja fluvial que incluye diferentes niveles de terrazas generados desde el Holoceno superior, debido a cambios climáticos. La faja más antigua, presenta un ancho mucho mayor que la actual, y correspondería a un período de alta migración lateral, mientras que, en la actual, predomina la incisión. A pesar de este proceso dominante el canal conserva, en algunos tramos una alta tasa de migración de meandros que será tratada en el capítulo VII.

3.1 – Faja antigua del río Chocancharava/Cuarto

Se la reconoce a lo largo de toda la faja fluvial como se muestra en la figura VI.1. Su ancho disminuye aguas abajo y varía desde aprox. 3200 m en proximidades de Estancia San Ambrosio y Reducción, hasta de 800/1000 m en Alejandro Roca (Fig. VI.6). Está representada por un nivel de terraza (T1) muy evolucionado, de relieve plano, donde se reconocen paleocanales y algunos rasgos de divagación de meandros. Está conformada, principalmente, por materiales finos de ambientes de desbordes y/o llanura de inundación y, secundariamente, por sedimentos más gruesos asociados a facies de canal y barras, que presentan en general un importante desarrollo edáfico. Presenta procesos de erosión hídrica en los bordes de terraza y carcavamiento relacionados a paleocanales (Fig. VI.7).

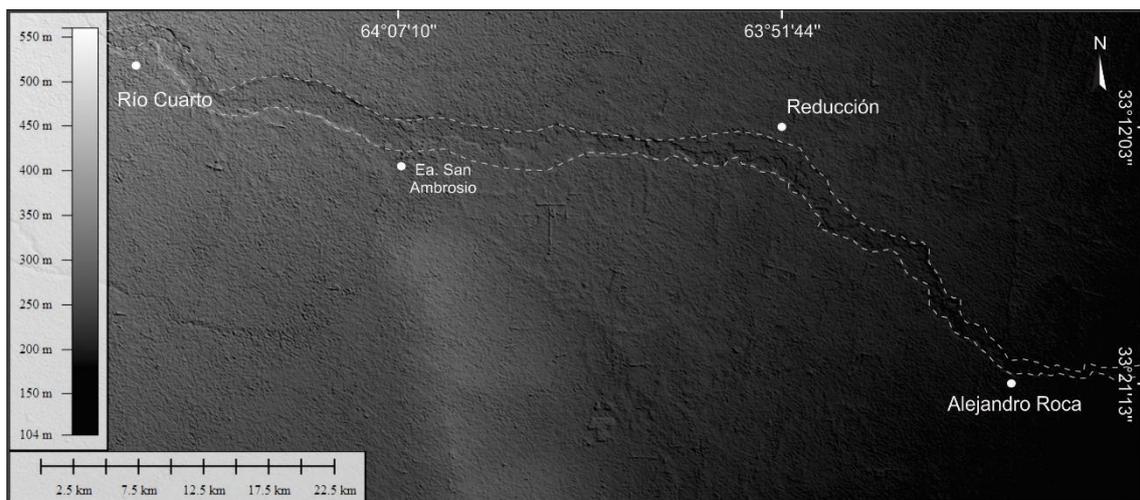


Figura VI.6: Modelo digital de elevación mostrando los límites de la faja fluvial antigua del río Chocancharava.



Figura VI.7: Paleocanal reactivado por carcavamiento dentro de la terraza T1 de la subunidad "faja antigua del río Chocancharava". Las líneas punteadas marcan los límites de esta unidad. LFE: Llanura fluvioeólica.

3.2 – Faja actual del río Chocancharava

En el tramo estudiado esta unidad tiene aproximadamente 82 km de extensión (distancia del valle) y muestra un evidente control estructural, responsable principalmente, de los cambios en la orientación que adopta la faja. Posee un ancho entre 300 y 2000 m y, en algunos sectores, llegando a los 100 m. Se trata de una faja desarrollada por un canal aluvial, con diseño en planta predominantemente meandriforme con sinuosidad variada y, en algunos tramos, rectilíneo con un patrón de canal entrelazado sobreimpuesto. La dinámica migratoria del canal varía notablemente, pudiendo observarse algunos sectores con alta tasa de modificación de meandros, muchos de los cuales están abandonados y ocupados por cuerpos lagunares. Por otro lado, se observan tramos con una estabilidad muy notoria, donde la migración del canal ha sido casi imperceptible en los últimos 50 años. En la faja fluvial actual se reconocen dos niveles de terrazas (T2 y T3).

De acuerdo a la marcada correspondencia entre el contexto morfotectónico descrito en el capítulo anterior, y el hábito que adopta la faja fluvial al atravesar los distintos bloques, es que se decidió dividirla en 3 segmentos: S1, S2 y S3 (Figura VI.1).

S1: se lo asocia al bloque *Río Cuarto* y al sector noroccidental del bloque *Levalle* y se extiende desde el puente Antártida Argentina al SO de la ciudad de Río Cuarto, hasta proximidades de la estancia San Ambrosio. El ancho de la faja varía entre 500 m y 1400 m, con una profundidad de valle promedio de 18 m.

S2: se extiende desde el sitio anterior hasta la localidad de Reducción y correspondería al sector nororiental del bloque *Levalle* y al bloque *Las Acequias*.

Presenta un ancho de faja entre los 300 m y 800 m, y una profundidad de valle promedio de 12 m.

S3: Se lo asocia al bloque *Reducción* y llega hasta la localidad de Alejandro Roca. El ancho de la faja se reduce notoriamente alcanzando entre 100 m y 350m, y una profundidad de valle promedio de 8 m.

3.2.1 – *Cauce actual*

El cauce del río Chocancharava dentro de la zona de estudio tiene un largo de 121 km aproximadamente y un ancho variable entre 140 m, cerca de la ciudad de Río Cuarto, y 20 m en proximidades de la localidad de Alejandro Roca. Desde la primera hasta pocos kilómetros aguas abajo de la localidad de Reducción se explotan áridos del cauce (cantera húmeda con rastrón). Como se indicara precedentemente, posee un diseño dominante meandriforme con sinuosidad, geometría de meandros y estabilidad de canal que varían considerablemente según los tramos definidos (Fig. VI.8), tal como se presentará y analizará en detalle en los capítulos siguientes donde se establecerán relaciones con la pendiente, estructura, litología de márgenes y la disponibilidad de carga tractiva.



Figura VI.8: Variación de sinuosidad y geometría de meandros dentro del tramo medio del río Chocancharava. A) segmento representativo de S1; canal de baja sinuosidad, regular. B) segmento representativo de S2; canal de alta sinuosidad, irregular. C) segmento S3; canal de alta sinuosidad, muy irregular.

La sinuosidad del tramo analizado (s_t) fue de 1,70 para el año 2016, mientras que por segmentos presenta variaciones. Así, el segmento S1 tiene un largo aproximado

de 29 km y una sinuosidad de 1,36. Su diseño en planta es predominantemente meandriforme, con meandros amplios, regulares y con baja estabilidad. Muestra un pequeño tramo rectilíneo con un patrón de canal entrelazado (Fig. VI.9a). Presenta los mayores valores de ancho de canal del tramo de estudio, entre 70 m y 140 m (Fig. VI.9c), debido a los materiales fácilmente erodables de las márgenes y posee un gradiente promedio de 0,32%.

El segmento S2 tiene una longitud de 42 km con una sinuosidad de 1,82 y, al igual que S1, su diseño es meandriforme con algunos tramos rectilíneos de poca longitud (Fig. VI.9b). En este segmento los meandros son más irregulares y moderadamente estables. El ancho de canal varía entre 40 m y 70 m y su gradiente es de 0,2% en promedio.

En el segmento S3 el canal tiene un largo de 50 km aproximadamente y una sinuosidad de 1,86. También posee un diseño meandriforme, con meandros muy irregulares y con grado de estabilidad mayor. El ancho de canal es más reducido que en los anteriores, varía entre 20 m y 50 m (Fig. VI.9d), ya que circula semiconfinado en secuencias cohesivas/cementadas de la Formación Pampiano/Chocancharava y presenta un gradiente promedio de 0,11%

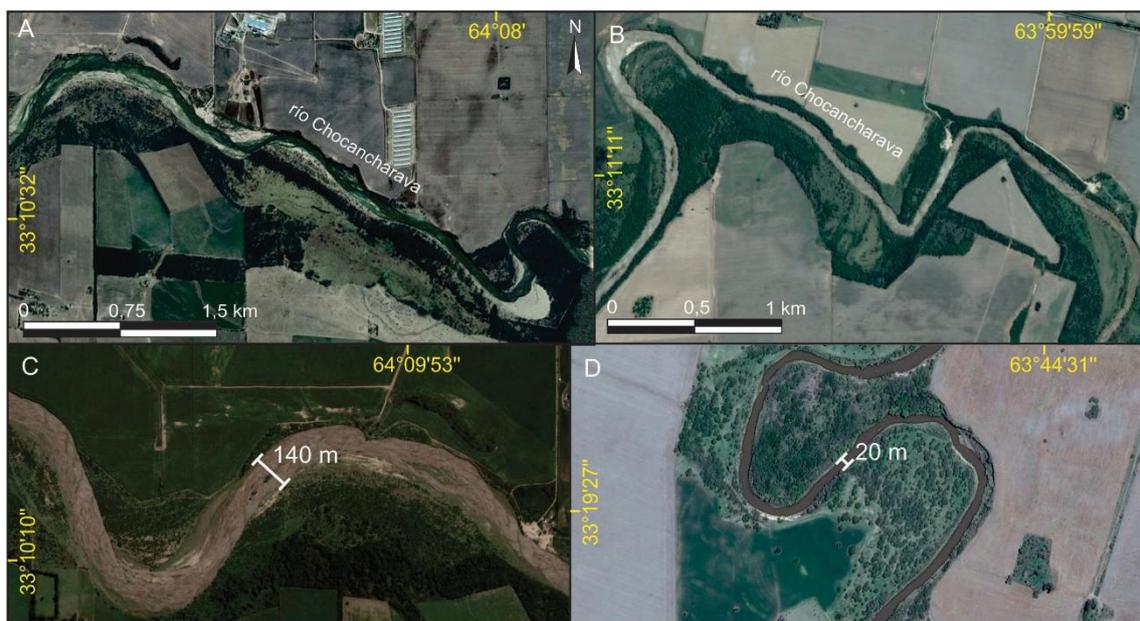


Figura VI.9: Imágenes con distintos patrones y anchos de canal. A) y B) muestran tramos rectos. C) y D) muestran la variación del ancho de canal entre los segmentos S1 y el S3.

La granulometría del lecho/aluvión de fondo es areno-gravosa disminuyendo paulatinamente aguas abajo llegando a arenas medias en proximidades de la localidad de Alejandro Roca. Por consiguiente, la llanura de inundación actual es muy reducida,

y en sectores no se observa. Está representada por el desarrollo de barras en espiras (*point bars*), en los tramos meandriiformes y barras laterales, (en los tramos rectos muy estables). Los segmentos S1 y S2 presentan algunas islas centrales de gran tamaño producto de acortamiento parcial entre espiras (Fig. VI.10).

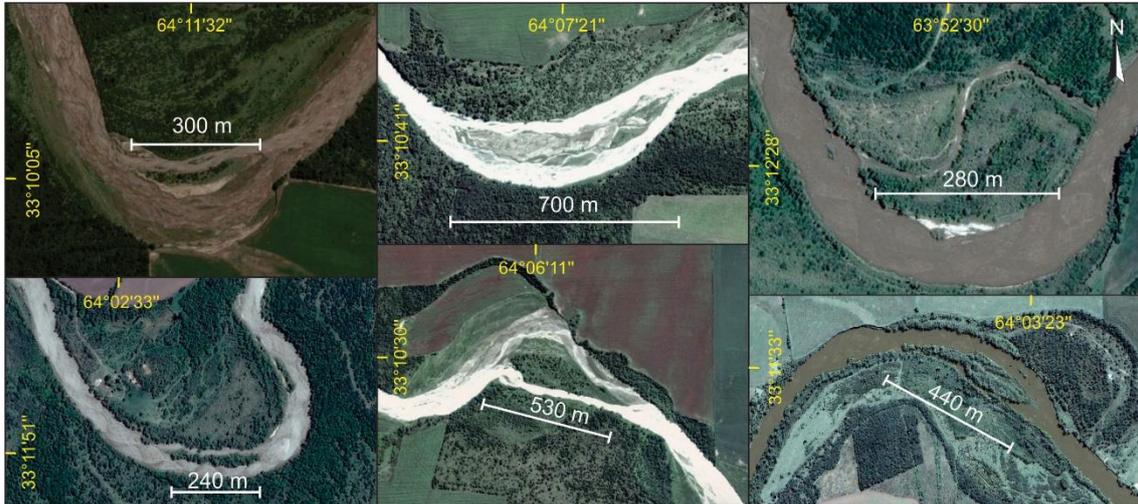


Figura VI.10: Ejemplos de islas centrales en curvas de meandros, muchas de estas generadas por acortamiento entre espiras.

En la figura VI.11 se presentan histogramas del análisis granulométrico (Anexo 1) de las muestras tomadas a lo largo del tramo de estudio. Como se mencionó anteriormente, la granulometría de los materiales de fondo disminuye aguas abajo. Así, F1 presenta granulometría unimodal pobremente seleccionada, con fracción dominante entre 2-4 mm (sábulos) y asimetría a la izquierda. F2 es polimodal con materiales gruesos (arenas medias a gravas). La amplia distribución de la granulometría de los materiales evidencia una pobre selección. En las muestras F3, F4, F5 y F7 la moda es de arenas gruesas con distribución normal, mejor representada en F4 y F7. Por su parte, F6, F8 y F9 presentan granulometrías más finas, con dominio de la fracción arenas medias. Las ultimas 2 muestras muestran una menor distribución lo que denota una mejor selección. Como se mostró en la tabla IV.1 la concentración de sólidos en suspensión aumentos haciendo que el canal pasara de dominante carga de fondo a mixto.

3.2.2 – Terrazas T2 y T3

Los niveles de terrazas T2 y T3 son de menor superficie que T1, presentan morfologías que indican una importante migración de canales meandriiformes y están constituidos por la acreción de barras (*point bars*) y surcos asociados, con canales sinuosos abandonados. El nivel T2 en general tiene una leve pendiente hacia el cauce

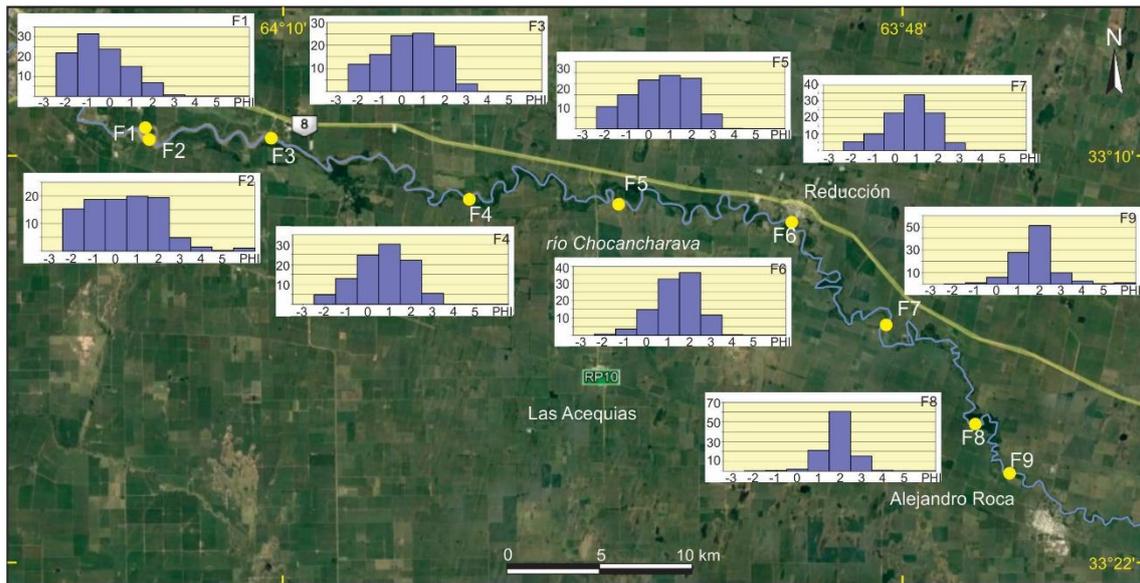


Figura VI.11: Imagen mostrando la ubicación de las muestras de fondo (F1, F2, ...F9) del tramo medio del río Chocancharava, con sus respectivos histogramas exhibiendo la distribución granulométrica.

actual y algunos tramos presenta un desnivel de 2 m aproximadamente con respecto a este último (Fig. VI.13 y 13). Corresponden a materiales areno-gravosos asociados a facies de canal y barras, y sedimentos más finos de llanura de inundación y desbordes.

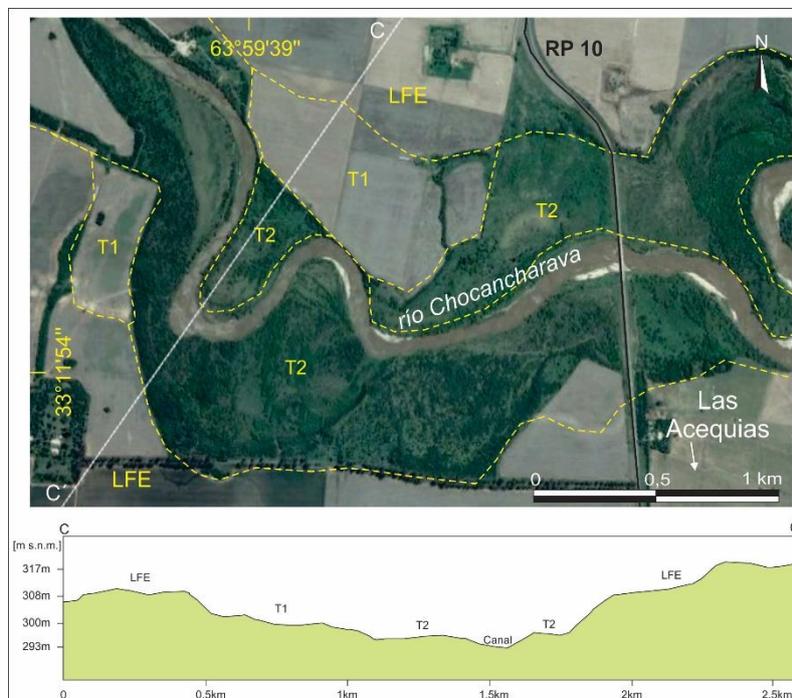


Figura VI.12: Perfil B-B' que muestra dos niveles de terrazas con una marcada asimetría, en cercanía de la localidad de Reducción. LFE: Llanura fluvio-eólica.

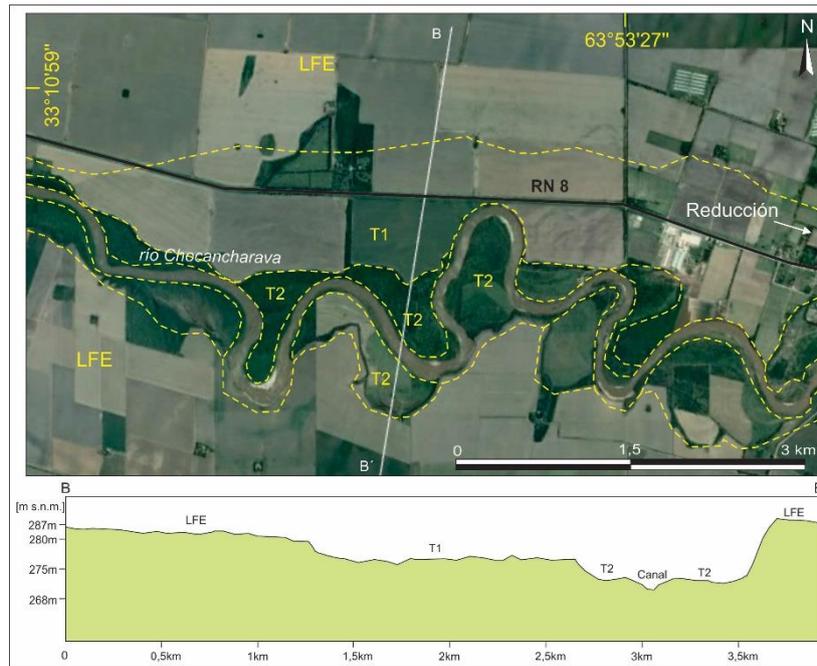


Figura VI.13: Perfil de C-C' que muestra los niveles de terrazas en cercanía de la localidad de Las Acequias. LFE: Llanura fluvio-eólica.

El nivel T3 (Fig. VI.14) aparece aún más discontinua que la anterior y no se puede identificar en toda el área de estudio. Tiene una morfología asociada a la dinámica actual del cauce y es inundable en crecidas extraordinarias. En algunos sectores donde el cauce presenta características meandriformes, tiene mayor desarrollo areal y está conformada por una sucesión de espiras y surcos. En otras zonas, donde el cauce es rectilíneo, su expresión es aún más reducida y evidencia formas vinculadas a la acreción de barras laterales. Aguas arriba, abajo y dentro de la ciudad de Río Cuarto estas son explotadas por la minería de áridos.



Figura VI.14: Imagen mostrando los 3 niveles de terrazas en un tramo meandriforme de alta sinuosidad rectificado naturalmente en 2015, correspondiente al segmento 1.

3.2.3 – Meandros abandonados

Se pudieron reconocer 23 meandros abandonados especialmente en los niveles de terrazas T2 y T3. Varios de ellos son muy antiguos ya que se están totalmente vegetados y estabilizados, mientras que otros son recientes (2004, 2007 y 2015) y se inundan en eventos de crecida de distinta magnitud, donde se almacenan agua y sedimentos (zona buffer). Algunos conforman cuerpos lagunares permanentes por aporte freático. Tienen formas muy variadas, siendo semicirculares a ovaladas de mayor y menor radio de curvatura y amplitud, acampanadas y formas más caprichosas como meandros tortuosos como muestra en la figura VI.15. Un análisis más detallado de su morfometría/evolución se presentará en capítulos específicos.



Figura VI.15: Ejemplos de meandros abandonados antiguos y recientes.

CAPÍTULO VII

MORFOMETRÍA DEL CANAL

VARIACIONES ESPACIO-TEMPORALES

VII.1 - INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza el perfil longitudinal y sinuosidad del canal del tramo del río Chocancharava/Cuarto dentro del área de estudio, efectuando un tratamiento más detallado de la morfometría de meandros y su variación espacio/temporal.

Para poder estudiar la dinámica fluvial, a lo largo de los años, se ha clasificado a los ríos según distintas características hidrológicas, morfológicas, morfodinámicas, entre las principales. Summerfield (1997) clasifica los canales según el sustrato por el que discurren, como rocosos, aluviales o mixtos (semiconfinados). Los canales aluviales tienen márgenes y lecho compuestos por sedimentos que transporta el río y, la forma del canal (en planta, perfil longitudinal y transversal) depende de cómo varían ciertos factores vinculados a la hidráulica: disponibilidad de sedimentos, pendiente, caudal, entre otros. El río Chocancharava/Cuarto presenta en el tramo de estudio características que corresponden a un río aluvial.

El diseño en planta o patrón de 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 relación con los cambios que operan en la dimensión transversal y longitudinal (Leopold, 1995). La clasificación de los tipos de canales según su patrón depende de la variable de mayor significancia. La clásica y más frecuente clasificación usada es la de Leopold y Wolman (1957) que define tres patrones básicos: rectos, meandriformes y entrelazados, se basa en el caudal y el gradiente. Los dos primeros poseen canal único diferenciándose por el índice de sinuosidad (recto $< 1,5$; meandriforme $> 1,5$), 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, meandriforme 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, entre otros.

El diseño meándrico es el predominante en la naturaleza porque representa el modo más eficiente de distribuir y disipar la energía dentro del sistema fluvial (Leopold, 1995). El elemento geomorfológico básico de este diseño es el meandro el cual se describe observando sus parámetros geométricos: longitud de onda, amplitud y radio de curvatura (Fig. VII.1). Un corte transversal de un meandro presenta un característico perfil asimétrico: en la margen interna, la pendiente es más suave debido a menor energía del flujo que favorece la sedimentación, generando acreción lateral en forma de espiras (*point-bars*); mientras que en la margen externa la energía es mayor y los procesos dominantes son erosivos, generando taludes de mayor pendiente, subverticales.

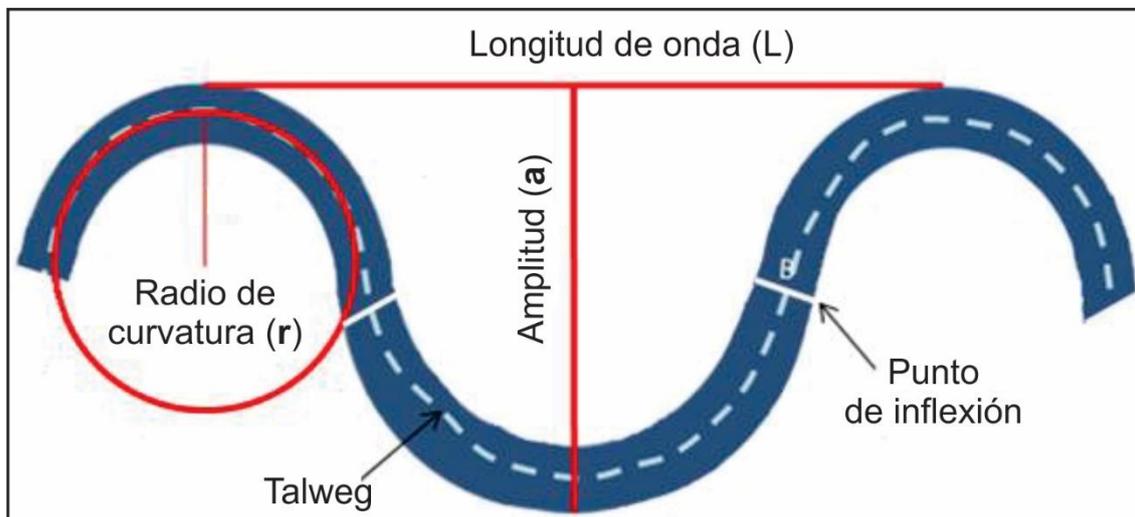


Figura VII.1: Parámetros geométricos de un canal meándrico (vista en planta). Modificado de Gallego *et al.* (2014).

Otro aspecto que brinda información en relación a variables de control y funcionamiento de un sistema fluvial es el perfil longitudinal de un río, el cual representa la variación de la cota del canal (H) respecto a la distancia (L), y se expresa como $H = f(L)$. El perfil longitudinal tiende a aproximarse al perfil de equilibrio del sistema y su representación más probable es una curva exponencial (Leopold y Langbein, 1962; Morris y Williams, 1999; Knighon, 1999)

VII.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DEL DISEÑO EN PLANTA

Tal como ya se expresara, en este capítulo serán analizados parámetros relacionados al diseño meandriforme del canal de los segmentos definidos (Cap. VI), considerando los ambientes morfotectónicos (mapa geomorfológico, Fig. VI.1). Para complementar las interpretaciones se analiza el perfil longitudinal del tramo estudiado.

VII.2.1 Sinuosidad

El cambio de la sinuosidad s en el tiempo, es un parámetro representativo de la tasa de migración del canal, expresada mediante un índice que muestra la relación entre la longitud del canal medido por el *talweg* Lc y la longitud del valle Lv (Leopold y Wolman, 1960), siendo:

$$s = \frac{Lc}{Lv}$$

En la tabla VII.1 se muestra la sinuosidad promedio (s_t) de todo el tramo estudiado para los años 1984, 2004 y 2016, y la sinuosidad de cada segmento en particular para estos años. La s_t muestra un incremento desde 1,55 para 1984 a 1,70 en 2016, mientras que s_1 , s_2 y s_3 , muestran mayores variaciones. Para todo el período los 3 segmentos presentan una marcada diferencia, S1 es el de menor sinuosidad, S2 y S3 posee valores elevados. En la Tabla VII.1 y figura VII.2 se observan incrementos desde 1984 a 2004 para los tres segmentos y disminución desde 2004 a 2016 en S1. S3 no presenta cambios importantes entre el 2004 y 2016 manteniendo prácticamente el mismo valor.

Tabla VII.1: Índices de sinuosidad promedio (s_t) de todo el tramo de estudio del río Chocancharava y por segmentos (s_1 , s_2 y s_3) para los años 1984, 2004 y 2016.

Año	Segmento	Long. Canal [m]	Dist. Valle [m]	Sinuosidad	
1984		115581	74406	s_t	1,55
	1	27494	21746	s_1	1,26
	2	38900	24711	s_2	1,57
	3	49187	27949	s_3	1,76
2004		124047	73765	s_t	1,68
	1	29921	21800	s_1	1,37
	2	43192	24377	s_2	1,77
	3	50934	27588	s_3	1,85

2016		125212	73688	S_t	1,70
	1	29503	21720	S ₁	1,36
	2	44423	24368	S ₂	1,82
	3	51286	27600	S ₃	1,86

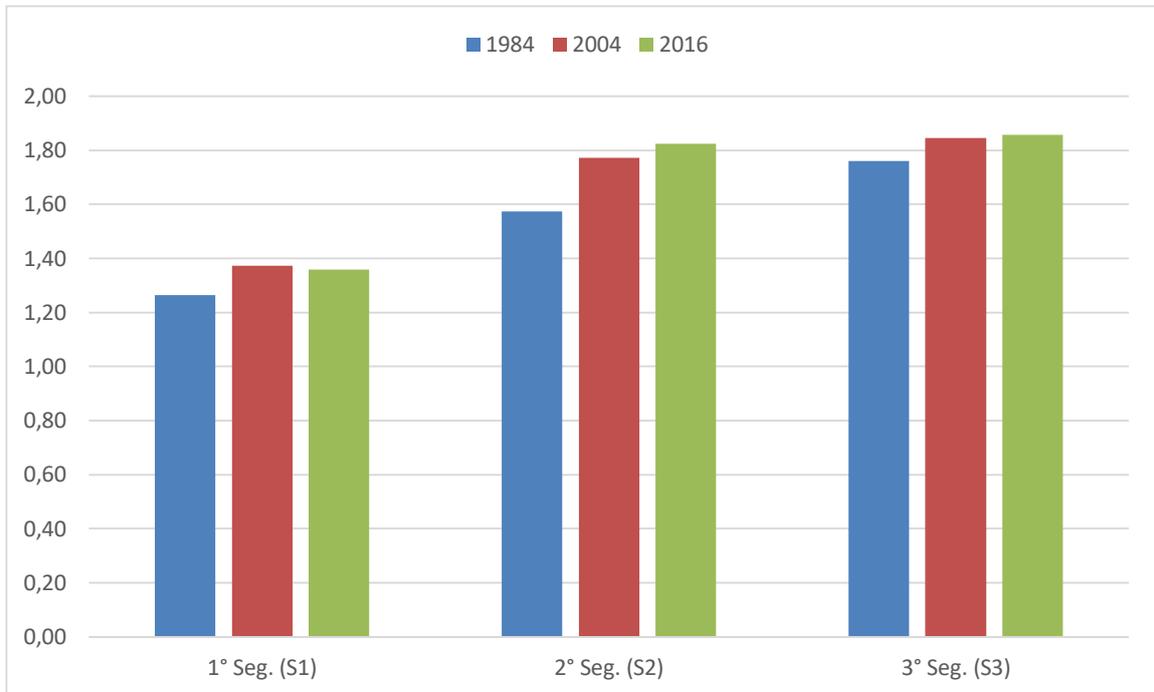


Figura VII.2: Variación temporal de la sinuosidad por segmentos del tramo medio del río Chocancharava.

VII.2.2 Amplitud, longitud de onda y radio de curvatura de los meandros

En el tramo estudiado el río presenta 120, 118 y 116 meandros en los años 1984, 2004 y 2016, respectivamente. Los mismos fueron enumerados en orden creciente en sentido aguas abajo (Fig. VII.3, 4 y 5) iniciando en el año 1984. Cuando, en los años 2004 y 2016, se generaron nuevos meandros se les asignó un número sucesivo al último meandro de 1984 (Ej. 121, 122, etc.) y, cuando de un meandro existente se generaron dos (por lobulamiento) se les asignó el número del meandro previo y una letra (Ej.: 69a; 69b). A todos los meandros se les midió la amplitud, longitud de onda y radio de curvatura, se los analizó y comparó por segmentos y años. Estos datos se muestran en las tablas del anexo 2 y se los resume con diagramas de cajas en las figuras VII.6, VII.10 y VII.11.

Amplitud (a)

Es un parámetro que mide la distancia transversal a la dirección media del río, tomada desde el ápice del lóbulo hasta el centro de su longitud de onda, dando idea del espacio ocupado por las curvas del río en su desplazamiento lateral. Figura VII.1 (Gallego *et al.*, 2014).

Longitud de onda (L)

Este parámetro es la distancia que une en línea recta dos ápices alternos, medida desde el centro del canal. Figura. VII.1 (Gallego *et al.*, 2014).

Radio de curvatura (r)

Corresponde a la distancia entre el centro de curvatura del círculo que contiene al meandro y el *talweg*, (Gallego *et al.*, 2014). Para la obtención de los valores de este parámetro se trazaron círculos en cada meandro y se obtuvo el radio de cada uno (Fig. VII.1). Como ocurre frecuentemente, cada meandro presenta una evolución morfológica compleja, da lugar a varios puntos medios desde donde pueden medirse otros tantos radios de curvatura; en este caso, el valor considerado correspondió al promedio de ellos.

Los 3 segmentos definidos en la sección VI.3.2.1, tienen diferente longitud y número de meandros (N). S1 es el segmento más corto, con 29 km de largo y un N entre 23 y 24 (ya que también varía temporalmente), S2 tiene una longitud de 42 km y N=38, mientras que S3, tiene mayor longitud y N, 50 km y 54 - 59 meandros, respectivamente. Este último presenta la mayor variación de N entre los años 1984 y 2016.

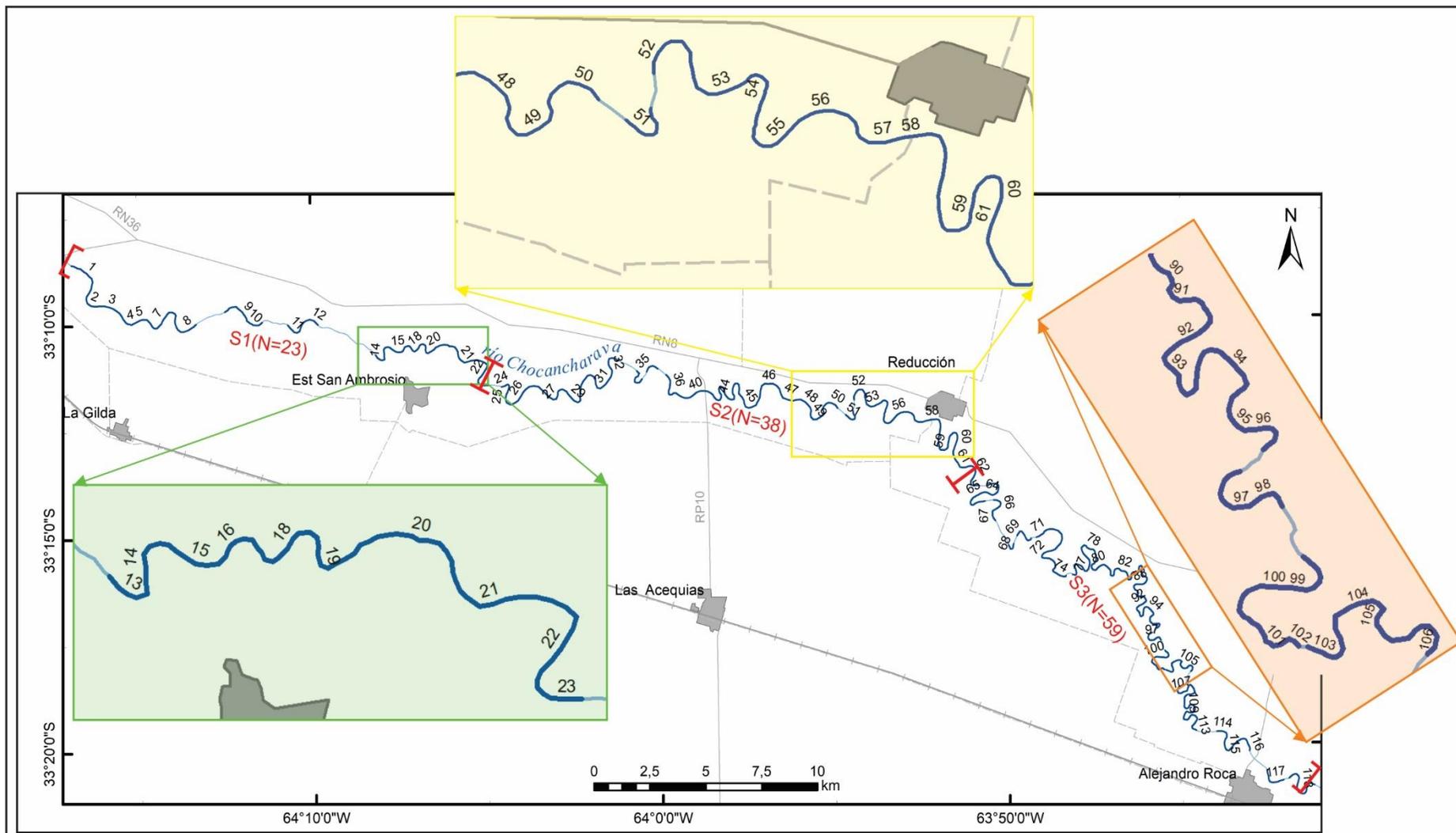


Figura VII.3: Identificación de meandros del tramo medio río Chocancharava para el año 1984. En recuadros detalles de tramos representativos de los distintos segmentos de canal. N, corresponde al número total de meandros por segmento.

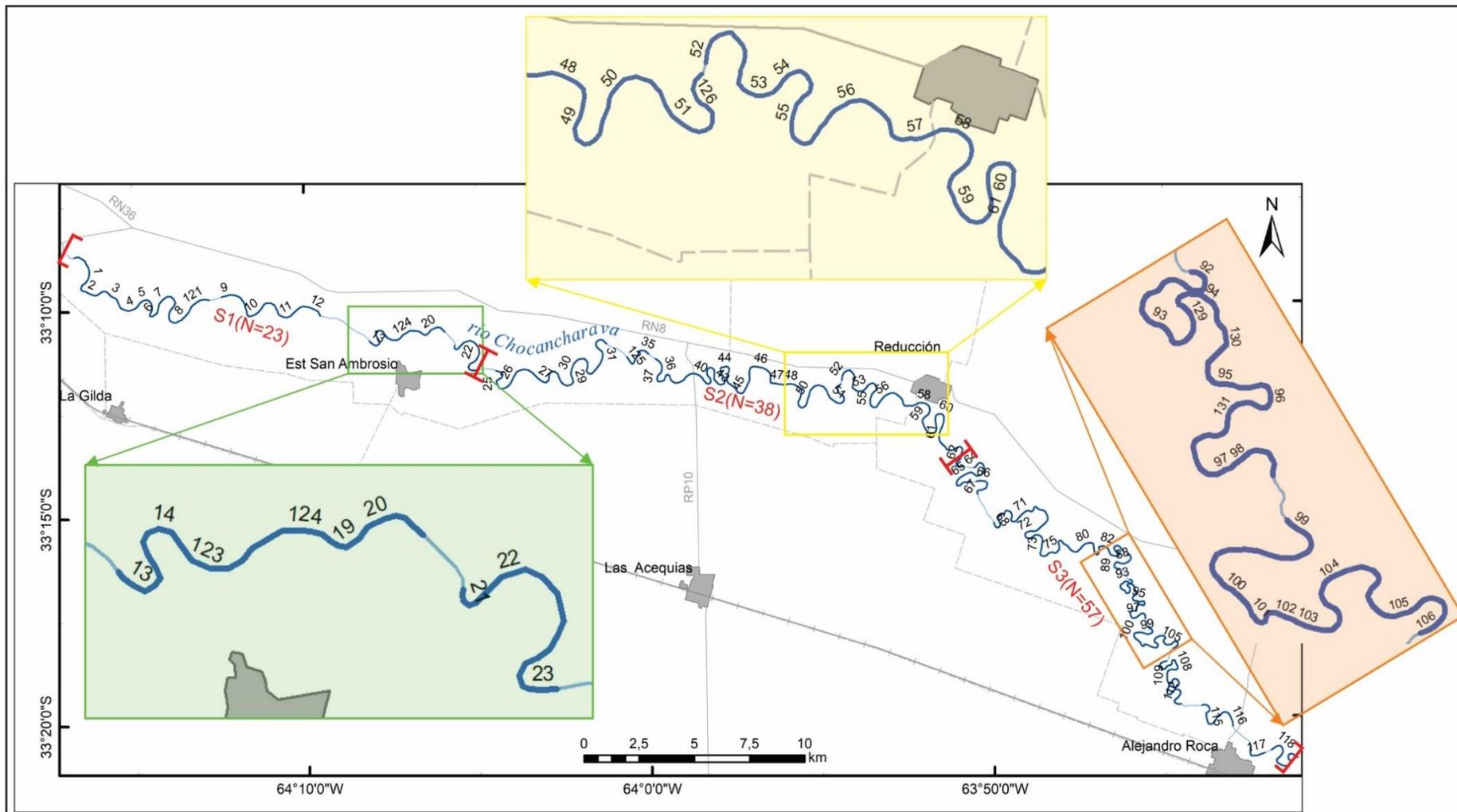


Figura VII.4: Identificación de meandros del tramo medio río Chocancharava para el año 2004. En recuadros detalles de tramos representativos de los distintos segmentos de canal. N, corresponde al número total de meandros por segmento.

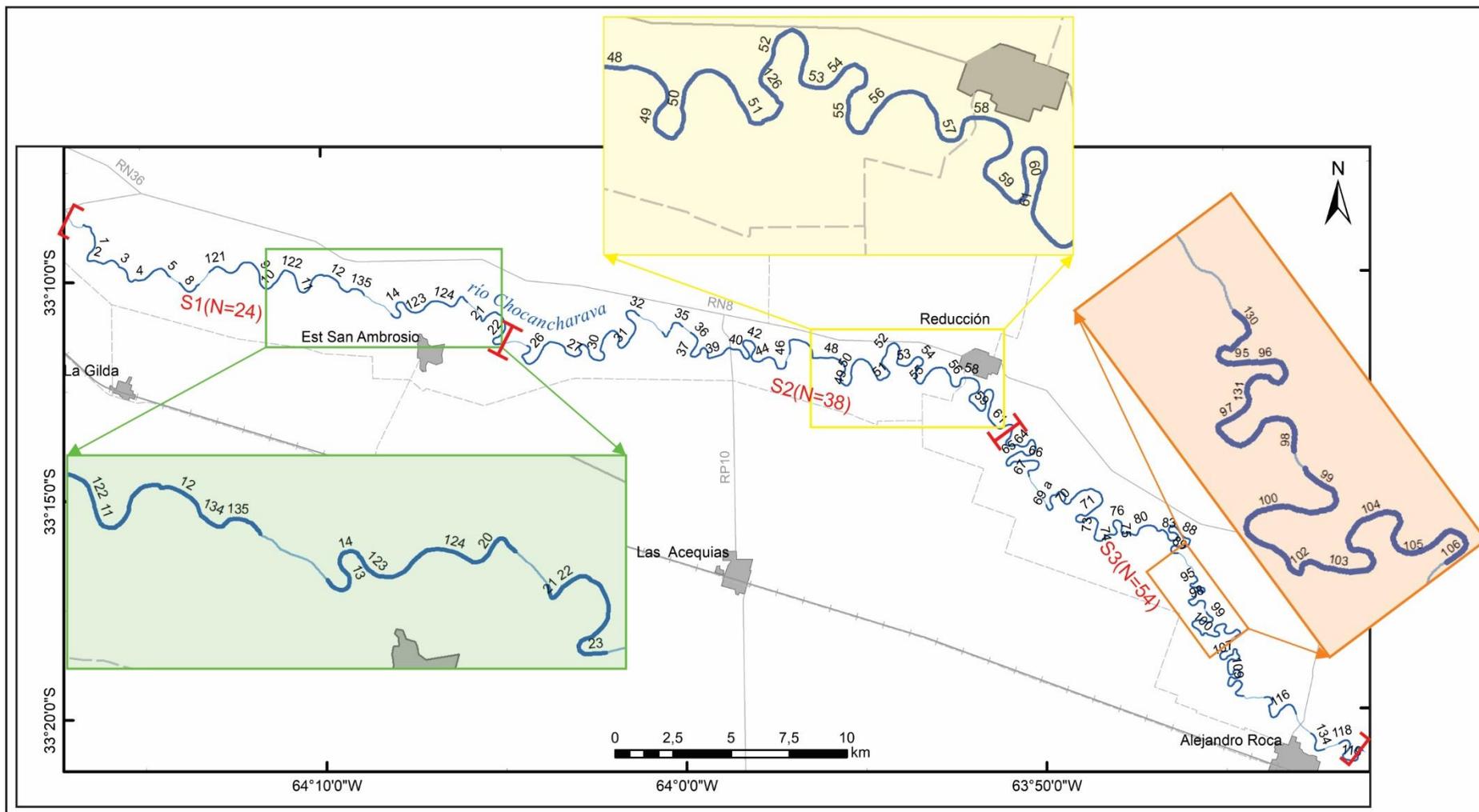


Figura VII.5: Identificación de meandros del tramo medio río Chocancharava para el año 2016. En recuadros detalles de tramos representativos de los distintos segmentos de canal. N, corresponde al número total de meandros por segmento.

En la tabla VII.2 se presentan los estadísticos descriptivos de los parámetros morfométricos medidos para todo el tramo estudiado. Para estos cálculos fueron depurados los valores anómalos, aun así, el coeficiente de variación muestra que los datos tienen una amplia distribución. En la figura VII.6 se presentan los resultados en diagramas de caja.

Tabla VII.2: Estadístico descriptivos principales de la amplitud, longitud de onda y radio de curvatura del total de meandros del tramo medio del río Chocancharava, en diferentes años.

	AÑO	N	Min. (m)	Max. (m)	PROMEDIO	DESVÍO ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
AMPLITUD	1984	120	91	1095	457,63	203,11	0,44
	2004	118	102	1110	520,31	201,68	0,39
	2016	116	92	1140	514,37	217,83	0,42
LONGITUD DE ONDA	1984	120	209	2063	871,07	317,27	0,36
	2004	118	223	2083	864,74	331,69	0,38
	2016	116	250	1910	877,51	328,45	0,37
RADIO DE CURVATURA	1984	120	64	520	209,51	97,50	0,47
	2004	118	48	530	222,94	93,33	0,42
	2016	116	53	550	231,27	98,67	0,43

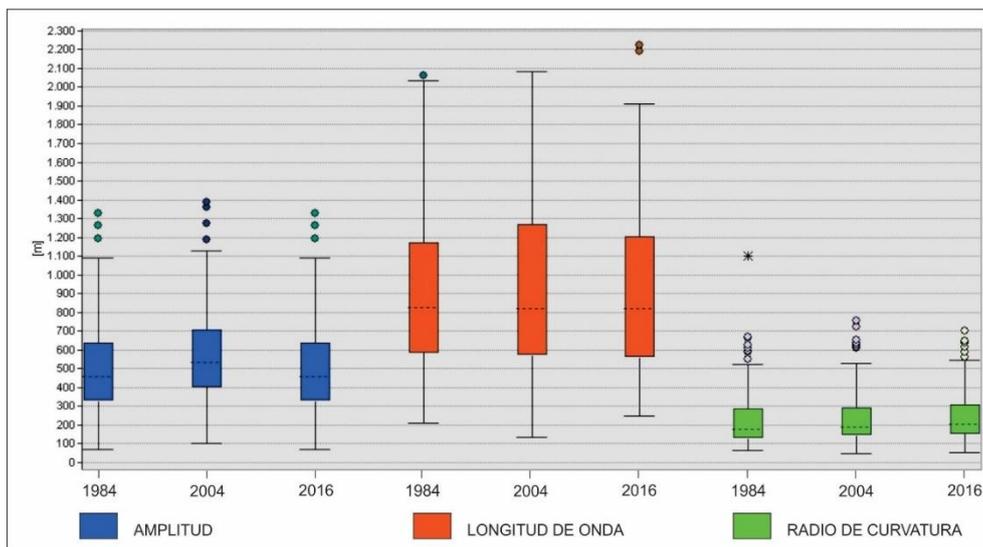


Figura V.II.6: Diagramas de caja donde se visualizan los valores de los tres parámetros de meandros del tramo medio del río Chocancharava, años 1984, 2004 y 2016.

Considerando los resultados (Tabla VII.2 y Fig. VII.6) se observa que la amplitud (a) de meandros varía entre 91 y 1140 m con una media del orden de 450-520 m en el

período analizado (1984 – 2016). La longitud de onda (L) muestra una media muy regular, entre aproximadamente 865 y 880 m, con valores que varían entre 210 y 2100 m, siendo éste el parámetro con la mayor dispersión de datos, especialmente para el año 2004. El radio de curvatura (r) presenta poca variación en el periodo analizado con valores entre 50 y 550 m, con una media del orden de 210-230 m. *a* y L muestran una distribución prácticamente normal con una mediana bastante centrada, mientras que el r muestra un sesgo positivo, por lo que el 50% de los datos tienen valores más altos y dispersos. Este último presenta cajas de menor tamaño lo que refleja una menor dispersión de los datos. Contrario a esto, L presenta las cajas de mayor tamaño y una amplia dispersión. Tanto la *a* como el r presentan varios valores atípicos (*outliers*), siendo para la amplitud muy similares en todo el periodo. En general el tramo presenta meandros de moderada estabilidad, predominantemente irregulares y asimétricos, aunque estas características varían según los segmentos analizados.

En la figura VII.7 se muestran los valores de los radios de curvatura para los distintos años y por segmento, agrupados en 5 intervalos según su tamaño. Se observa para los años analizados, que en el tramo de estudio los valores de radio de curvatura disminuyen hacia aguas abajo. En general son más grandes aguas arriba, en el centro muestran mayor dispersión y aguas abajo predominan radios más pequeños. También puede observarse que S1 para 1984 presenta un amplio rango de valores, desde 100 m, a más de 400 m, predominando los intervalos de 100-200 m y 300-400 m. En 2004 este segmento muestra un marcado aumento de radios de curvatura, pasando a ser los valores mayores a 400 m los dominantes. Para el 2016 los intervalos de 300-400 m y >400 m son los que predominan, debido a una disminución de estos últimos. El segmento S2 presenta valores muy variados para los tres años analizados, dominando los intermedios, aunque para el 2004 se observa como disminuyó la cantidad de meandros con radios >400 m. Por otra parte, S3 exhibe un claro predominio de radios más chicos (inferior a 200 m) en los 3 escenarios temporales, aunque puede observarse como algunos meandros disminuyen el radio entre 1984 y 2004, y aumentan entre 2004 y 2016. A partir de esta figura es notable la diferencia entre los 3 segmentos, siendo S1 el segmento con mayor variación temporal en los valores de radio de curvatura, S2 presenta una mayor dispersión de estos valores, variando en el tiempo, pero siempre con un predominio de valores intermedios y S3 es el tramo donde los valores de radio de curvatura se mantuvieron más estables, dominando los menores a 200 m.

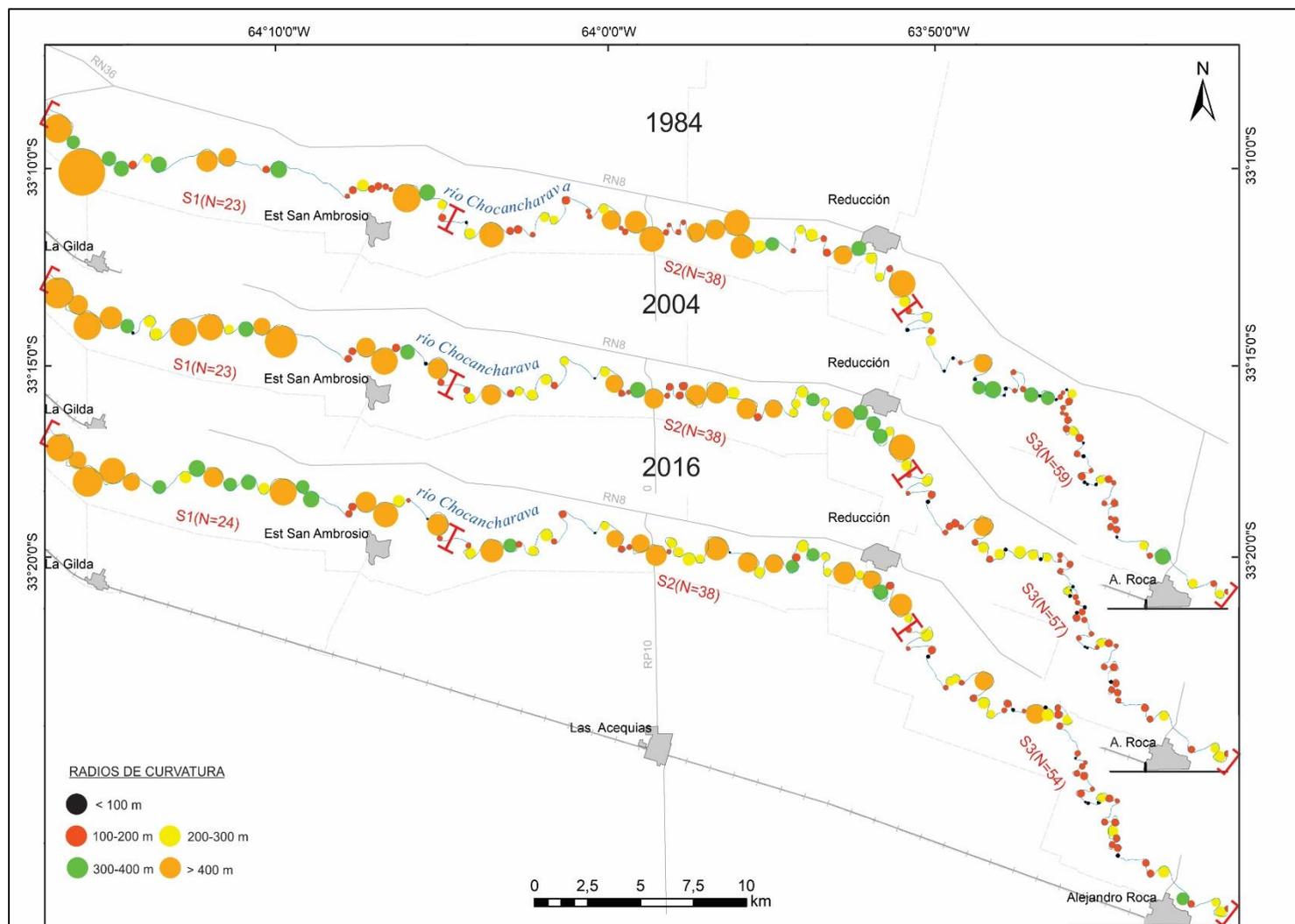


Figura VII.7: Clasificación de meandros según radios de curvatura, tramo medio del río Chocancharava, para los años 1984, 2004 y 2016.

En las Fig.VII.8, 9, 10 y 11 se presentan los resultados de los parámetros morfométricos *amplitud (a)*, *longitud de onda (L)* y *radio de curvatura (r)*, en diagramas de caja agrupados de diferente forma, para facilitar la visualización e interpretación de los cambios espacio- temporales en el tramo estudiado.

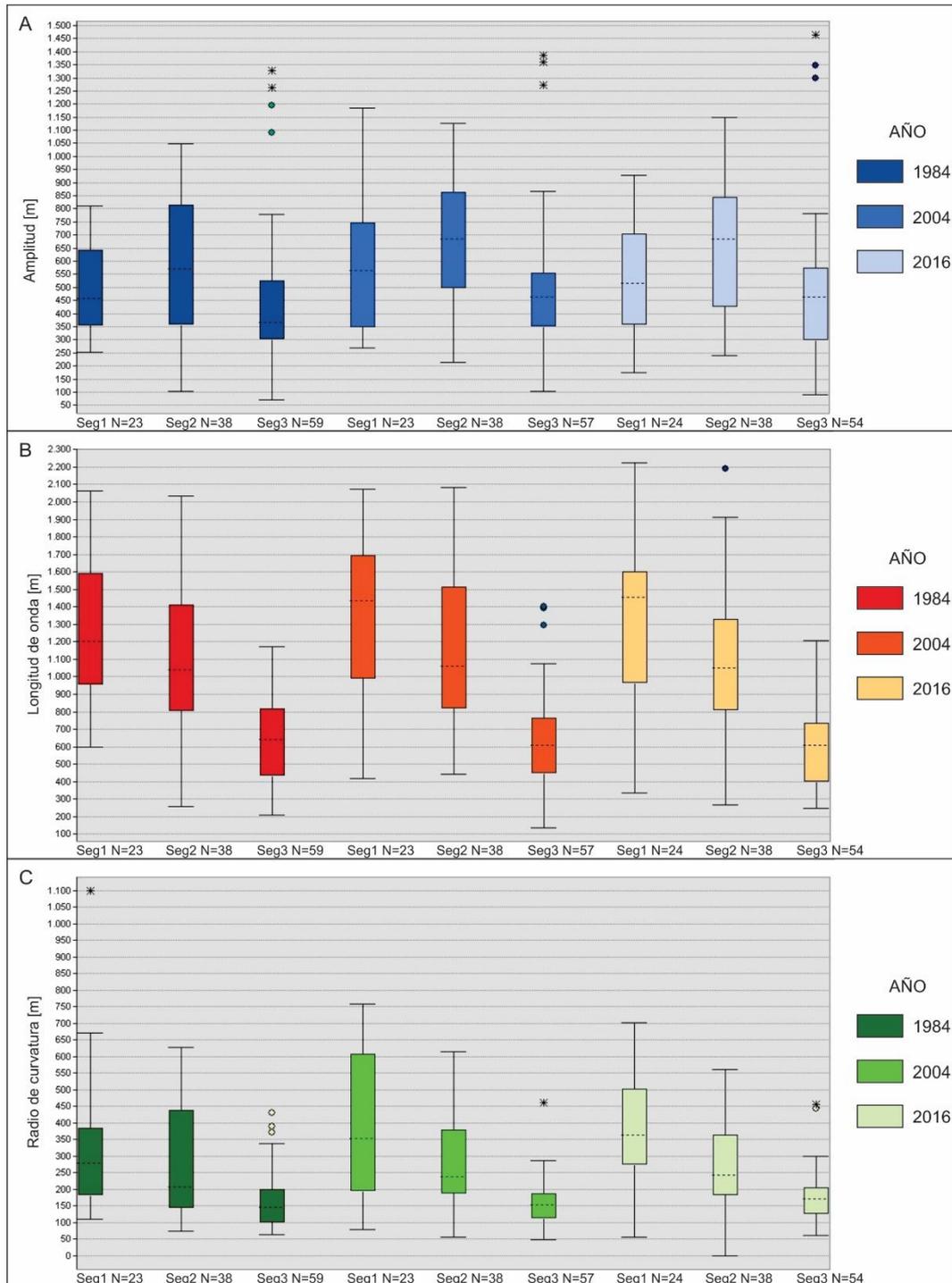


Figura VII.8: Diagramas de caja donde se visualizan los valores de A) amplitud, B) longitud de onda y C) radio de curvatura de meandros del tramo medio del río Chocancharava, agrupados por año y subdivididos por segmentos. N: número de meandros.

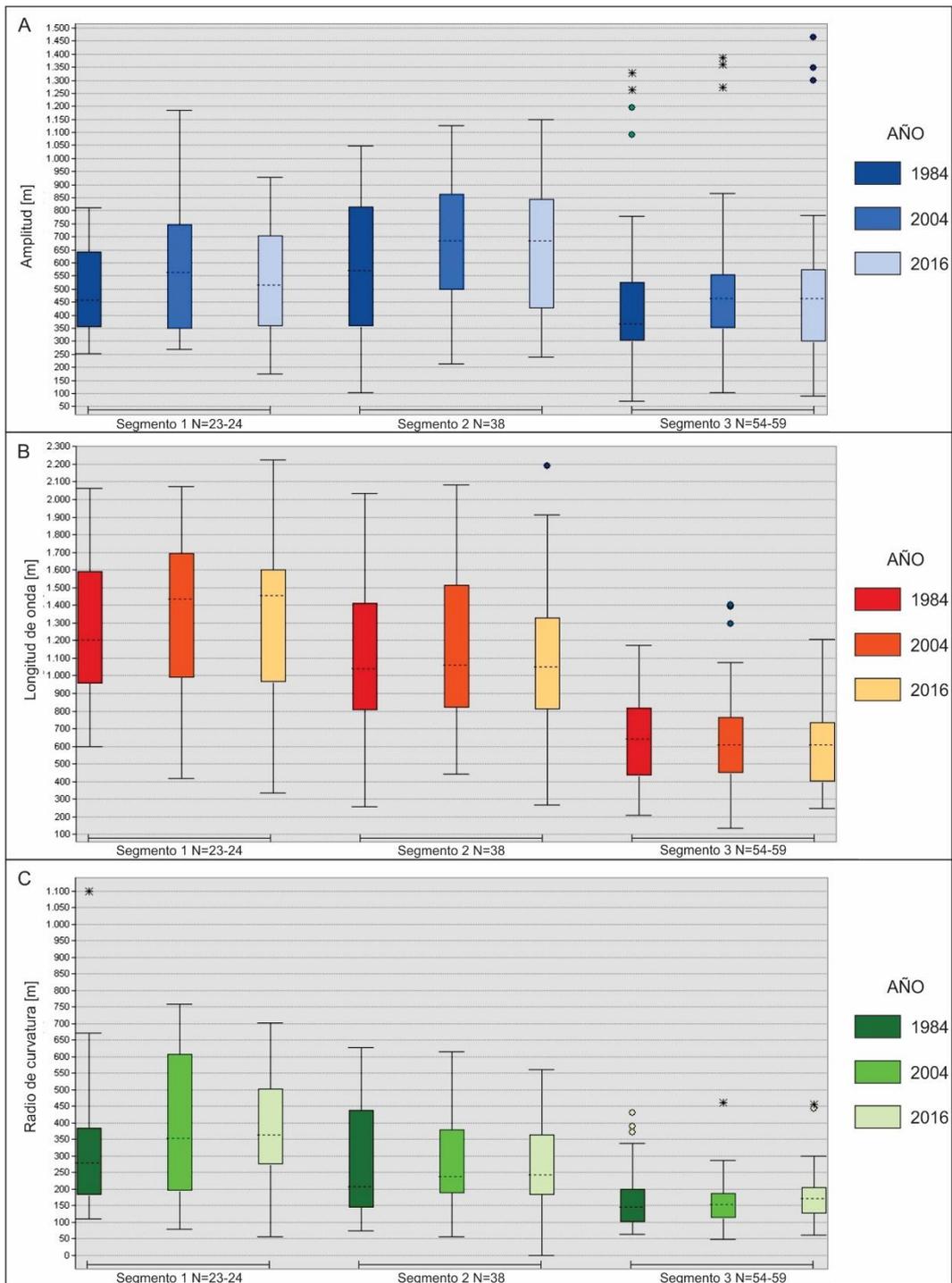


Figura VII.9: Diagramas de caja donde se visualizan los valores de A) amplitud, B) longitud de onda y C) radio de curvatura de meandros del tramo medio del río Chocancharava, agrupado por segmentos y subdividido en diferentes años. N: número de meandros.

En las Figuras VII.8. y VII.9, se observa que todos los parámetros geométricos muestran una alta distribución de valores y que, en general, en todas las series temporales, las

medianas de la longitud de onda y radio de curvatura disminuyen de S1 a S3, mientras que la amplitud es siempre mayor en S2.

Amplitud (**a**)

La variación espacial de la amplitud por año se presenta en la Figura VII.8.A, donde se observa que, para los tres años considerados, en 1984 todos los segmentos exhiben el valor más bajo de la mediana, la cual incrementa notoriamente en el año 2004 y, prácticamente, se mantiene sin cambios en 2016. En el primer año las medianas varían desde 450, 565 y 360 m de S1 a S3, respectivamente. Los diagramas de caja muestran la distribución más simétrica de la serie, aunque se observa un sesgo positivo más marcado en el S1 y especialmente en S3, con valores outliers que alcanzan de 1100 a 1350 m, mostrando más variabilidad en esos segmentos. En el año 2004, la mediana alcanza valores de 560, 685 y 460 m desde S1 a S3, respectivamente, siendo más centradas a excepción de S3, que muestra un leve sesgo negativo. El cambio más notorio ha ocurrido en el S1, con un incremento de los valores máximos, de la asimetría en la distribución y variabilidad de los datos. En el año 2016, los valores de mediana son similares al 2004, a excepción del S1 que presenta una leve disminución y una distribución más simétrica del diagrama. Otro aspecto a destacar es que en S2 y S3 la mediana muestra un leve sesgo negativo.

En la Figura VII.9.A, se observa la variabilidad temporal de la amplitud por segmento. Así, S1 presenta mayores cambios, evidenciados por el rango entre valores mínimos y máximos, mientras que en S2 hay un leve incremento de estos valores, pero manteniendo similar rango de variabilidad en el período analizado, con una mediana que pasa de presentar leve sesgo positivo a negativo. Por su parte S3, si bien presenta valores *outliers*, exhibe las cajas de menor tamaño, aunque con mayor variabilidad en el año 2016.

En general todo el tramo presenta un aumento de amplitud entre los años 1984 y 2016, excepto S1 que disminuye levemente (2016). En S2 y S3 los meandros son más elongados, con mayor relación L/a , siendo generalmente más pequeños en S3, a excepción de algunos que corresponden a los valores anómalos. Mientras que S1 se caracteriza por meandros amplios con menor relación L/a (Fig. VII.12).

Longitud de onda (L)

Como se observa en la Figura VII.8.B, donde se muestra cómo varía espacialmente la longitud de onda en diferentes años, los valores de la mediana se

mantienen similares en S2 y S3 (1050 y 600 m, respectivamente), mientras que S1 muestra mayor variabilidad, incrementando de 1200 m (1984) a 1450 m (2004 y 2016). A diferencia del comportamiento de la amplitud, este parámetro presenta muy pocos valores *outliers*.

En general, en el año 1984, se registra una distribución más simétrica y la mediana presenta un ligero sesgo positivo en S1 y S2, mientras que en 2004 y 2016 muestra un sesgo marcadamente negativo, con una disposición más asimétrica.

Por otra parte, en la Figura. VII.9.B, se observa, claramente, que S1 presenta la mayor variabilidad temporal de la longitud de onda, mostrando un incremento de la mediana desde 1200 a 1450 m desde 1984 a 2016, así como también un aumento del rango de valores y un cambio en la posición de la mediana con un marcado sesgo negativo. A su vez, en S2, la mediana se mantiene en el orden de 1050 m en los años analizados, siempre con sesgo positivo y mayor amplitud de caja en el año 2004. En S3, los valores de la mediana se mantienen en el orden de 600 m, presentando la menor variabilidad y dimensión de la caja, con una posición más centrada de la mediana. Los mayores cambios en este segmento se observan en el año 2004 con valores *outliers* positivos.

Este parámetro disminuye de S1 a S3 en todos los escenarios temporales analizados, aumentando sus valores promedios entre el año 1984 y 2004, los que se mantienen sin variaciones importantes hasta el 2016. S2 y S3 son más uniformes y como se mencionó anteriormente presentan mayor relación L/a , donde los meandros son más angostos, a diferencia de S1 donde estos son generalmente bastante amplios con menor L/a y mayor variabilidad.

Radio de curvatura (r)

En la Figura VII.8.C se presentan las variaciones espaciales en los radios de curvatura para los años 1984, 2004 y 2016. El valor de la mediana decrece marcadamente desde S1 hacia S3 en los tres años analizados, observándose valores *outliers* en todos los años, en S3 y, sólo en 1984, para S1. En general, se observa que los años 2004 y 2016 tienen una mediana muy similar en los tres segmentos (S1=350 m y S2=240 m), aunque S3 (150/175 m) presenta valores más disímiles, siendo más elevado en el año 2016. En líneas generales, en el año 2004, presenta mayor dispersión de datos el segmento S1.

En relación a la variación temporal del radio de curvatura, en los diagramas de caja de la Figura VII.9.C puede observarse que S1 presenta el mayor valor de la mediana en los tres años analizados, la cual incrementa desde 280 hasta 360 m. Por otra parte, este segmento tiene en general una mayor dispersión de datos, distribución asimétrica de las cajas en 1984 y 2004, con una mediana centrada (1984) o con leve sesgo positivo (2004 y 2016).

En S2, la distribución es marcadamente asimétrica positiva, la mediana incrementa desde 210 a 240 m mientras que, S3 no sólo presenta menor dispersión de los datos, sino que estos se distribuyen de forma más simétrica en torno a la mediana que varía desde 150 a 170 m, en los tres años analizados. Estos datos pueden corroborarse en el mapa de la Figura VII.7, donde se visualiza la distribución espacial del radio de curvatura para los tres segmentos en los diferentes años analizados.

En general el S1 presenta meandros más grandes con alto radio de curvatura, con cierta uniformidad en 1984 y 2016, mientras que en 2004 el tamaño de los meandros es más variado. Este segmento muestra la mayor variabilidad temporal de los 3. En S2 predominan meandros de tamaño intermedio, no presenta uniformidad tanto espacial como temporal. En el tercer segmento dominan meandros pequeños, muy uniformes, con bajo radio de curvatura y estas características se mantienen en general en los tres años analizados, aunque en 1984 se observan algunos meandros mayores que se reflejan en la mayor asimetría del diagrama de cajas y en los valores *outliers*.

Analizados de manera conjunta los valores de la mediana de la amplitud, longitud de onda y radio de curvatura en los distintos segmentos y años considerados (Figura VII.10 y 11), se observa lo siguiente:

-1984: Los meandros del S1 son los que presentan mayor longitud de onda, y radio de curvatura, pero una amplitud intermedia. Por su parte, los del S2, son meandros más extendidos (aprox. 30%), con una longitud de onda y radio de curvatura inferiores (aprox. 10% y 25% respectivamente). El S3 presenta meandros marcadamente diferentes, en general de menores dimensiones donde los parámetros morfométricos disminuyen en el orden de 30-45% respecto al segmento anterior.

-2004: Se registra un incremento de todos los parámetros morfométricos en los tres segmentos, pero con valores más notorios en el S1 donde *a*, *L* y *r* aumentan 20-30 y 35% respectivamente, con lo cual se mantiene su morfología. En S2 se observa una moderada extensión e incremento del radio de curvatura (aprox. 15% en ambos casos), manteniendo similar el valor de *L*. Finalmente S3, muestra el mayor incremento en

amplitud (aprox. 40%), una leve reducción de L (<10%), mientras que el radio de curvatura mantiene su valor.

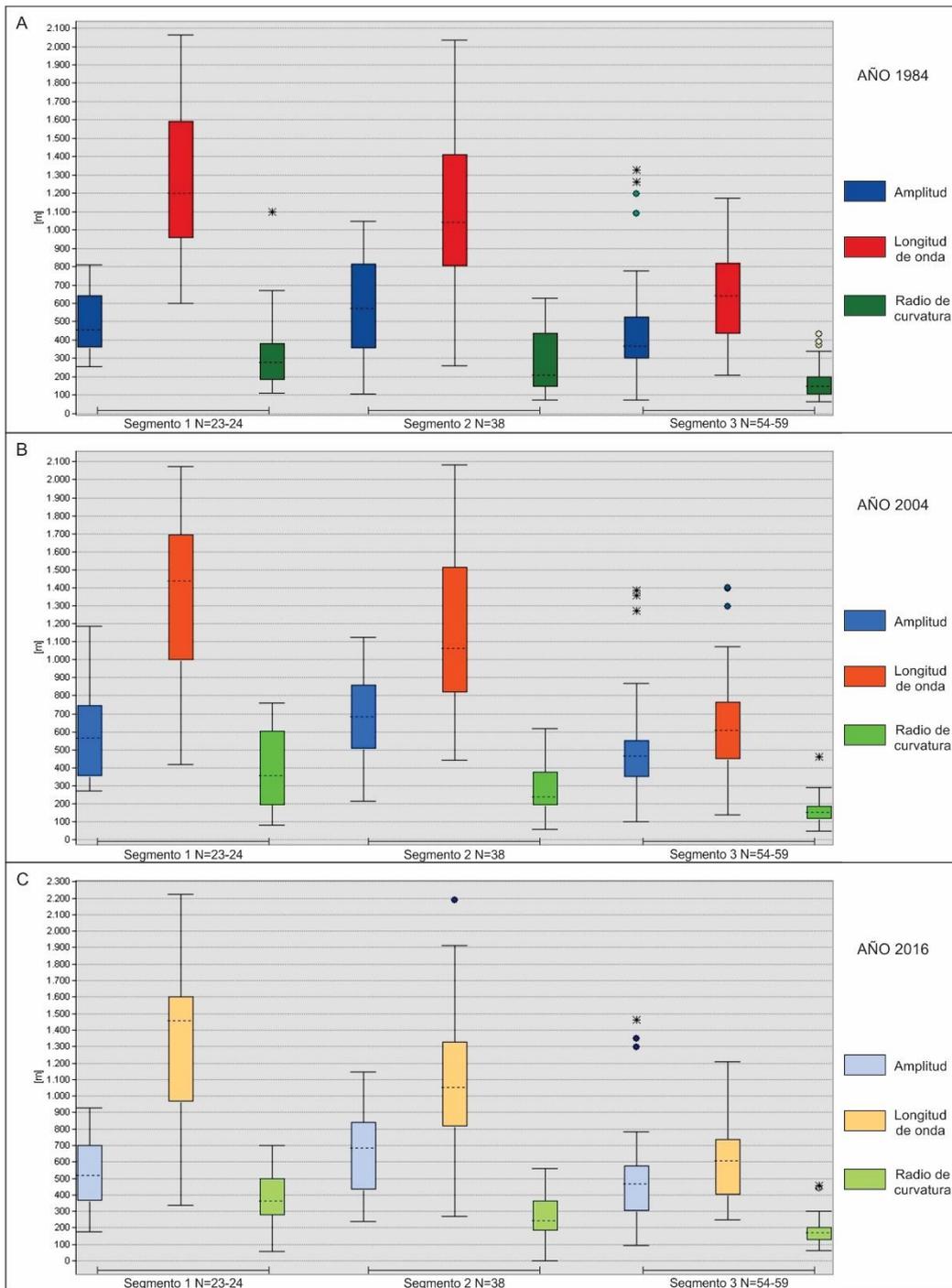


Figura VII.10: Diagramas de caja donde se visualizan los valores de amplitud, longitud de onda y radio de curvatura de meandros en el tramo medio del río Chocancharava, agrupados en segmentos para: A) 1984, B) 2004 y C) 2016. N: número meandros por segmento.

-2016: Los tres parámetros morfométricos se mantienen y/o exhiben leves modificaciones respecto a los valores del año 2004. La amplitud registra una leve

disminución, más marcada en S1 (aprox. 15%). L permanece sin cambios mientras que r disminuye en S1 y S2 (10 y 5% respectivamente) e incrementa notoriamente en S3.

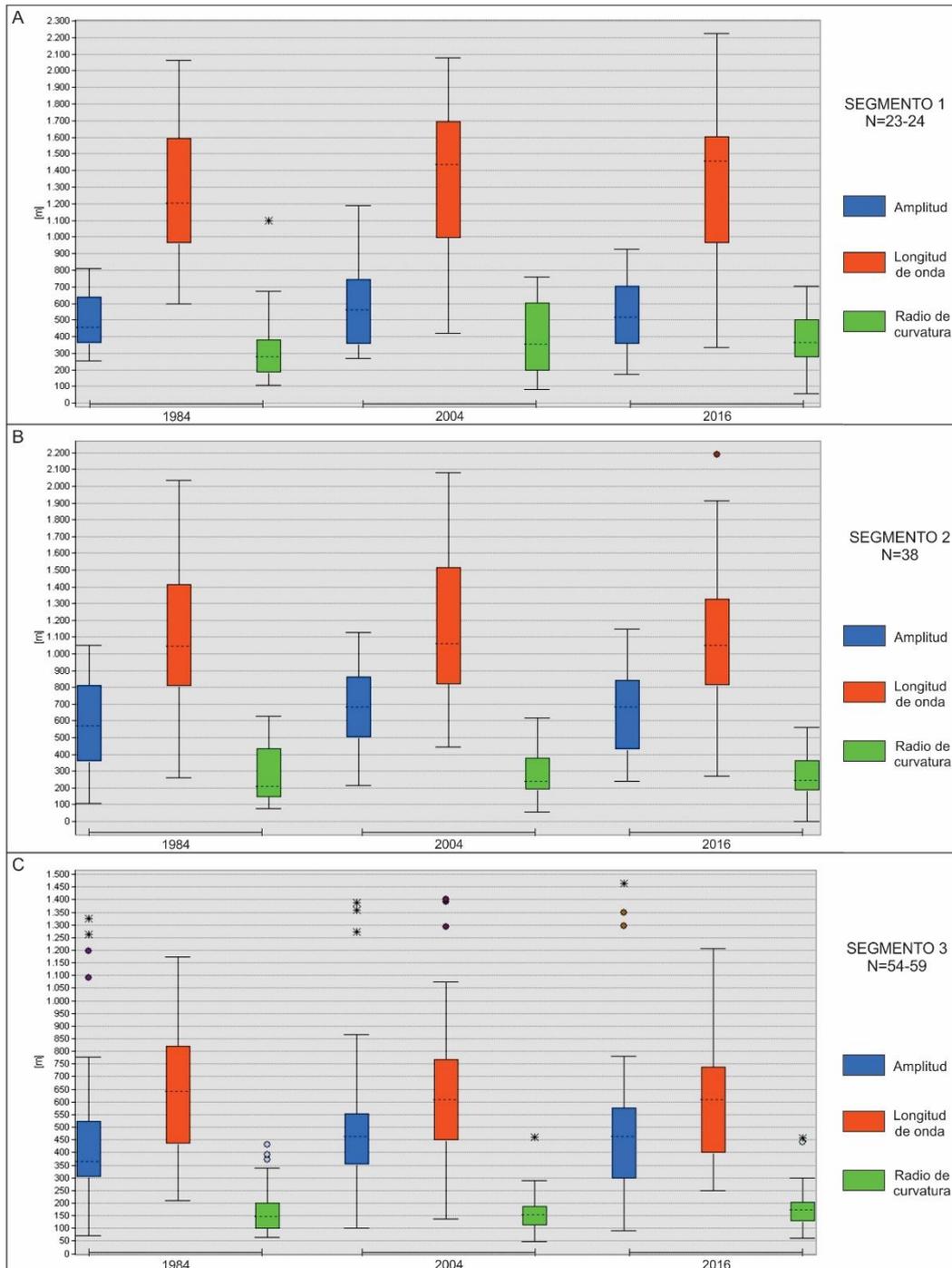


Figura VII.11: Diagramas de caja donde se visualizan los valores de amplitud, longitud de onda y radio de curvatura de meandros del tramo medio del río Chocancharava, agrupados por años para los 3 segmentos. A) S1, B) S2 y C) S3. N: número de meandros por segmento.

En síntesis y considerando lo expresado precedentemente puede indicarse que, en S1, las medianas de los tres parámetros morfométricos presentan las mayores

variaciones, principalmente en el ciclo 1984-2004; S2 sólo muestra un leve incremento de amplitud en ese período mientras que S3 exhibe una marcada extensión e incremento del radio de curvatura.

En la Fig. VII.12 se presentan algunos meandros característicos de cada segmento mostrando parámetros geométricos y como fueron variando en el periodo 1984-2016. En esta imagen se observa la clara diferencia entre los segmentos, tanto en los parámetros (como se aprecia en los diagramas de caja anteriores), tamaño y forma de los meandros como también en su variación temporal, siendo S1 el que presenta mayor regularidad en general, pero a su vez mayor variación en el tiempo. Por el contrario, S3 muestra meandros pequeños e irregulares, pero en general este tramo es el más estable. S2 es un segmento con características intermedias con meandros regulares e irregulares y que por sectores presenta alta estabilidad mientras que, en otros, muestra gran variación en el tiempo.

VII.2.3 Orientación de meandros

En general en la Fig. VII.13 se puede observar una gran variación en la orientación de los meandros en el tramo estudiado, aunque por segmentos presentan una orientación predominante.

Las direcciones que dominan en S1 y S2 son N-S para todo el periodo, mientras que en S3 se percibe un leve predominio en las ENE-OSO entre 1984 y 2004, y en el año 2016 se hacen más E-O. En S1 el canal tiene un sentido E en casi todo el segmento por lo que dominan las direcciones N-S. Este segmento presenta un número de meandros menor con lo cual la variación en pocos de ellos evidencia un cambio abrupto en el diagrama (Fig. VII.13.1c). Al igual que S1, en S2 predominan las direcciones N-S de los meandros, pero con una componente importante NNE-SSO debido a que en el tramo final del segmento el canal adopta una dirección SE, principalmente en el año 1984 (Fig. VII.13.2a). En S3, el canal muy tortuoso (Fig. VII.12), tiene una dirección predominante hacia el SE y, por lo tanto, las orientaciones de los meandros son mayormente ENE-OSO, especialmente, en 1984 y 2004. En el año 2016, las direcciones dominantes son E-O y, secundariamente, ENE-OSO y NNE-SSO (Fig. VII.13.3c), indicando procesos de migración de meandros.

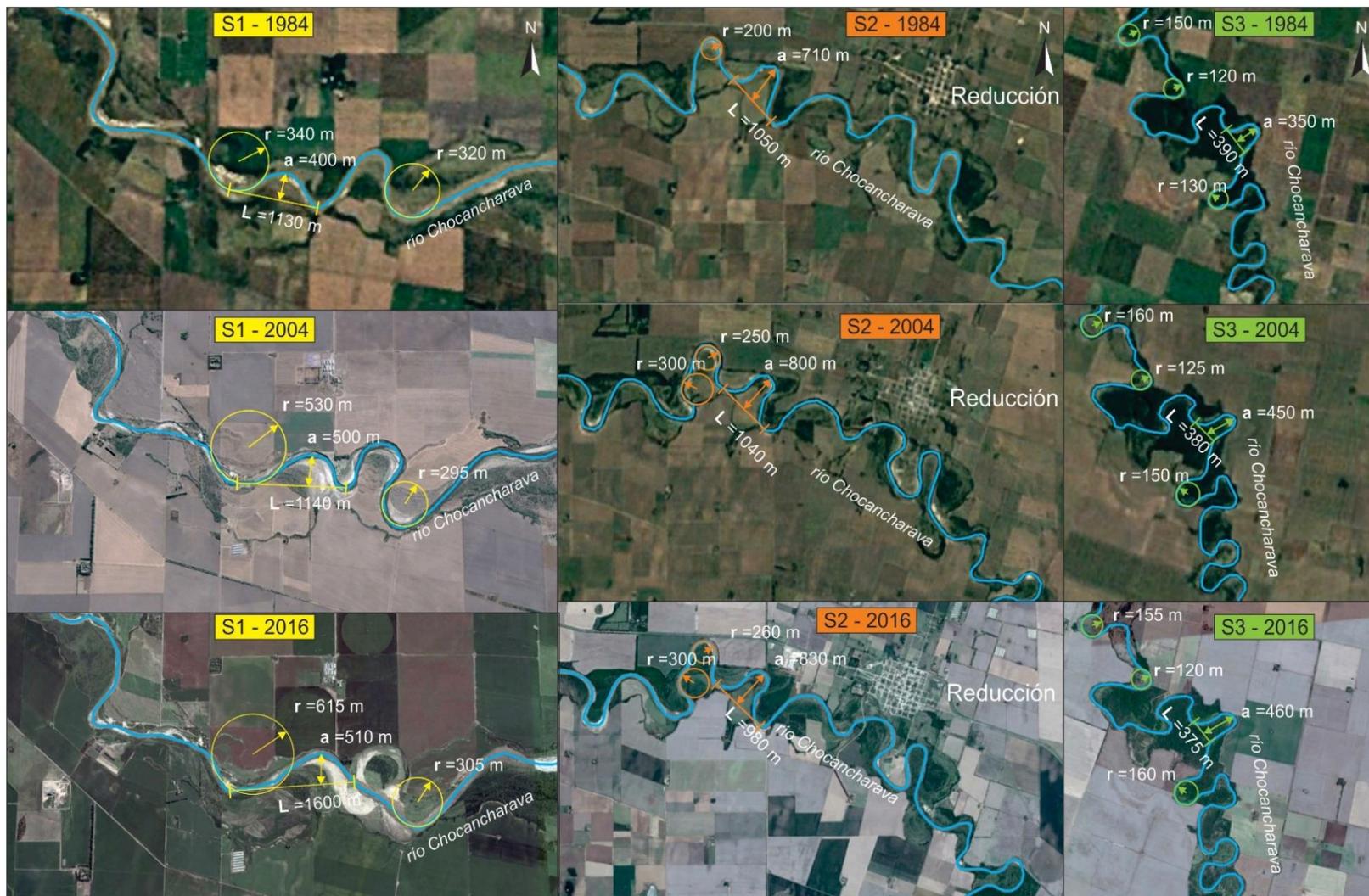


Figura VII.12: Imágenes Google Earth® de meandros característicos de cada segmento mostrando parámetros geométricos y su variación entre los años 1984, 2004 y 2016.

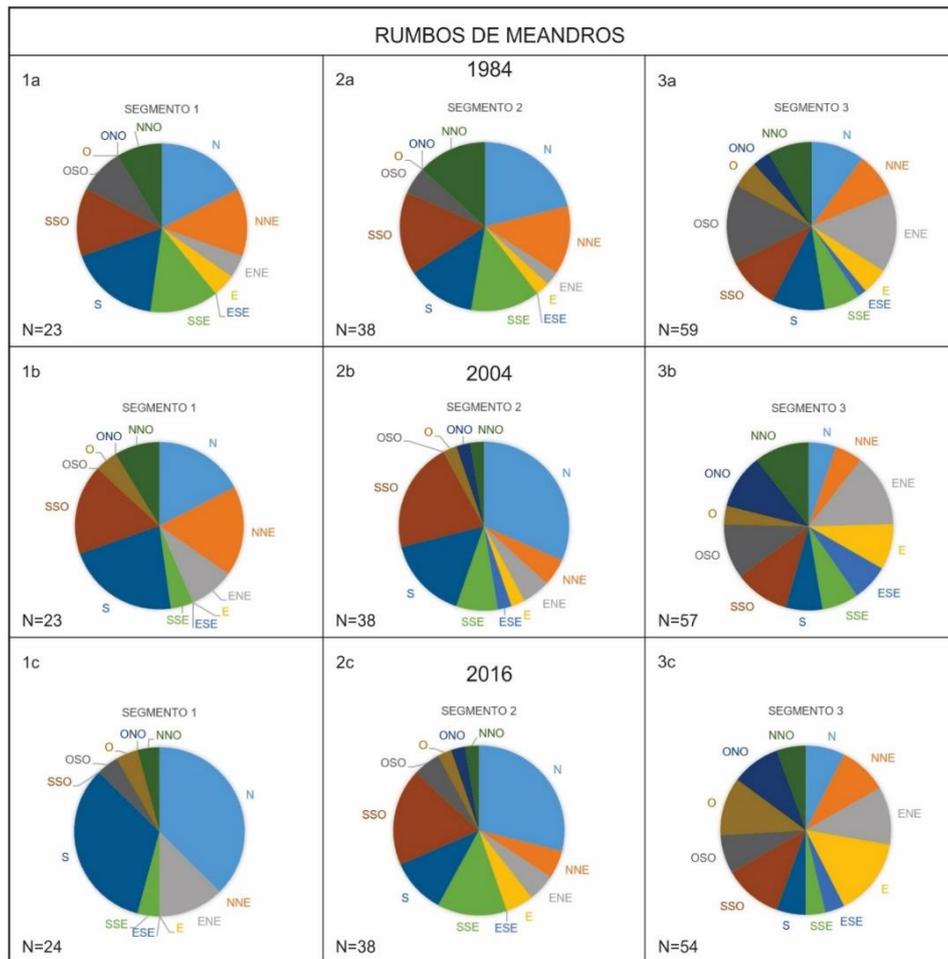


Figura VII.13: Diagramas circulares donde se presenta el rumbo de los meandros en los tres segmentos para los años 1984, 2004 y 2016.

VII.3 PERFIL LONGITUDINAL

En la figura VII.14 se presenta el perfil longitudinal del tramo estudiado.

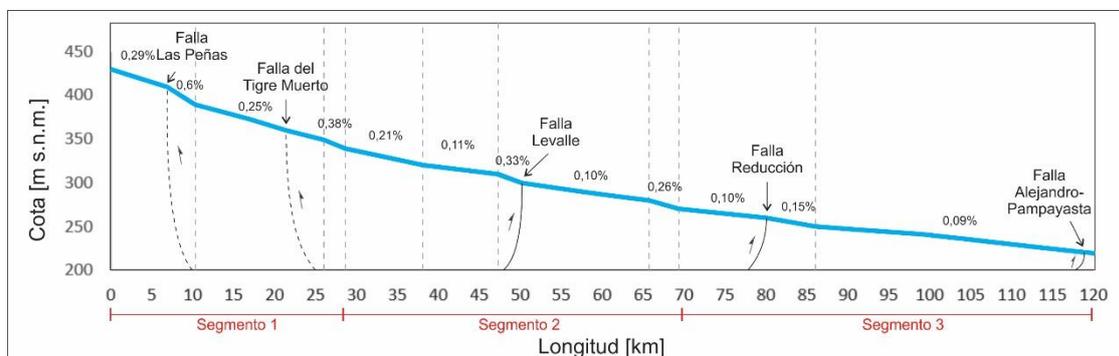


Figura VII.14: Perfil longitudinal del tramo medio del río Chocancharava obtenido a partir de hojas topográficas 1:50.000 del IGN, donde se señalan las secciones con distintos gradientes, los cuales están expresados en %.

Como puede observarse, en general el perfil es cóncavo hacia arriba y salva un desnivel de 220 m (430-210 m s.n.m.) en 120 km, con una pendiente promedio de 0,24%, aunque ésta muestra variaciones significativas en los distintos segmentos de canal considerados. Analizado en detalle, el perfil exhibe 11 secciones según la magnitud de la pendiente (Fig. VII.14), mostrando mayor variabilidad los segmentos S1 y S2.

El *segmento S1*, corresponde al bloque más elevado y exhibe el mayor gradiente promedio del tramo estudiado, con un valor de 0,32%. En este segmento el perfil se compone de 4 secciones, que intercalan tramos más largos de menor gradiente (0,29-0,21 %) con otros cortos de mayor pendiente (0,6-0,38 %). Estos quiebres en la curva representan desajustes en el perfil, donde las secciones de mayor gradiente estarían evidenciando frentes de retroceso.

S2, presenta un gradiente promedio de 0,2% y se reconocen 5 secciones, que al igual que en S1, representan tramos más largos de menor gradiente (0,21- 0,10%) intercalados con otros cortos con pendiente mayor (0,33-0,26 %). El más pronunciado de ellos se asocia a la falla de Levalle.

S3, es el segmento más uniforme, está compuesto por 3 secciones de forma rectilínea a ligeramente convexa, con quiebres muy poco manifiestos y presenta un gradiente promedio de 0,11%.

Algunos de estos quiebres de pendientes estarían relacionados a estructuras regionales, como la falla Las peñas, Levalle y Reducción, mientras que la falla de Tigre Muerto no muestra efecto sobre el canal.

CAPÍTULO VIII

DINÁMICA DE MEANDROS

VIII.1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la hidráulica fluvial, todos los ríos están sujetos en mayor o menor grado a procesos de erosión, transporte y/o sedimentación. Un río se considera en estado de equilibrio cuando no varía el perfil del fondo y de las márgenes del cauce y, por lo tanto, existe compensación entre los sedimentos que son transportados hacia y desde el tramo considerado (Farías *et al.*, 2011).

La dinámica de meandros hace referencia a los movimientos y procesos que dan lugar a la migración de los mismos. (Fig. VIII.1 A y B).

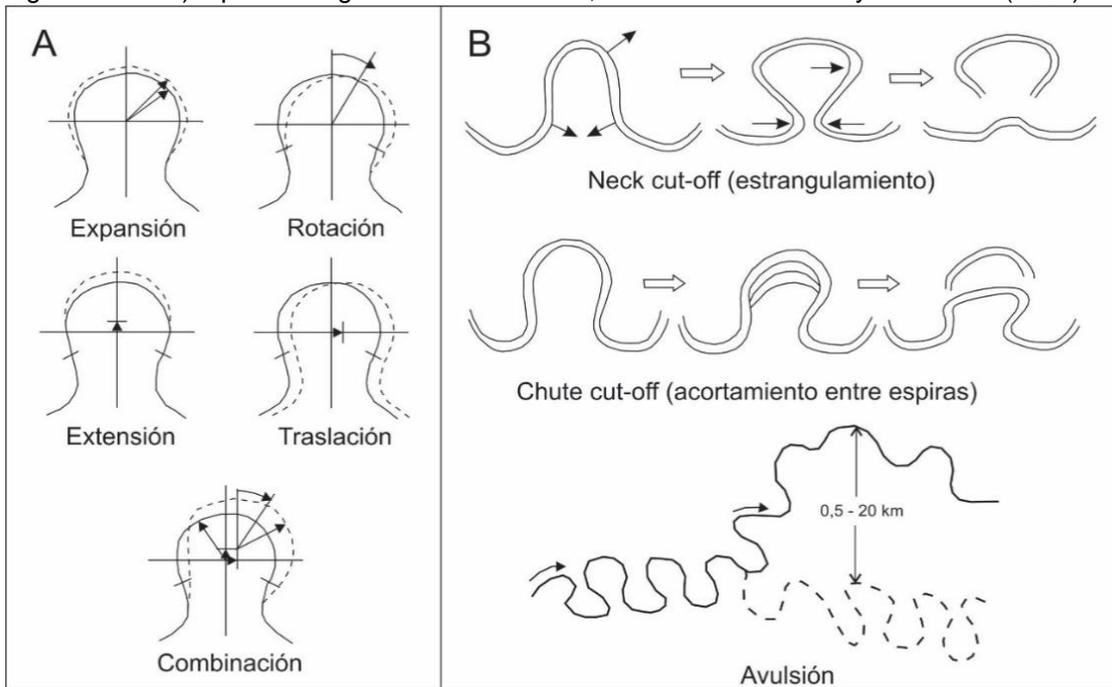
La migración de meandros se da en mayor medida en ríos aluviales y su tasa varía principalmente dependiendo de la litología del lecho y márgenes y régimen hidrológico, entre otros factores como, vegetación e intervenciones antrópicas. Como se muestra en la figura VIII.1.A, los mecanismos de migración de meandros son expansión, rotación, extensión, traslación y la combinación de dos o más de ellos (Klaaseen y Masselin, 1992).

Existen otros mecanismos por los cuales los meandros cambian de posición y se rectifican, dejando tramos abandonados. Entre estos los más comunes son los acortamientos (*chute cut-off*) que se generan cuando el canal se emplaza entre surcos de espiras y los estrangulamientos (*neck cut-off*) que ocurren por convergencia de márgenes erosivos. Además de estos procesos que afectan a meandros individuales, existen otros, como las avulsiones (Fig. VIII.1.B), que implican el abandono/cambio de posición de tramos más extensos de canal (Pedraza, 1996). En el área de estudio es común la ocurrencia de los distintos procesos mencionados, lo que explica la presencia de numerosos meandros abandonados, muchos de los cuales son ocupados por cuerpos lagunares permanentes y temporarios.

La traslación es el desplazamiento del meandro paralelo al eje de simetría manteniendo estable la amplitud, longitud de onda y radio de curvatura. La *rotación* se

da cuando el eje de simetría gira y cambian generalmente la amplitud y radio de curvatura, pudiendo mantenerse estable la longitud de onda. Cuando solamente aumenta la amplitud se lo denomina *extensión*, esto puede ir acompañado de acortamiento de la longitud de onda. El lobulamiento es el crecimiento del radio de curvatura manteniendo prácticamente estable la amplitud y longitud de onda. De este último proceso puede generarse el doble encabezamiento (*double heading*) que termina por generar a partir de un meandro, dos nuevos. Cuando se dan dos o más de los procesos juntos, se denominan compuestos o combinados.

Figura VIII.1: A) Tipos de migración de meandros, tomado de Klaassen y Masselink (1992). B)



Mecanismos de abandono de meandros, tomado de Pedraza (1996) y Ramonell y Amsler (2005).

VIII. 2 RESULTADOS

Los procesos que mejor explican los cambios ocurridos en los meandros en el tramo medio del río Chocancharava, durante los tres periodos de tiempo considerados, se agruparon en 7 categorías: *migración simple* (sólo muestra rotación o traslación), extensión (crecimiento en amplitud), lobulamiento (*heading* o *double heading*), compuestos (combinación de dos o más tipos de movimientos), creación de meandros, estrangulamiento y acortamiento (*neck cut-off* y *chute cut-off*) y meandros estables.

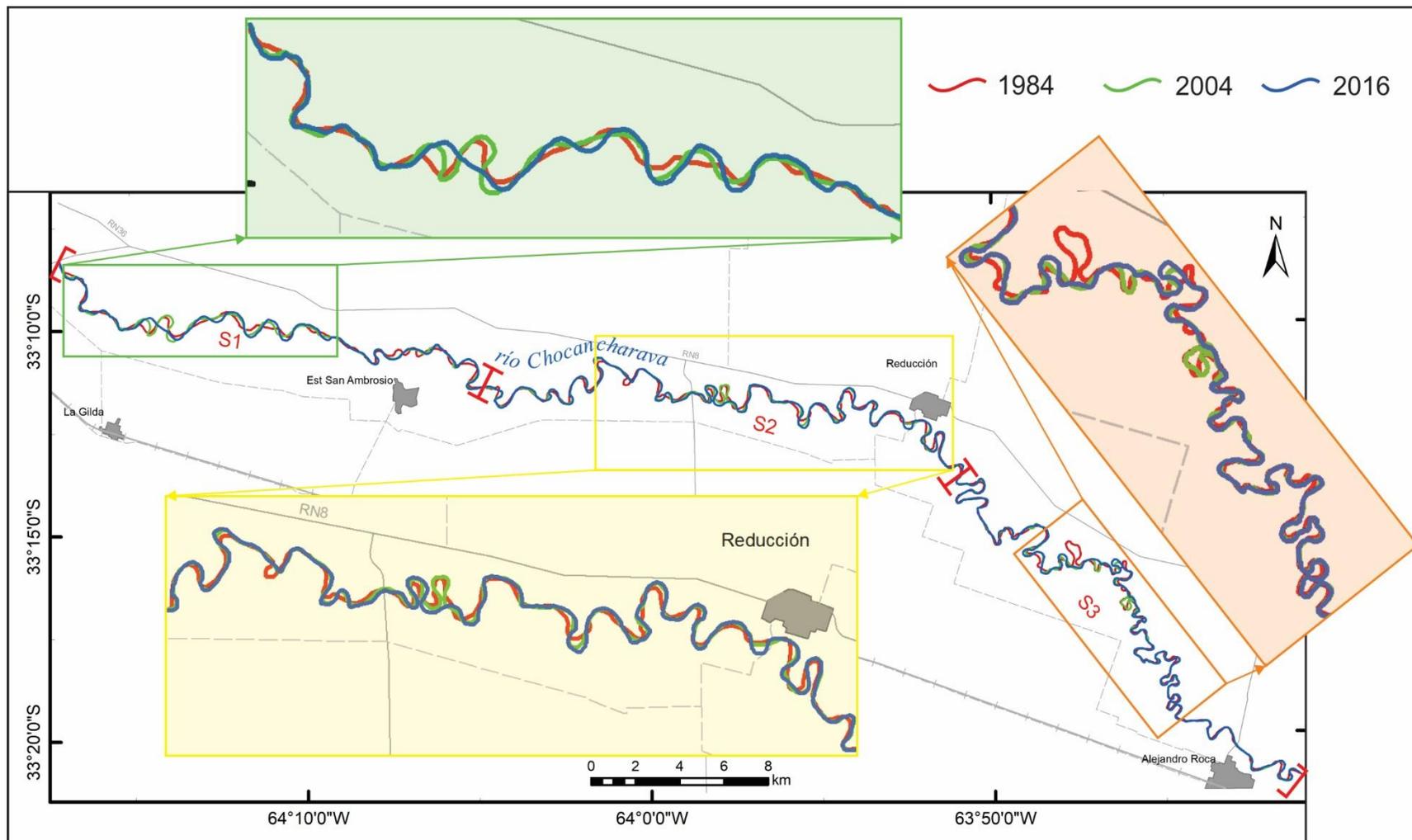


Figura VIII.2: Posición del canal del tramo medio del río Chocancharava para los distintos períodos analizados. En recuadros detalles de tramos representativos.

Esta última categoría refiere a meandros que han permanecido sin variaciones significantes, para ello se definió que los desplazamientos no deben superar la mitad (1/2) del ancho de canal.

En la figura VIII.2 se muestra la posición del canal para los años analizados mientras que en las figuras VIII.3, 4 y 5 se presentan diagramas de barras donde se comparan los tipos de migración por segmentos y en los períodos 1984 - 2004 y 2004 – 2016.

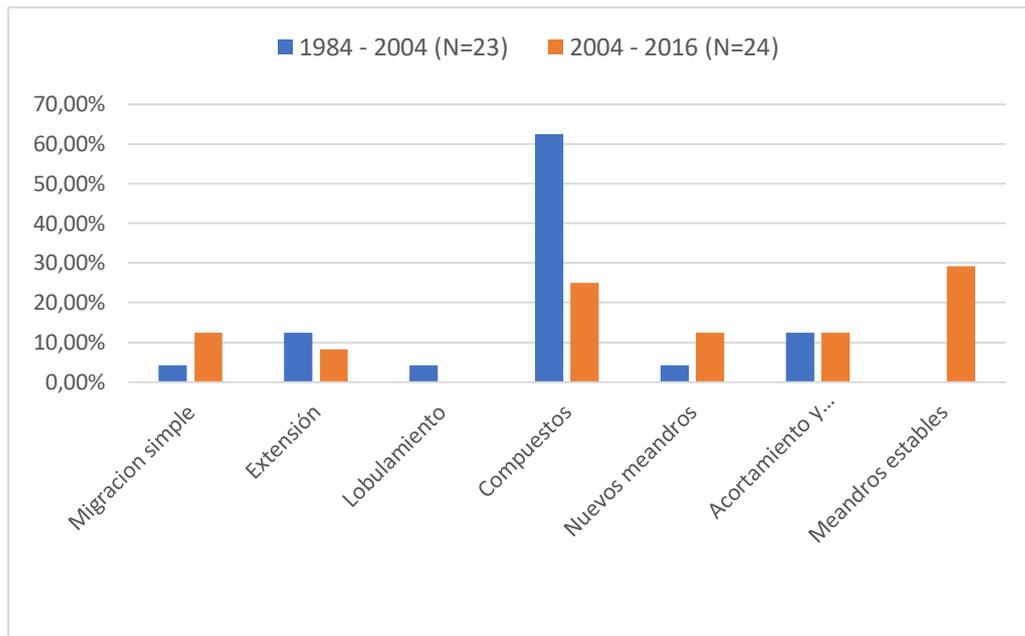


Figura VIII.3: Diagrama de barras donde se representa la frecuencia de ocurrencia de los procesos de migración de meandros para el segmento 1 en los dos periodos de tiempo considerados.

Como se observa en la figura VIII.3 los meandros de S1 muestran una predominancia de migración de tipo compuesta para el periodo 1984 – 2004, mientras que en el periodo 2004 – 2016 esta disminuye más de la mitad y los meandros estables aumentan considerablemente. Las categorías extensión y acortamiento y estrangulamiento no presentan cambios importantes mientras la migración simple y la creación de nuevos meandros aumentan poco más del doble. Por otra parte, no se observan lobulamientos en el segundo periodo. En general este segmento muestra cambios notorios, especialmente en la categoría compuestos, que se subdividen en nuevos meandros, migración simple, entre otros, mientras que muchas curvas se estabilizan. El bajo número de meandros (N) de este segmento puede potenciar cambio de pocos meandros en la gráfica.

En la figura VIII.4 (S2) se puede observar que en el primer periodo predominan las categorías de extensión y compuestos y, al igual que en S1, la importante

disminución de este último, en el segundo periodo, se debe al aumento considerable de los meandros estables y a la extensión. El lobulamiento y la creación de nuevos meandros no presentan cambios, mientras que la migración simple y el acortamiento y estrangulamiento muestran una disminución de más del doble.

Por último, la figura VIII.5 (S3) presenta para el periodo 1984-2004, predominancia de movimientos compuestos y cobra relevancia el lobulamiento y la extensión, seguido de la creación de nuevos meandros, algunos de estos últimos se deben a estrangulamiento mientras que otros se generan a partir de un meandro o de un tramo recto. La migración simple es el proceso menos frecuente en este segmento, y al igual que la extensión, no muestran cambios importantes, mientras que el acortamiento y estrangulamiento presenta un aumento más notorio. Los mayores cambios se observan en las categorías compuestos, lobulamiento y meandros estables, donde la primera disminuye considerablemente debido al gran aumento en las últimas dos. Para el segundo periodo la generación de nuevos meandros no fue relevante.

La cantidad de meandros (N) en cada segmento condicionan la variación de los procesos en los distintos escenarios temporales. Así en S1, con un menor número de meandros, el leve cambio en algunos meandros muestra una marcada variación en los procesos. Mientras que para S2 y S3, con N más grande, las gráficas muestran una dinámica de meandros acorde a estos segmentos.

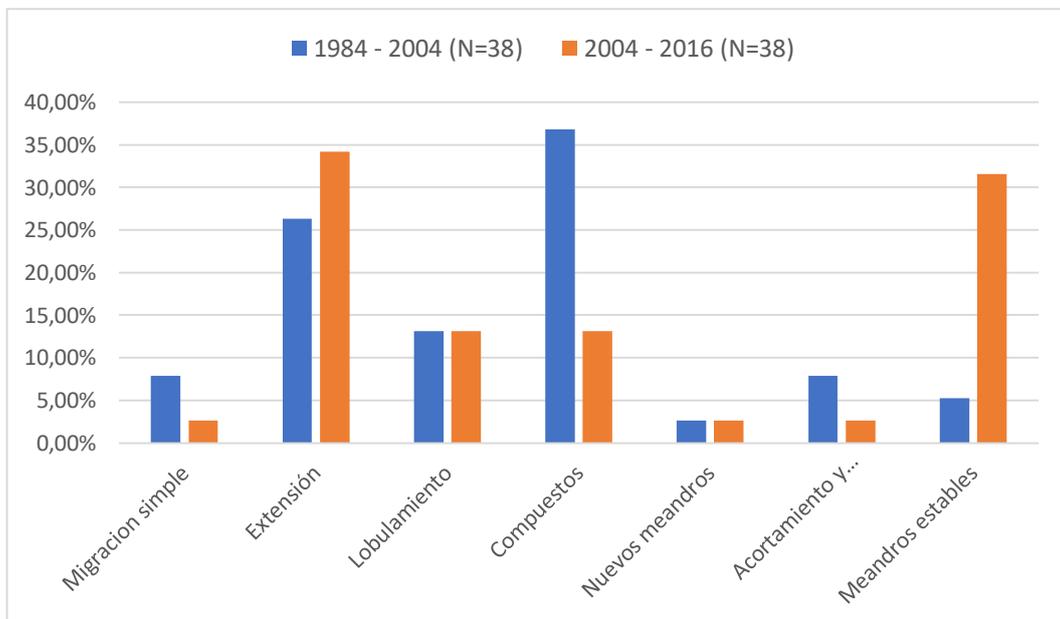


Figura.VIII.4: Diagrama de barras donde se representa la frecuencia de ocurrencia de procesos de migración de meandros para el segmento 2 en los dos periodos de tiempo considerados.

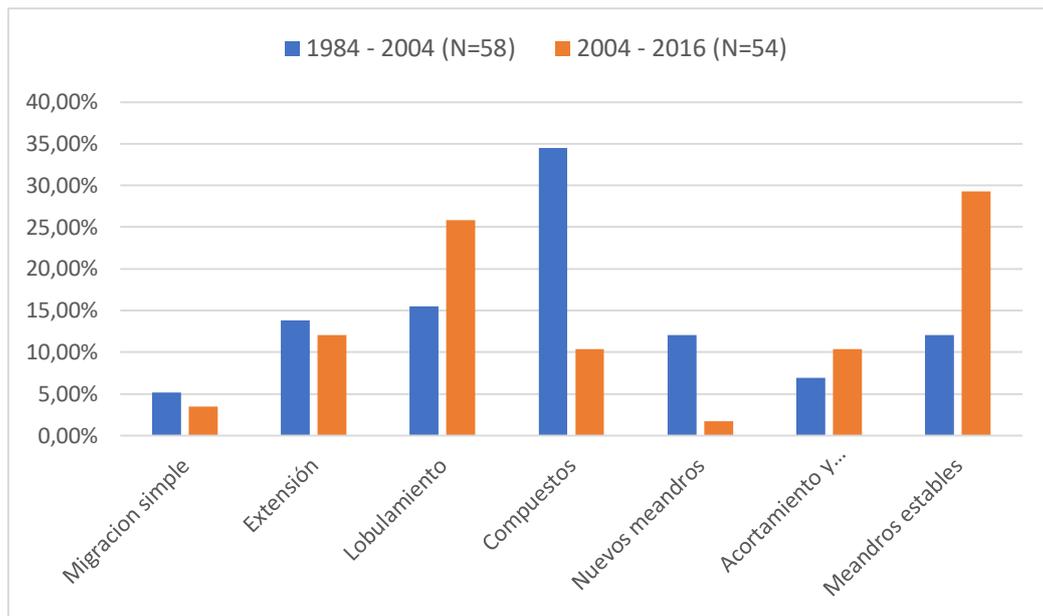


Figura VIII.5: Diagrama de barras donde representa la frecuencia de ocurrencia de procesos de migración de meandros para el segmento 3 en los dos periodos de tiempo considerados.

VIII.3 CASOS DE ESTUDIO

A fin de obtener mayor información de la evolución de segmentos de canal con diferente morfometría y estabilidad y aproximar umbrales de cambio (sinuosidad, pendiente, entre otros), se llevó a cabo un estudio más detallado en cuatro sitios representativos (Fig. VIII.6).

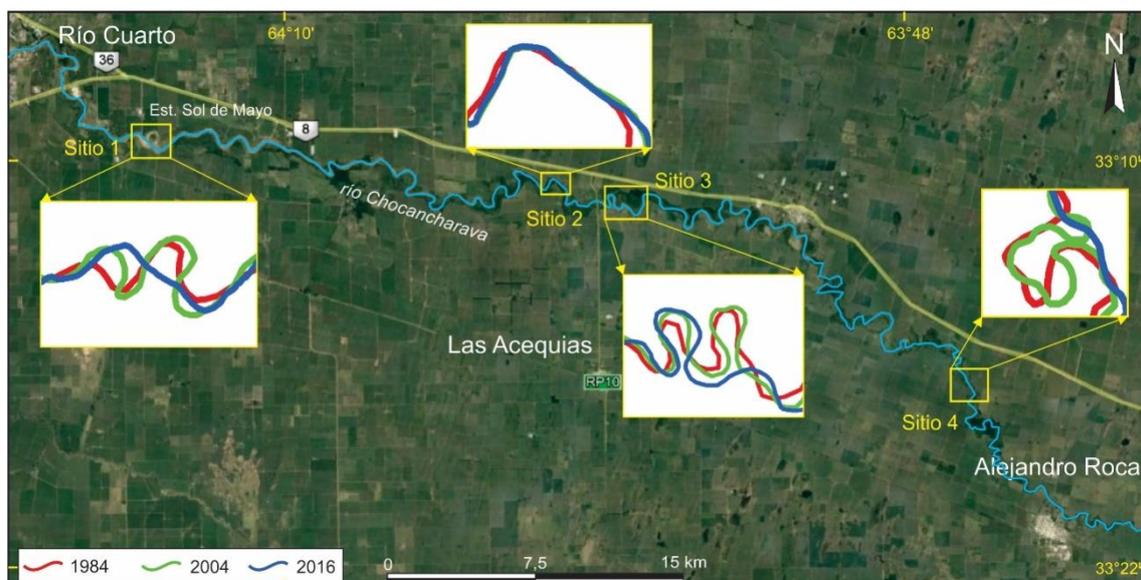


Figura VIII.6: Mapa de ubicación de distintos sitios de estudio de detalle en el tramo medio del río Chocancharava.

Allí se efectuó el seguimiento de los cambios morfodinámicos ocurridos en los últimos 30 años (en distintos escenarios temporales) a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, en tres de ellos, se efectuó un relevamiento planialtimétrico (septiembre de 2017) que incluyó el canal actual y el inmediatamente anterior, lo que permitió cuantificar pendiente del canal abandonado y el rectificado, profundización del canal, sitios de agradación/erosión, entre otros.

SITIO1 (33°09'54" E – 64°14'11" O).

Se ubica en proximidades de la Ea. Sol de Mayo, localizada 10 km al Este de la ciudad de Río Cuarto, y se accede al sitio por ruta nacional 8 (Fig. VIII.6).

-Análisis temporal

En este segmento se analiza la evolución de 4 meandros activos (números 5, 6, 7 y 8 en la figura VII.4 y 5 del capítulo anterior) correspondientes al segmento S1. Se trata de meandros amplios, bastante regulares, con amplitud, longitud de onda y radio de curvatura del orden de 700-1200 m, 900-1300 m y 80-300 m, respectivamente. Los materiales que componen las márgenes del canal, en general, son deleznable (aluviales), el lecho es aluvional y se registran procesos de acreción de barras en espiras (*point-bars*) que funcionan como llanura de inundación.

Como puede observarse en la figura VIII.7.A y B, entre 2004 y 2006, no hubo cambios importantes en la morfometría de los meandros, manteniendo una sinuosidad del orden de 2. En la imagen 2008 (Fig. VIII.7.C), se observan cambios notorios en los meandros 5, 6 y 7 y disminuye la sinuosidad del tramo ($S=1,74$) como consecuencia de la crecida de enero de 2007 (aproximadamente $Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$). En este evento el meandro 5, migró hacia el Este, disminuyendo su amplitud y aumentando levemente la longitud de onda, asociado a la rectificación por avulsión del meandro 6, el cual cambió su ápice rotando en sentido antihorario, acortando su amplitud y aumentando su radio de curvatura. El meandro 7 mostró un claro lobulamiento el cual aumento el radio de curvatura y disminuyó la longitud de onda, mientras que el meandro 8 sólo presentó un aumento leve de amplitud generando extensión.

Con características similares el canal se mantuvo hasta la crecida de magnitud del 2014, tal como se observa en la imagen del año 2103 (Fig. VIII.7.D), donde la geometría se mantiene sin cambios significativos. Durante ese evento se modificaron principalmente los meandros 6 y 7, donde se observa que el primero rotó hacia el Este aumentando la amplitud y disminuyendo la longitud de onda y radio de curvatura. El

segundo siguió con el proceso de lobulamiento aumentando levemente el radio de curvatura y disminuyendo la longitud de onda. La sinuosidad aumentó para el 2013, alcanzando un valor de 1,97. En la crecida del 01/03/2015 (Q aprox. 750 m³/s) se produjo la rectificación por avulsión de dos meandros consecutivos (6 y 7) y, como consecuencia los meandros 5 y 8 aumentaron considerablemente la longitud de onda y radio de curvatura. Entre el 2013 y 2014 (Fig. VIII.7.D y E) la sinuosidad aumentó a 2 y luego de la rectificación disminuyó a 1,2 (Fig. VIII.7.F).

La figura VIII.8 muestra una fotografía aérea a pocos días de la crecida del río (05/03/ 2015) donde el pelo de agua todavía permanecía elevado por lo que el cauce viejo seguía en funcionamiento. El canal abandonado se observa muy sedimentado por barras en espiras y por el abanico generado por la avulsión, sin embargo, éste seguía evacuando agua.

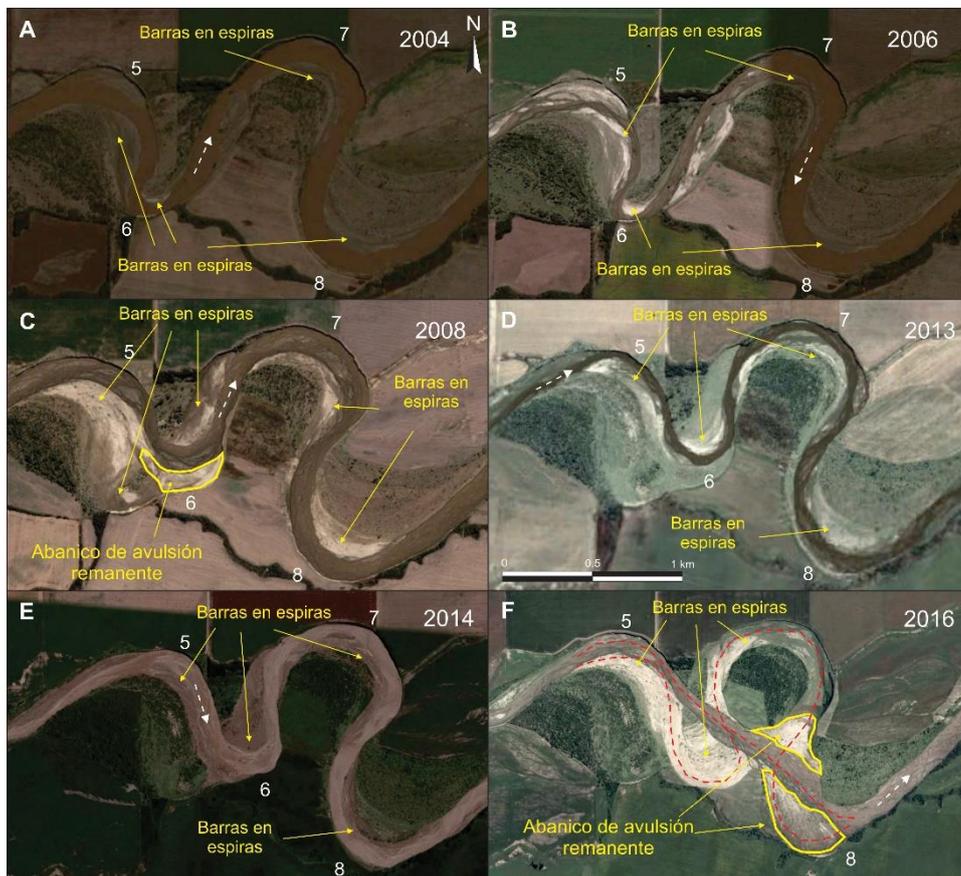


Figura VIII.7: Evolución de meandros del Sitio 1 (sector Estancia Sol de Mayo), tramo medio río Chocancharava, para el periodo 2004-2016.



Figura VIII.8: Fotografía aérea de los meandros del Sitio 1 (Ea. Sol de Mayo) durante la bajante de la crecida que produjo la rectificación (01/03/2015). Cauce viejo (CV) en línea punteada blanca y cauce actual (CA) en línea punteada azul.

-Relevamiento Planialtimétrico

En la figura VIII. 9 se presenta el relevamiento en planta del cauce rectificado y actual y, en las VIII.10 y 11 los perfiles longitudinales obtenidos. En el cauce viejo la pendiente fue de 0,21% y en el canal actual 0,26%. El acortamiento medido fue de 1850 m, pasando de una longitud de canal pre-avulsión de 3750 m a 1900 m con posterioridad a la rectificación. En el cauce abandonado se produjo sedimentación (acreción de espiras, decantación, abanico de avulsión) como se muestra figura. VIII.12, donde se midieron aproximadamente 50 cm de sedimentos. La incisión que tuvo el lecho del canal después de la rectificación fue de aproximadamente 1,25 m, dejando un tramo rectilíneo con patrón entrelazado. Este cambio representa un ajuste local vinculado al incremento de gradiente.

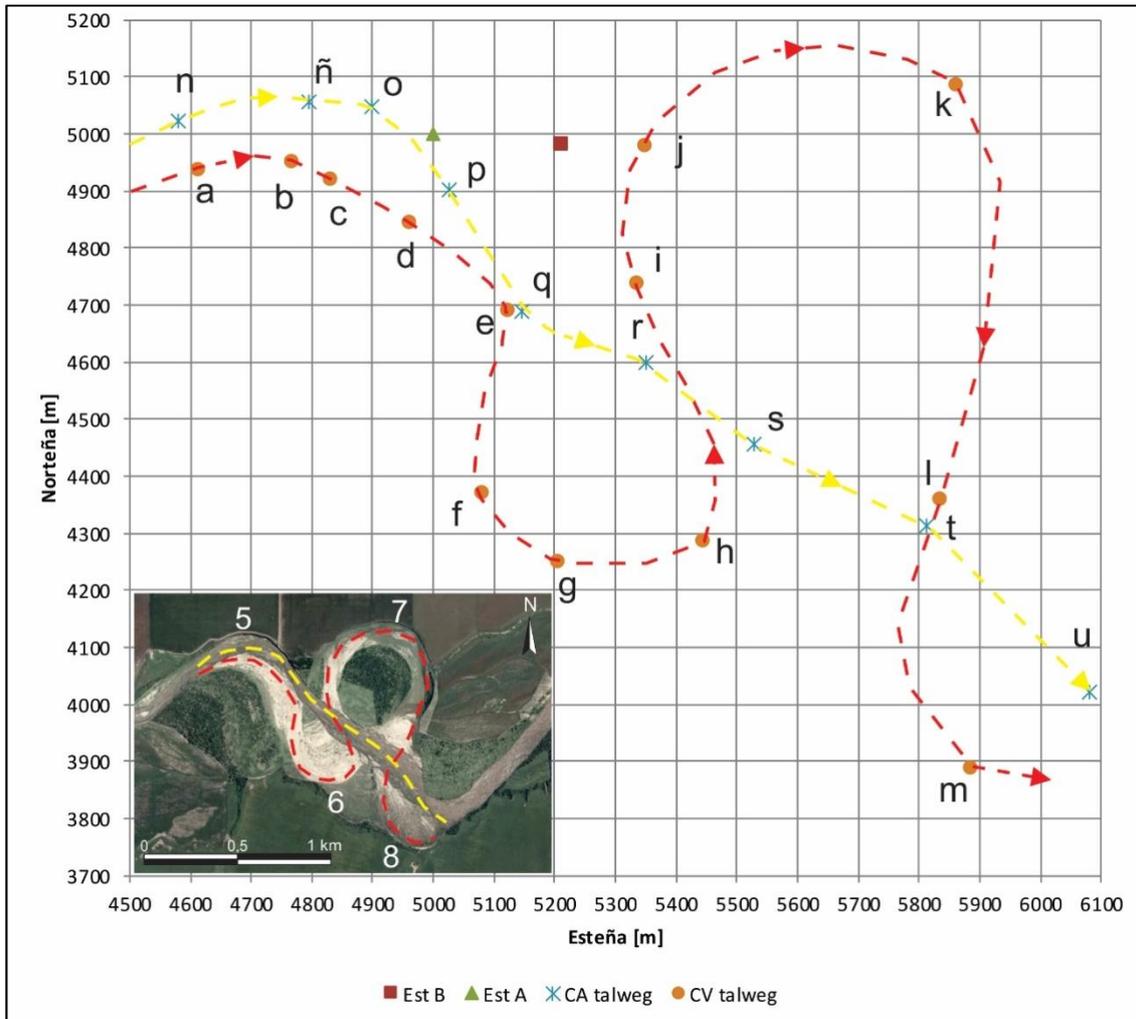


Figura VIII.9: Vista en planta con coordenadas planas arbitrarias (N-S, O-E) de los puntos relevados en septiembre de 2017 en los meandros avulsionados del Sitio 1 (Estancia Sol de Mayo), tramo medio del río Chocancharava.

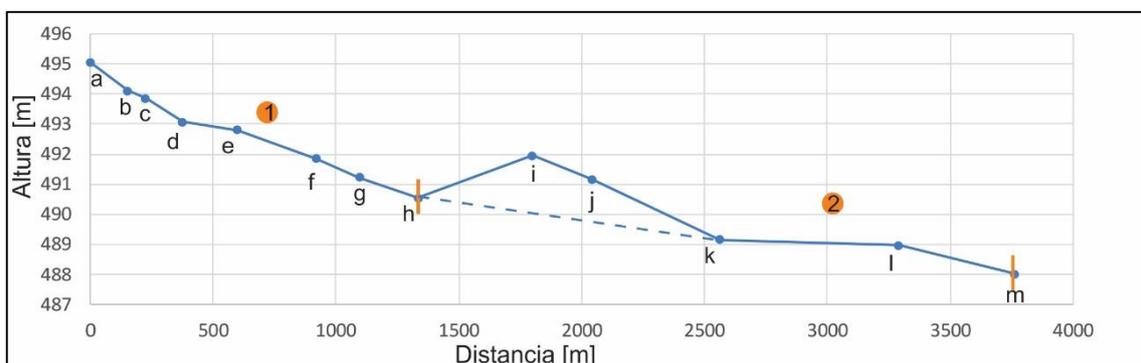


Figura VIII.10: Perfil longitudinal del cauce abandonado por avulsión (canal viejo Fig. VIII.9). Sitio 1 (Estancia Sol de Mayo). Escala vertical exagerada.

En la figura VIII.10 se observa que el tramo 1 (a-h), correspondiente a los meandros 5 y 6, presenta un gradiente promedio de 0,34%, con pequeñas

irregularidades. El tramo 2 (h-m) muestra un gradiente de 0,1% en promedio, y corresponde a la totalidad del meandro 7 y parte del 8. Con línea punteada se indica la pendiente aproximada del tramo h-k antes de la avulsión y consecuente sedimentación que se manifiesta con una convexidad entre esos puntos del perfil. En el tramo l-m, correspondiente al meandro 8, se registra un incremento del gradiente (0,19%)

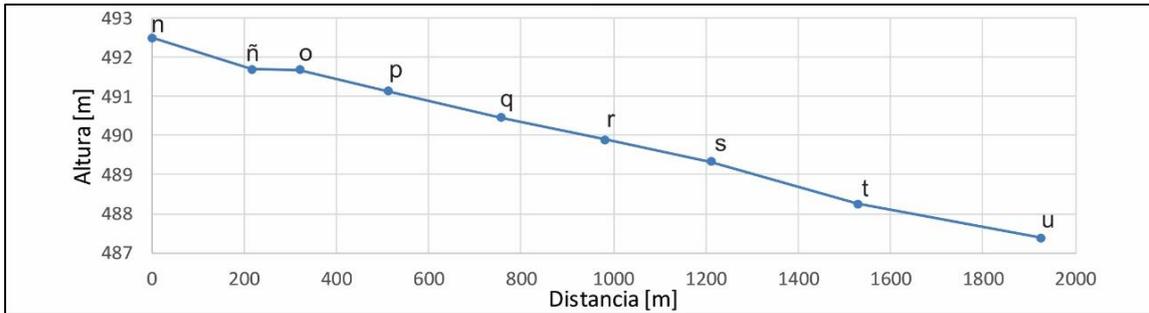


Figura VIII.11: Perfil longitudinal del cauce actual (septiembre- 2017) en meandro rectificado por avulsión- Sitio 1 (Ea. Sol de Mayo), tramo medio río Chocancharava.

El perfil longitudinal de cauce actual (Fig. VIII.11) muestra una pendiente más homogénea de 0,26%. Se observa una leve convexidad en el tramo rectificado que demuestra aún un leve desajuste a casi tres años de la avulsión.



Figura VIII.12: La imagen del borde inferior izquierdo muestra una vista en planta del sector de la rectificación. Las líneas punteadas roja y azul indican el cauce viejo y actual, respectivamente. El recuadro amarillo indica la posición donde fue tomada la fotografía que muestra en detalle los lóbulos terminales del abanico de desborde generado en la avulsión del 01/03/2015 sobre cauce antiguo. Sitio 1 (Estancia Sol de Mayo), tramo medio del río Chocancharava.

En relación a umbrales de cambio se observó que, previo a la avulsión en el 2015, la sinuosidad alcanzó un valor de 3 en los meandros 6 y 7, mientras que el gradiente fue del orden de 0,1%. Valores similares de sinuosidad se registraron en el meandro 6 en el año 2007 con anterioridad a la rectificación. Con posterioridad a estos procesos de cambio los canales abandonados disminuyen aún más su gradiente por sedimentación.

SITIO 2 (33°11'03" S – 64°00'15" O)

Al sitio se ingresa desde la ruta nacional 8 a la altura del kilómetro 571 (Fig. VIII.6). En este tramo (meandro número 35 – Fig.VII.5) el canal es rectilíneo, de baja sinuosidad, con un patrón entrelazado sobreimpuesto y se encuentra confinado entre secuencias cohesivas con alto grado de cementación (secuencias entoscadas Fm Pampiano).

-Análisis temporal

La figura VIII.13 muestra una comparación temporal del tramo, donde puede observarse que los parámetros morfométricos se mantienen prácticamente estables y que la migración lateral ha sido casi imperceptible en los últimos 46 años, de allí que la sinuosidad del orden de 1,2 en todo el periodo analizado. Esta condición de estabilidad, se da en varios tramos dentro del área de estudio, donde el canal se encuentra semiconfinado en secuencias más resistentes.

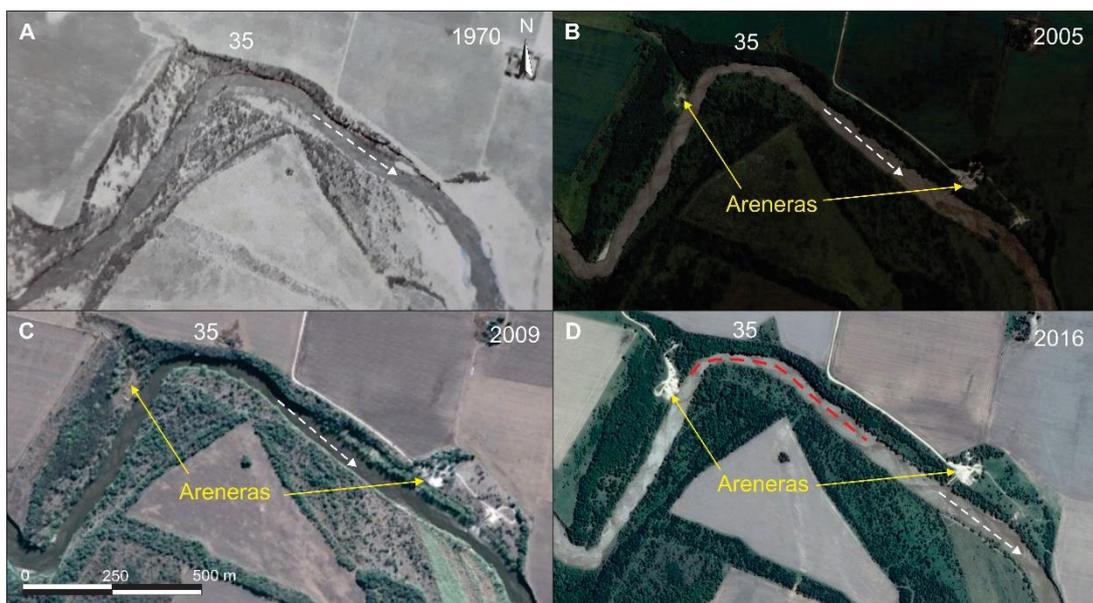


Figura VIII.13: Comparación temporal (A, B, C, D) del Sitio 2 (arenera del km 571 ruta nacional N° 8), tramo medio del río Chocancharava. La línea roja en D) indica el tramo relevado.

-Relevamiento Planialtimétrico

El gráfico de la figura VIII.14 muestra una vista en planta de los puntos relevados en el cauce actual, inmediatamente aguas abajo de la arenera. Por la accesibilidad, topografía y presencia de vegetación en el lugar, no fue posible hacer más extensa la toma de puntos. En la figura VIII.15 se observa el perfil longitudinal del tramo, que exhibe un gradiente medio de 0,15%. Las pequeñas irregularidades se deben al desarrollo de umbrales (*riffles*) y fosas (*pools*).

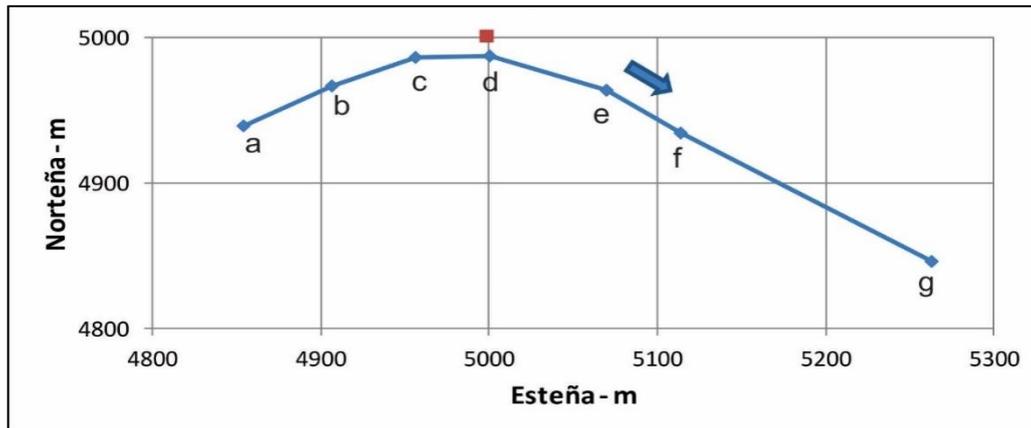


Figura VIII.14: Vista en planta con coordenadas planas arbitrarias de los puntos relevados en septiembre de 2017 en el tramo medio del río Chocancharava. Sitio 2 de la arenera del km 571 de la ruta nacional N°8.

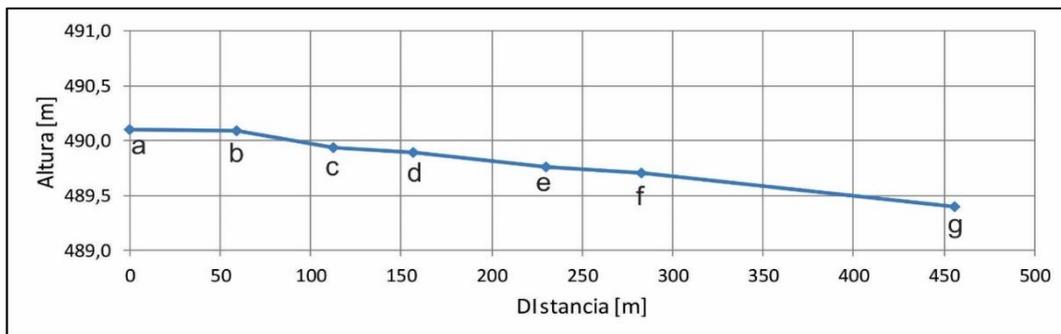


Figura VIII.15: Perfil longitudinal del cauce del tramo del río Chocancharava, en sitio 2 de la arenera del km 571 de la ruta nacional N°8, en septiembre 2017.

SITIO 3 (33°11'52" E – 63°57'48" O) – Las Acequias

Este sitio se encuentra en el campo del señor Víctor Hugo Godino, aproximadamente 1300 m al Este de la ruta provincial 10 por la que se accede a la localidad de Las Acequias (Fig. VIII.6).

-Análisis temporal

El análisis se realizó en los meandros 42, 43 y 44 (Fig. VII.4 y 5) que corresponden al segmento S2. Se trata de meandros bastante regulares con amplitud, longitud de onda y radio de curvatura del orden de 800, 650 y 180 m, respectivamente. Las márgenes del canal están compuestas mayoritariamente de materiales friables (aluviales), el lecho es aluvional y presenta acreción de barras en espiras (point-bars) que funcionan como llanura de inundación.

Como se observa en la figura VIII.16.A y B, la geometría de los meandros es muy distinta y se evidencian varias etapas de acortamiento y de migración, indicando la alta movilidad del sector. Para 1970 los meandros de este tramo presentaban una amplitud, longitud de onda y radio de curvatura entre 275-400 m, 400-600 m y 100-200 m, respectivamente, con una sinuosidad de 2.

En 2006 los meandros muestran un importante incremento en la amplitud producto de extensión y una posterior disminución de longitud de onda y aumento del radio de curvatura producto de lobulamiento. En la figura VIII.16.C se observa la configuración aproximada de los meandros después de la crecida de 2007 ($Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$) durante la cual se rectificó por estrangulamiento el meandro 44, donde actualmente se alojan bañados y lagunas (lago en herradura), que recibe aporte freático. Como puede observarse en la figura VIII.17, este meandro abandonado recibe agua y sedimentos durante eventos de crecida como la de febrero de 2015, aún varios años después de haber sido rectificado. El meandro 42 continuó con un proceso de lobulamiento, disminuyendo la longitud de onda y aumentando el radio de curvatura. Por su parte la amplitud tuvo un leve incremento. El meandro 43 rotó en sentido horario producto del estrangulamiento del meandro 44, cambiando su orientación N-S a NE-SO, aumentó en gran medida su longitud de onda y radio de curvatura y disminuyó su amplitud. La rectificación del meandro 44 por estrangulamiento fue producto del lobulamiento del meandro 43 y disminución considerable de la longitud de onda del meandro 44 (30 m en Fig. VIII.16.B). Luego del estrangulamiento, el meandro 44 aumentó en gran medida su longitud de onda y radio de curvatura, disminuyendo su amplitud. A su vez rotó en sentido horario, cambiando su rumbo de S a SO. También la sinuosidad del tramo disminuyó de 3 (2006) a 1,9 (2013).

Entre 2013 y 2016 hubo una crecida de $750 \text{ m}^3/\text{s}$ (01/03/2015). Aquí se aprecia como el meandro 42 continua en un proceso de lobulamiento disminuyendo su longitud de onda y aumentando su radio de curvatura. El meandro 43 muestra una leve extensión con lo que aumentó su amplitud. Las márgenes erosivas de los meandros 41 y 43 convergen disminuyendo la longitud de onda desde 100 a 50 m (Fig. VIII.16.C y D). En cuanto al meandro 44 no presento cambios significativos en este último periodo. La sinuosidad para este último periodo aumento a 2.

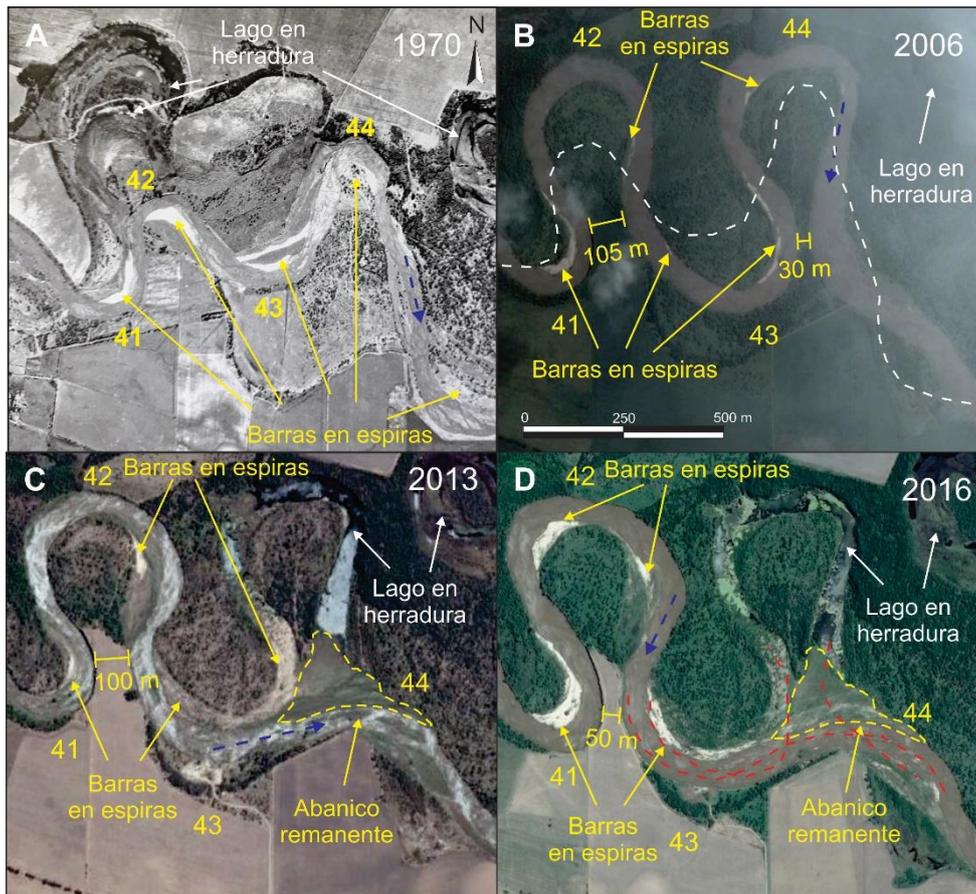


Figura VIII.16: Evolución de meandros del Sitio 3 (Las Acequias), tramo medio río Chocancharava, para el periodo 1970-2016. A) Fotografía aérea de año 1970. B), C) y D) imágenes *Google Earth*®. La línea punteada blanca indica la traza aproximada del río en 1970. Las líneas punteadas rojas en D) muestran el tramo relevado.



Figura VIII.17: Vista aérea de los meandros del tramo medio del río Chocancharava. Sitio 3 (Las Acequias) a pocos días de la crecida de febrero de 2015. Cauce viejo (CV) en línea punteada blanca y cauce actual (CA) en línea punteada azul.

-Relevamiento Planialtimétrico

El gradiente actual del tramo rectificado (puntos relevados, Fig. VIII.18 y 19), es de 0,14%, mientras que en el cauce abandonado de 0,065%. Cabe aclarar que, en este último, debido a problemas de accesibilidad (lagunas- bañados, vegetación), el gradiente se estimó midiendo la diferencia de altura al ingreso y egreso del canal abandonado, mientras que la distancia se midió en la imagen *Google Earth*© (2016). En la figura VIII.19 se muestra el perfil longitudinal del cauce rectificado. La incisión que tuvo lugar luego de este evento fue de 0,6 m entre el cauce viejo y el nuevo, mientras que el acortamiento fue del orden de 1000 m.

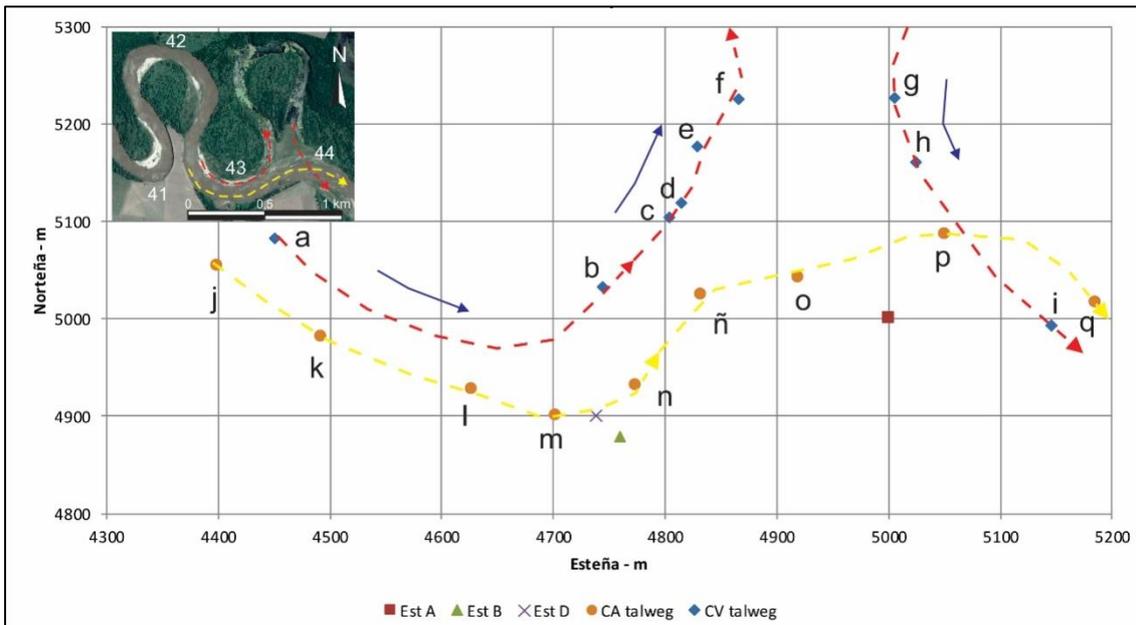


Figura VIII.18: Vista en planta con coordenadas planas arbitrarias de los puntos relevados en el sitio 3 en septiembre de 2017. Las Acequias.

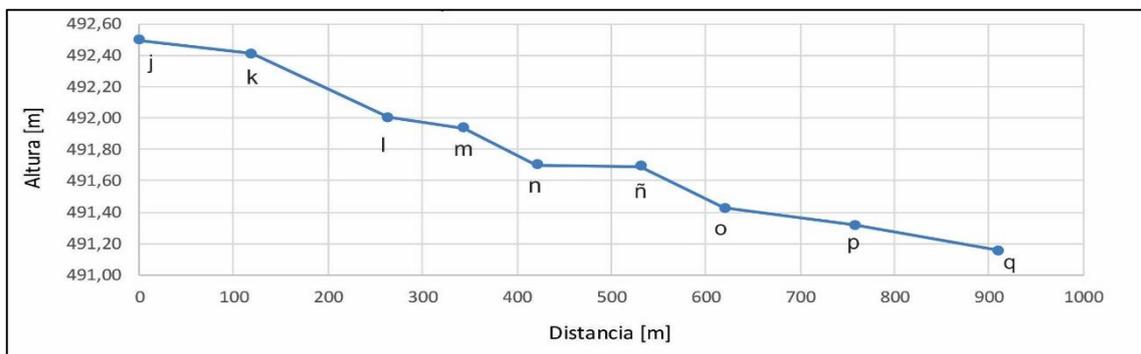


Figura VIII.19: Perfil longitudinal del cauce actual (septiembre- 2017) en meandro rectificado por estrangulamiento - Sitio 3 (Las Acequias), tramo medio río Chocancharava. Escala vertical exagerada.

Con respecto a umbrales de cambio se observó que, previo al estrangulamiento del meandro 44 en el 2007, el índice de sinuosidad para este alcanza un valor de 3,2

con un gradiente calculado de 0,065% aproximadamente. También se observa que el meandro 42 presenta valores similares de sinuosidad (3,16) en el 2016.

SITIO 4 (33°15'55" E – 63°47'39" O).

Se ubica 6 km al NO de la localidad de Alejandro Roca, y se accede al sitio por ruta nacional N°8, ingresando 1700 m de camino rural hacia el SSO (Fig. VIII.6).

-Análisis temporal

En este segmento se analiza la evolución de 4 meandros activos (números 92, 93, 129 y 94 en la figura VII.4 y 5 del capítulo anterior) correspondientes al segmento S3. Se trata de meandros irregulares, con amplitud, longitud de onda y radio de curvatura del orden de 300-500 m, 150-650 m y 50-200 m, respectivamente. Los materiales que componen las márgenes del canal en este tramo son levemente cohesivos, el lecho es aluvional y presentan poco desarrollo de barras en espiras (point-bars).

En la figura VIII.20.A se observa la variación de estos meandros entre 1984 y 2016. En 1984 la sinuosidad de este tramo era de 2,69 y en 2006 aumentó a 3,62. Entre estos años el meandro 92 incrementó su amplitud y disminuyó la longitud de onda y radio de curvatura, mostrando procesos de extensión, y rotó en sentido horario cambiando su orientación E-O a NO-SE. El meandro 93 exhibía un doble lobulamiento lo que generó un nuevo meandro (129) en este periodo. Luego el meandro 93 se mantuvo relativamente estable, mientras que el 129 mostró procesos de extensión y rotó en sentido antihorario. Por su parte el meandro 94 disminuyó la longitud de onda y radio de curvatura debido a la rotación del meandro 129. Producto de estos procesos las márgenes erosivas de los meandros 92 y 94 quedaron a una distancia de 30 m aproximadamente (Fig. VIII.20.B). Durante la crecida de 2007 ($Q=1100 \text{ m}^3/\text{s}$, en ciudad de Río Cuarto) se produce la rectificación por estrangulamiento, disminuyendo la sinuosidad del tramo a 1,1 y, como consecuencia los meandros 92, 93, 94 y 129, quedaron abandonados y parcialmente ocupados por cuerpos lagunares/bañados (Fig. VIII.20.C). Estos reciben aportes freáticos y aún durante crecidas varios años después funciona como zona buffer recibiendo agua y sedimentos (Fig. VIII.20.D)

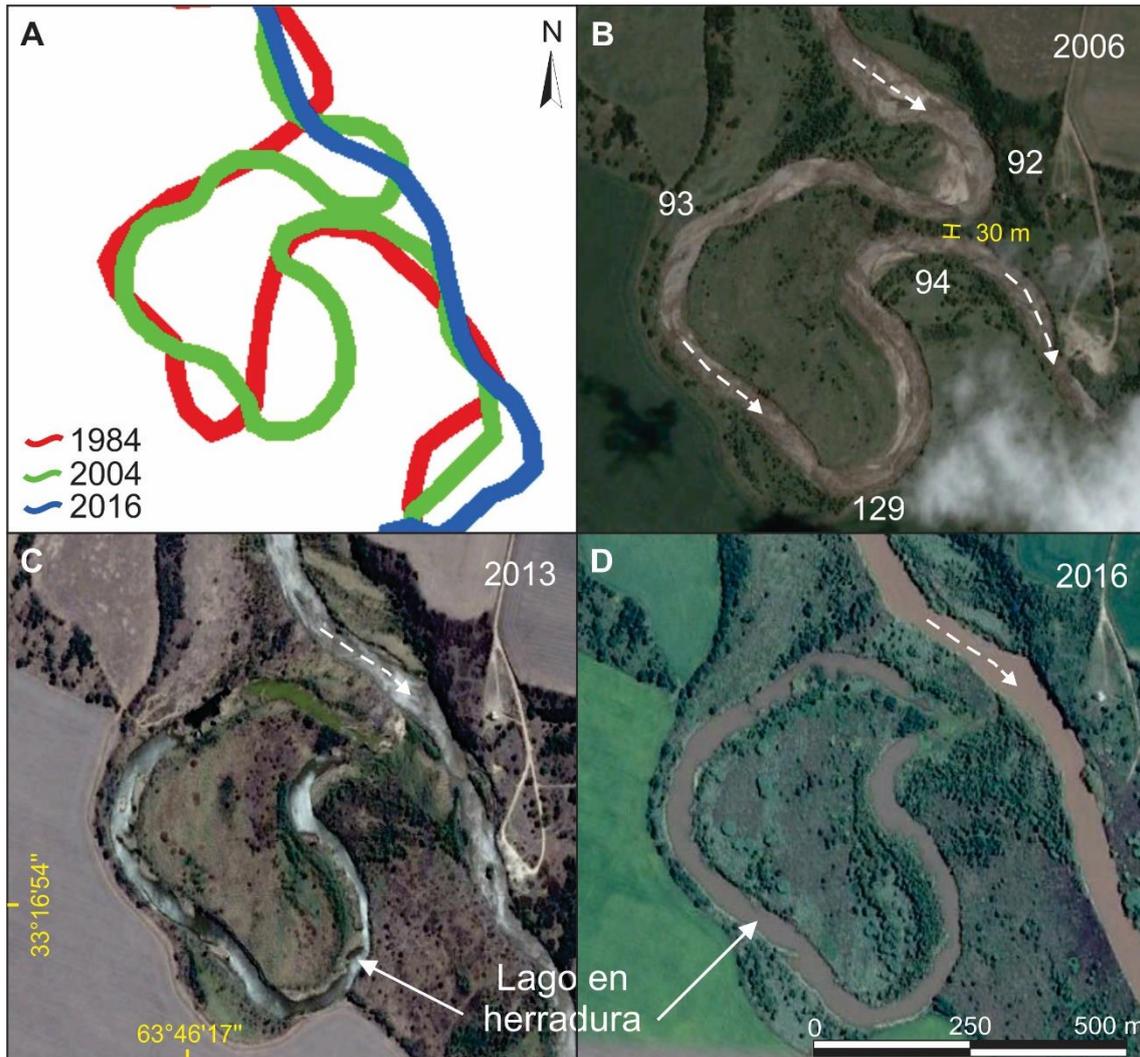


Figura VIII.20: A) Evolución temporal de meandros del segmento 3 (1984-2016) Sitio 4. B), C) y D) imágenes *Google Earth*© mostrando los estadios antes (B) y después de la rectificación (C y D) ocurrida en el año 2007.

En **síntesis del análisis de casos** surge las siguientes consideraciones: En el periodo 2004-2016, durante el cual hubo varias crecidas importantes, se generaron varios tipos de procesos de migración, siendo los cambios más relevantes las rectificaciones tanto por avulsión (S1) como por estrangulamiento (S2 y S3).

- El proceso de estrangulamiento en general fue precedido por un importante lobulamiento que evolucionó de simple a doble (*double heading*). En el segmento S3 este proceso genera meandros multilóbubos (más de dos).

- Previo a la rectificación los meandros aumentan en gran medida su longitud del *talweg*, su radio de curvatura y disminuyen su longitud de onda, incrementando la sinuosidad y disminuyendo el gradiente. Esto genera mayor acreción de espiras y agradación dentro del canal. Cuando la longitud del *talweg* aumenta demasiado, el flujo se desvía contra la margen aguas arriba del ápice original y allí se inicia la erosión, lo

que lleva al desarrollo de un lóbulo (Fig. VIII.21). Las curvas se vuelven demasiado largas para que los sedimentos sean transportados a través de la fosa (*pool*) y se deposita un segundo umbral (*rifle*) en la zona central (Hooke, 1995).

- Para los casos estudiados, la sinuosidad antes de las rectificaciones fue del orden de 3 a 3,6- correspondiendo los mayores valores a sitios con mayor grado de cohesividad de los materiales que componen las márgenes del canal. Por su parte el gradiente previo a la avulsión y/o estrangulamiento fue inferior a 1,2 %. Estos valores de sinuosidad y gradiente pueden ser considerados como umbrales dentro de cada segmento para un rango de caudales, teniendo en cuenta la estabilidad de las márgenes (grado de cohesividad de los materiales y vegetación presente), como un factor condicionante ante los procesos de migración y tasas de erosión de las mismas.

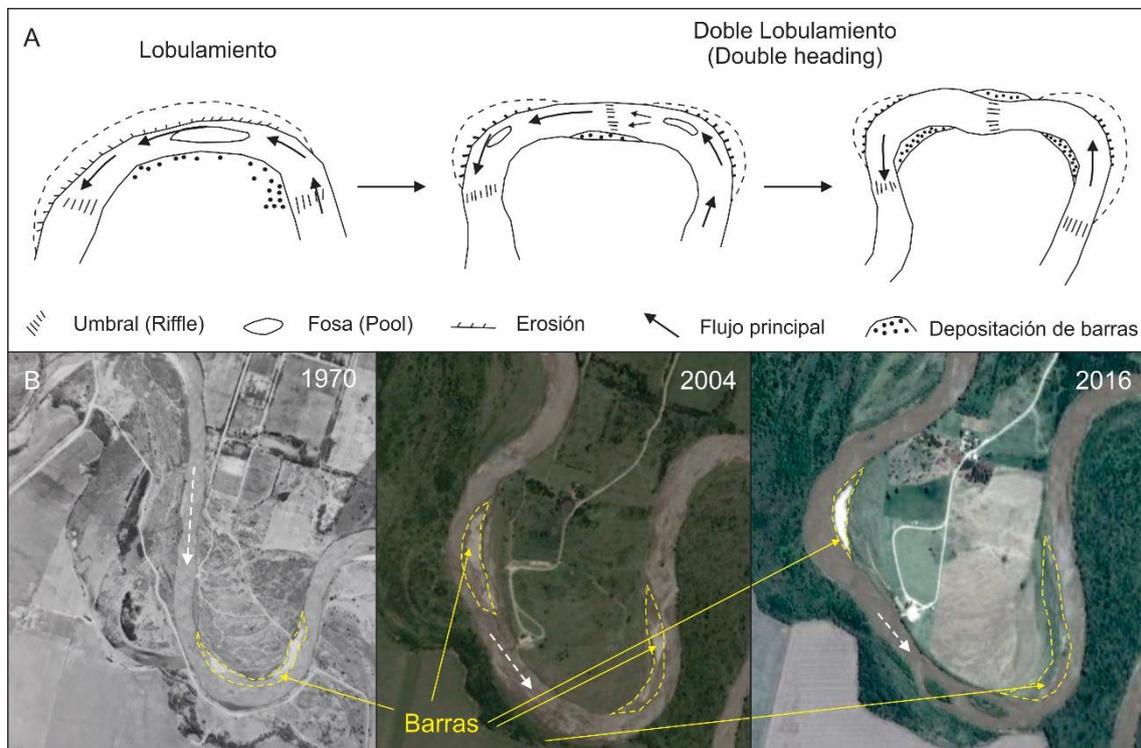


Figura VIII.21: A) Esquema de generación de lobulamiento y doble lobulamiento, tomado de Hooke (1995). B) ejemplo de meandro con estos procesos dentro del tramo medio del río Chocancharava.

CAPÍTULO IX

CAMBIOS DE CANAL: FACTORES DE CONTROL

IX.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas fluviales son considerados sistemas complejos y permanentemente se están ajustando a sus variables de control. De modo simplificado, pueden ser divididos en tres zonas interrelacionadas: la zona 1 (cuenca alta), es el área de donde proviene el agua y los sedimentos, la zona 2 (cuenca media), es la zona de transporte, donde para un canal estable la entrada de sedimentos es igual a la salida, zona 3 (cuenca baja), es el área de depositación. Aunque en las tres zonas hay procesos de erosión, transporte y sedimentación, en cada una de ellas existe un proceso dominante. Cada zona funciona como un sistema abierto y tiene sus propios atributos geomorfológicos, los cuales presentan un continuo desarrollo y cambian a través del tiempo en respuesta a controles que operan aguas arriba, aguas abajo y localmente en el mismo tramo (Schumm, 2005).

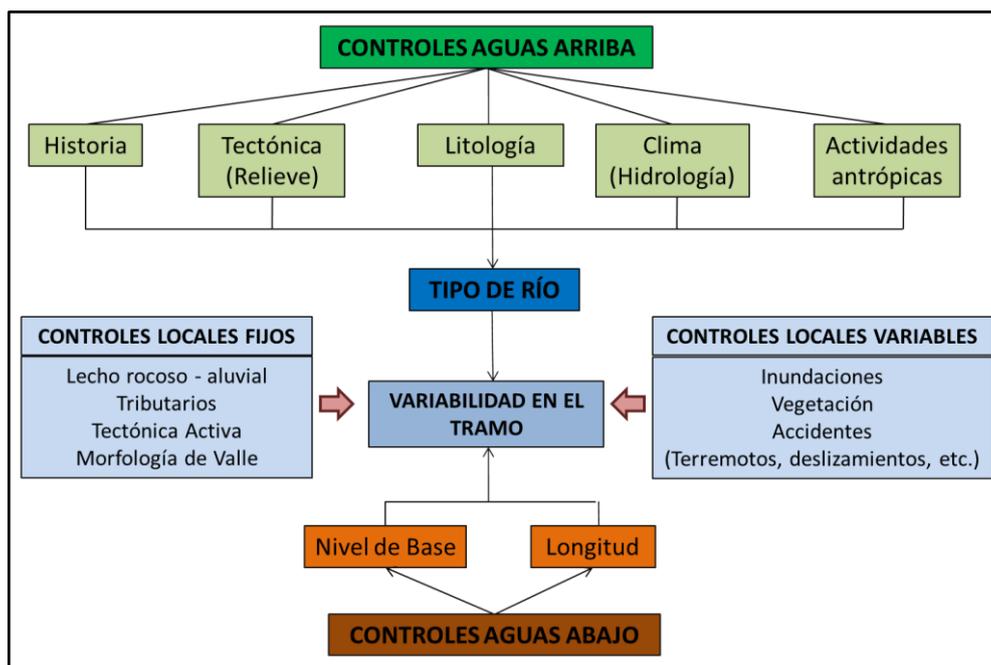


Figura IX.1: Controles aguas arriba, abajo y en tramo del río. Modificado de Schumm (2005)

Como se observa en la figura IX.1 los controles aguas arriba en general, incluyen variables de primer orden, como *tectónica* (relieve), *litología*, *clima (hidrología)* y, secundariamente, las *actividades humanas*, y determinan el **tipo de río** (rectilíneo, meandriforme, entrelazado). Los controles aguas abajo, como nivel de base y longitud del canal, modifican los efectos de los anteriores. Por último, existen controles locales que pueden ser fijos (con mínima variación espacial) como la morfología del valle, materiales del lecho, tributarios y rasgos tectónicos activos, o variables (en espacio y tiempo), como los caudales de crecidas, vegetación y accidentes (por ej. terremotos, deslizamientos, erupciones volcánicas, endicamientos de troncos, detritos, entre otros).

IX.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE CONTROL EN EL AREA DE ESTUDIO

IX.2.1 Controles aguas arriba

Historia de la región

Los cambios tectónicos, climáticos y de nivel de base, ocurridos durante el Cuaternario, todavía ejercen un control importante sobre los ríos actuales y, en muchos casos pueden determinar el tipo de río (Schumm, 2005).

En el caso particular del **río Chocancharava/Cuarto** y sus tributarios, estos cambios fueron significativos, y aún perduran desajustes asociados a ellos, como los patrones meandriformes semiconfinados del tramo pedemontano, la condición de efímero y el diseño entrelazado que presenta el río Seco, la existencia de un valle bien definido en el tramo medio, cuando el curso atraviesa la prolongación meridional de las Sas Chicas, y la tendencia distributaria que preserva su tramo medio-inferior, luego de atravesar el gran paleoabanico construido por el río Chocancharava/Cuarto durante el Neógeno-Cuaternario.

Puede sintetizarse diciendo que el río Chocancharava/Cuarto, al igual que los otros ríos importantes de Córdoba, es antecedente al levantamiento de las Sas. Chicas (Degiovanni *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014), las cuales muestran actividad neotectónica (Gallo, 2011; Bettioli, 2012), que su nivel de base se situaba más hacia el Este, hasta el bloqueo y redireccionamiento generado por la falla de Saladillo y, que, en este contexto tectónico, su caudal ha fluctuado marcadamente en respuesta a los ciclos glaciares e interglaciares (Degiovanni *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014). Esto define para el curso actual, tramos de mayor o menor pendiente, valles bien definidos y con tendencia a la incisión o sectores de agradación y/o distributarios y las características de los materiales que conforman lecho y márgenes, que varían desde fluviales y/o eólicos muy deleznable a secuencias finas cohesivas con alta resistencia a la erosión.

Estas condiciones heredadas, explican en gran medida los cambios de diseño, morfometría y dinámica del canal, observados en el tramo considerado, como se ampliará a continuación.

Tectónica

-La *tectónica* es un importante determinante del tipo de río, ya que genera el relieve primario que desencadena los procesos erosivos, entre ellos los fluviales. Así, relieves montañosos activos en zonas áridas producen gran cantidad de sedimentos gruesos que generan ríos entrelazados anchos, con alta relación ancho/profundidad. En contraste, los relieves más bajos, tectónicamente estables, en particular en regiones húmedas, producen menor cantidad de sedimentos y más finos y los canales que dominan son rectos o sinuosos, de baja relación ancho/profundidad (Schumm, 2005).

La deformación tectónica modifica la pendiente del canal, provocando cambios en la morfología y morfodinámica del mismo, y en las características hidrológicas del sistema fluvial. Schumm *et al.* (2002), indican que cualquier deformación del orden de pocos mm (2-3 mm/año) puede producir rasgos anómalos en una cuenca fluvial. En general en las zonas en ascenso los ríos están encajados, la relación ancho/profundidad es baja y dominan los procesos de erosión; mientras que la subsidencia causa agradación, aumento de la relación ancho/profundidad, inundaciones más frecuentes y presencia de humedales.

Ouchi (1985) analizando los mecanismos de ajuste de ríos entrelazados y meandriformes en respuesta a deformación vertical, señala que aguas arriba de un eje de levantamiento o aguas abajo de uno de subsidencia los rasgos son similares e incluyen alta relación ancho/profundidad, agradación, mayor frecuencia de inundaciones. Contrariamente, aguas abajo de un eje de levantamiento o aguas arriba de uno de subsidencia, incrementa la erosión, baja la relación ancho/profundidad y la frecuencia de inundaciones.

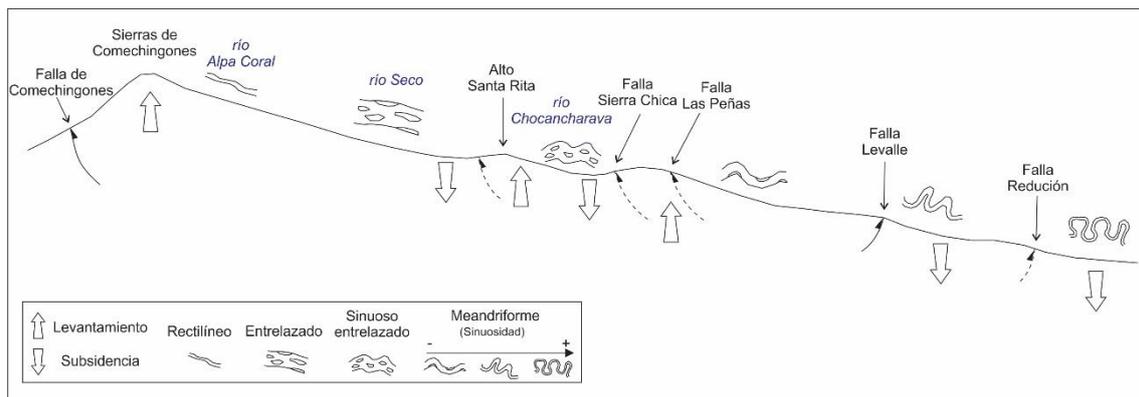
Como ya se mencionara, la región de Sierras y Llanura Pampeana, donde se sitúa el área de estudio, tiene un régimen tectónico compresivo regional desde el Neógeno y presenta evidencias de actividad neotectónica (Costa, 1996; Costa *et al.*, 1999, 2014, 2018; Cantú y Degiovanni, 1997; Degiovanni *et al.*, 2005; Sagripanti, 2006; Sagripanti *et al.*, 2001, 2014, 2018). En este marco de ascenso generalizado, los sistemas fluviales responden con procesos de profundización dominante.

En el caso del río Chocancharava/Cuarto, su cuenca alta desarrollada en las Sa de Comechingones, tiene probada actividad neotectónica, asociada a la estructura principal (falla de Comechingones) y, principalmente a fallas secundarias subparalelas a la principal (fallas de atajo), localizadas en la zona pedemontana occidental (Castaldi

et al., 2017 y 2018; Villalba et al., 2017, Costa et al., 2018; entre otros), y por lo tanto mantiene una tendencia erosiva, dominando el encajamiento en este sector. En la zona extraserrana y hasta proximidades de la ciudad de río Cuarto, donde atraviesa la prolongación meridional de la Sierras Chicas (Gallo, 2011; Bettiol, 2012), presenta variaciones en su diseño de canal, pasando de canales entrelazados a sinuosos semiconfinado o meandriformes, según atraviere bloques deprimidos o elevados.

Aguas abajo de la ciudad de Río Cuarto el curso atraviesa una serie de bloques mayores que paulatinamente descienden hacia el Este, a través de estructuras regionales como las fallas de Las Peñas, Levalle, Reducción, Alejandro–Pampayasta, entre las principales, hasta alcanzar la depresión del Saladillo, que actúa como zona de descarga. En todo este trayecto el diseño de canal pasa de sinuoso con entrelazado superpuesto a meándrico cada vez más sinuoso y tortuoso, como se demostró en el capítulo VII (se analizará con mayor detalle en el ítem IX.2.3). En la figura IX.2, se muestra un esquema que relaciona las principales unidades morfotectónicas con el diseño del canal que adopta el río Cuarto desde su cénica alta hasta la zona de descarga.

Figura IX.2: Esquema mostrando la relación de la tectónica y los patrones de canal. La pendiente



y los cambios de patrón están exagerados para la ilustración.

Litología

-La *litología* afecta a la escorrentía y al aporte de sedimentos y, estas variables influyen en gran medida en el carácter del valle y diseño del canal aguas abajo, (Schumm, 2005). Así, las rocas más resistentes aportarán menos sedimentos, mientras que en las rocas alteradas el suministro es mucho mayor. Desde el punto de vista hidrológico, los hidrogramas de crecida resultan más conspicuos en el primer caso y más achatados en el segundo por la mayor rugosidad.

En el caso del río Chocancharava/Cuarto, de los cuatro tributarios principales, tres de ellos (ríos Alpa Corral-Seco, La Invernada y Las Cañitas), drenan el batolito cerro Áspero y son los que suministran abundantes cantidades de materiales areno-gravosos al curso, y explican el diseño sinuoso entrelazado, con alta relación ancho/profundidad,

o meándrico con barras sobreimpuestas, que domina el tramo pedemontano y medio del río Cuarto (Degiovanni, *et al.*, 2013). Los materiales psamíticos también conforman la carga de fondo de los tramos más sinuosos y confinados que caracterizan la cuenca inferior (Doffo, *et al.*, 2016).

Debe destacarse que en el sector extraserrano, hasta el tramo de estudio, las márgenes están compuestas en general por secuencias aluviales y eólicas deleznable, a excepción de algunos segmentos donde el canal discurre sobre materiales cohesivos de la Fm Pampiano o Chocancharava. Esto define tramos de mayor o menor movilidad lateral y el aporte de sedimentos en general más finos, como los limos-arenas muy finas de origen eólico, con lo cual se incrementa notoriamente la carga en suspensión en dirección aguas abajo. Localmente se incorporan rodados de toscas (Fm. Pampiano y/o Chocancharava) a la carga tractiva de origen serrano (Degiovanni, *et al.*, 2005; Degiovanni, *et al.*, 2013).

Clima

El clima es un factor muy importante en la determinación del tipo de río, ya que controla el carácter hidrológico (efímero, temporarios y permanentes) de las cuencas de drenaje, el tipo y cobertura vegetal que estabiliza las laderas y márgenes del canal y la cantidad y granulometría de sedimentos entregados a los canales activos (Schumm, 2005).

Tal como lo establecen las ecuaciones de geometría hidráulica (Leopold y Maddock, 1953) existe una fuerte relación entre caudal, ancho y profundidad del canal y velocidad del flujo. Si bien los bajos caudales y los caudales medios anuales son muy importantes en la morfología/morfometría del canal, los mayores cambios se generan durante los eventos de crecidas.

El régimen hidrológico de la cuenca de río Chocancharava/Cuarto, está definido por las precipitaciones acaecidas en las Sierras de Comechingones y, como ya se indicara, sus características más destacables son su régimen torrencial y la marcada variabilidad del caudal, no sólo considerando eventos de crecidas sino en un ciclo anual (Capítulo IV). Estos aspectos favorecen el desarrollo de canales entrelazados o sinuosos con entrelazados sobreimpuestos y cambios morfológicos importantes durante los eventos de crecidas (particularmente caudales $>500 \text{ m}^3/\text{s}$) donde, normalmente, ocurren las mayores tasas de migración y rectificación de meandros, degradación de lecho, desbordes y agradación en la llanura de inundación, entre otros.

Actividades humanas

Los impactos humanos sobre los ríos datan desde las civilizaciones más antiguas y son el resultado de una variedad de actividades, entre las que se destacan las intervenciones directas en el canal. Entre ellas, la construcción de diques es la más relevante, ya que estas obras cambian sustancialmente el régimen de flujo y de sedimentos aguas abajo. No obstante, la minería de áridos, dragado, canalizaciones, construcción de albardones, entre otras intervenciones, también tienen efectos muy marcados en la morfología y dinámica del canal. Estos cambios pueden provocar alteraciones a nivel local o de largos tramos del río (Schumm, 2005).

El río Chocancharava/Cuarto no es un curso regulado con presas, por lo tanto, su régimen hidrológico no está alterado, pero la extracción de áridos (arenas y gravas finas) de cauce en el tramo medio es muy significativa. Aguas arriba del tramo de estudio se sitúan las principales areneras que, en conjunto, extraen más del 80 % del volumen total comercializado de las explotaciones. Si bien existen normativas provinciales que regulan la actividad, en la práctica la minería de áridos se lleva a cabo con escaso control por parte de la autoridad de aplicación. Así, el cupo de la extracción depende más de la demanda que de la capacidad de reposición del río, registrándose en algunos sitios y, temporalmente, pérdida total del aluvión de fondo por degradación del lecho. Según Degiovanni *et al.* (2013) los procesos de ajuste derivados tienen efectos localizados, afectando tramos inmediatamente aguas arriba y abajo de los sitios de extracción. Por su parte Corral *et al.* (2005 y 2009), a través de la aplicación de modelos numéricos le asignan mayor impacto en la profundización del cauce en proximidades de la ciudad de Río Cuarto. Estas fluctuaciones en la disponibilidad de carga para el transporte tienen incidencia en el tramo de estudio, localizado inmediatamente aguas abajo, aunque no existen datos precisos de transporte ni de volúmenes de áridos. *El suministro de arenas y gravas del tramo estudiado, estaría estacionalmente afectado y en los períodos de alta producción (2001-2010) se registraría un déficit que se traduciría en incremento de la velocidad y poder erosivo del río.*

IX.2.2 Controles aguas abajo

Cambios en el nivel de base

El aumento o descenso del nivel de base desencadena en los sistemas fluviales, procesos de agradación e incisión, respectivamente, tendientes a restaurar el perfil de equilibrio (Lane, 1955). El rejuvenecimiento de la red de drenaje, vinculado al descenso del nivel de base, genera una onda de erosión retrocedente e incrementa el suministro de sedimentos aguas abajo, causando grandes cambios en el canal y valle (se generan terrazas, por ej.). Por su parte, el ascenso del nivel de base genera un prisma de

acreción que se propaga aguas arriba, incrementando el peligro de desbordes hacia la llanura de inundación. Los procesos de ajuste provocados por cambios en el nivel de base tienen una extensión muy variable en función de la magnitud del cambio, pudiendo afectar la posición vertical de un río sólo localmente o bien extenderse varios kilómetros.

La depresión del Saladillo constituye el nivel de base natural del río Chocancharava/Cuarto, al menos desde el Pleistoceno superior, cuando la actividad de la falla de Saladillo interrumpe el drenaje que se dirigía hacia el Este, y lo redirecciona hacia el NE, (Degiovanni *et al.*, 2005; Carignano *et al.*, 2014). La potencia de sedimentos atravesados en perforaciones efectuadas en la depresión, indican el mantenimiento de capacidad de acomodación durante todo el Holoceno, es decir una actitud tectónica negativa, que perdura hasta la actualidad.

No obstante esta tendencia natural, desde 1950 y, muy especialmente a comienzos de este siglo, se efectuaron canalizaciones y construyeron albardones en el tramo inferior del río Chocancharava/Cuarto-Bañados del Saladillo-río Saladillo, que significaron un descenso del nivel de base y desencadenaron localmente procesos de incisión y, el desplazamiento de la zona de descarga del río Cuarto hacia el centro de la depresión, colmatando los espacios lagunares, (Degiovanni *et al.*, 2005; Doffo *et al.*, 2016).

Las evidencias que surgen del trabajo de Doffo *et al.* (2016) más las observadas en el tramo de estudio, muestran que las ondas de incisión y erosión retrocedente asociadas a estas sucesivas intervenciones, no se propagaron más allá del tramo inferior y que, dada la baja pendiente de la depresión y considerando la alta tasa de sedimentos que transporta el río Chocancharava/Cuarto en eventos de crecidas, la degradación de lecho es superada por la sedimentación, que ocurre dentro del canal, potenciada por la presencia de albardones, que impiden los desbordes. Por otra parte, *en el tramo de estudio, no se observaron rasgos que indiquen profundización en las últimas décadas, no se generaron terrazas nuevas (actúan como llanura de inundación en eventos de crecida meandros abandonados hace décadas, entre otros.)*

Longitud del canal

Muy similar al efecto de cambio en el nivel de base es el efecto de alargamiento o acortamiento del canal. Esto puede ocurrir por avulsión, estrangulamiento y canalización. El acortamiento del canal incrementará el gradiente, mientras que el alargamiento lo reducirá (Schumm, 2005). Un estrangulamiento genera un gradiente más pronunciado, mientras crece y aumenta la amplitud del meandro el gradiente disminuye retomando el perfil de equilibrio.

Las intervenciones mencionadas en el ítem anterior, *alargaron la longitud del río Chocancharava/Cuarto en su área de descarga y, si bien implicaron un descenso del nivel de base, el efecto resultante como se indicó, se tradujo en degradación de lecho inmediatamente después de las obras, superada rápidamente por la tasa de sedimentación*. La sección del canal ha disminuido notoriamente en las últimas décadas y esto se intenta corregir con obras como aumento de altura de albardón y/o dragado para disminuir peligro de desbordes e inundación en la localidad de La Carlota, situada pocos kilómetros aguas arriba de la zona de descarga del río (Doffo *et al.*, 2016).

IX.2.3 Controles locales

Según los *controles locales fijos propuestos* por Schumm (2005), en el tramo estudiado pueden considerarse los siguientes:

Morfología del valle

En general la concavidad o convexidad del piso del valle, al afectar la distribución y velocidad de la corriente, produce incisión o depositación en el canal, respectivamente, para alcanzar el perfil longitudinal de equilibrio. El ancho del valle produce un efecto similar; en las secciones más estrechas concentran caudales de crecidas, por lo tanto, potencian los procesos erosivos, mientras que, en valles más anchos, los caudales son ampliamente distribuidos sobre la llanura de inundación y en el canal no se observan modificaciones significativas (Magilligan, 1992).

Como se presentara en el capítulo VI, las características del valle del tramo medio del río Chocancharava/Cuarto varían según los segmentos analizados, siendo más amplio e incidido en S1, donde las pendientes son más elevadas, el flujo tiende a concentrarse en el eje del valle, predominando el transporte y la erosión. Hacia aguas abajo (S2 y S3) el valle está menos definido y presenta márgenes de menor altura (menos incidido), las pendientes disminuyen y tiene una tendencia a distribuir el flujo hacia la llanura de inundación en crecidas extraordinarias. A pesar de la disipación del valle desde S1 a S3 ante caudales importantes no hay registro de eventos de desbordes fuera del valle a diferencia de aguas abajo, en la zona de la localidad de La Carlota, donde esta sufrió inundaciones en los últimos años.

Litología de lecho y márgenes del canal

La resistencia de los materiales es un factor determinante en la morfometría del valle y del canal, definiendo, por ejemplo, la habilidad de este último para migrar lateralmente (Warner, 1983; Wohl e Ikeda, 1998). Así, márgenes conformadas por sedimentos arenosos se erosionan más rápidamente que las compuestas por materiales

más finos (arcillosos). Cuando en la migración de un meandro se interceptan sedimentos resistentes o rocas, el extremo agua abajo del meandro quedará en una posición fija y el extremo aguas arriba continuará migrando, deformando el meandro (Schumm, 2005). En los materiales más deleznable los meandros son más regulares y, en general, poseen mayor longitud de onda y radio de curvatura que aquellos desarrollados en materiales más finos donde estos parámetros disminuyen y aumenta la amplitud. Éste último caso ocurre cuando un río eroda márgenes compuestas, en general, por materiales más resistentes. En estos ambientes, los meandros pueden deformarse como resultado del efecto del relleno de canales abandonados con sedimentos cohesivos, el canal estrecharse y profundizarse con significativos efectos en las características del flujo y en la forma del lecho (Schumm, 2005)

En el tramo de estudio, como se observa en los perfiles descritos en el capítulo V, en el segmento S1 el fondo y márgenes de canal están conformados por materiales más deleznable, favoreciendo el desarrollo de meandros amplios y en general regulares con valores medios de amplitud (a), longitud de onda (L) y radio de curvatura (r) de 510, 1460 y 360 m, respectivamente y una alta relación L/a . Estas características resultan en un valor de sinuosidad de 1,36, el más bajo del tramo analizado.

El segmento registra una amplia variación tanto espacial como temporal, dominando los procesos de migración "compuestos" (traslación y extensión) y las rectificaciones observadas se generan, principalmente, por "avulsión" (capítulo VIII).

Por su parte, los materiales de las márgenes y lecho de S2 presentan una marcada heterogeneidad, con sectores donde se exponen materiales más cohesivos y otros más deleznable. Así los meandros son menos regulares que S1 y presentan una mayor a (del orden de 680 m) y una menor L (aprox. 1050 m) y r (245 m). En este segmento la sinuosidad incrementa (1,82) y se reduce la relación L/a .

En relación a la dinámica, donde se exponen materiales más cohesivos los meandros tienen mayor estabilidad, mientras que, donde son más erodables, se pudo observar, en el periodo analizado, una amplia variación. Los procesos de migración dominantes son "compuestos" y debido a las características litológicas, cobra gran relevancia la "extensión" seguido del "lobulamiento", procesos que como se mostró en el capítulo VIII, pueden generar "estrangulamientos".

En la mayor parte del segmento S3, el canal circula semiconfinado en materiales más finos y en varios sectores fuertemente cementados (Fm. Pampiano/Chocancharava). Los meandros son más pequeños, muy irregulares a tortuosos y, en general, presentan valores menores de a , L y r , del orden de 460, 610 y 170 m, respectivamente. La relación L/a es alta y la sinuosidad es la mayor de los tres segmentos (1,86). En general, muestra

mayor estabilidad y los procesos de migración que cobran relevancia son la "extensión" y "lobulamiento", siendo este último el predominante. A raíz de esto, S3 ha tenido la mayor cantidad de "estrangulamientos" de meandros asociados a crecidas importantes, y donde por tramos muestran gran estabilidad, características opuestas a S1.

Tectónica activa

Al inicio de este capítulo ya se analizó el efecto de la tectónica como factor de control aguas arriba, los cuales pueden reproducirse a menor escala a nivel de tramo. El efecto principal será el aumento o reducción local del gradiente, o inclinación lateral del bloque que atraviesa el río. Con el fin de ajustarse a estas variaciones, el canal eroda, sedimenta o modifica su sinuosidad, y como consecuencia cambia su patrón de canal (Schumm y Galay, 1994; Schumm y Winkley, 1994). Además, debido al cambio de pendiente, habrá aumento o disminución en la carga de sedimentos. En general, donde la pendiente disminuye, la sinuosidad aumenta y los estrangulamientos (*Cut-offs*) ocurren frecuentemente, mientras que donde la pendiente aumenta la sinuosidad disminuye.

El perfil longitudinal de un río, refleja sus condiciones de equilibrio y. en la actualidad, su análisis es ampliamente utilizado para reconocer y evaluar actividad neotectónica (Ambili y Narayana 2014), en especial se utiliza la posición de los puntos de inflexión.

El río Chocancharava/Cuarto, dentro del tramo analizado, tiene un control estructural definido por bloques submeridianos, en general de carácter regional, (capítulo V), que se evidencia en los cambios de gradiente en el perfil longitudinal. asociado a algunas estructuras regionales con orientación meridional.

En el sector NO del área, el bloque Río Cuarto, definido por las fallas Sierra Chica y Las Peñas, con probada actividad neotectónica (Bettioli, 2012), es el responsable del mayor gradiente del canal (0,32%), que se registra en el segmento S1, inmediatamente aguas abajo del eje del levantamiento. Aquí, el río presenta la más baja sinuosidad del tramo analizado, la mayor tasa de incisión y los mayores valores de los parámetros geométricos de los meandros. Los bloques Las Acequias y Reducción presentan un quiebre en la pendiente disminuyendo el gradiente de 0,2% a 0,11%, respectivamente. Estos puntos de inflexión estarían relacionados a la falla de Levalle y Reducción (Fig. IX.2).

Otra evidencia del control estructural es la dirección de escurrimiento del río, el cuál ingresa al área con dirección NO-SE, inmediatamente cambia a una dirección general O-E hasta la localidad de Reducción (posiblemente condicionada por la falla Río

Cuarto), donde se vuelve predominantemente NO-SE (S3). En proximidades de la localidad de Alejandro Roca nuevamente cambia O-E.

Estos cambios en la dirección del canal se reflejan en las orientaciones de los ejes de simetría de los meandros, los cuales son predominantemente N-S en S1 y N-S, seguido de NNE-SSO en S2, mientras que en S3 son ENE-OSO.

Entre los *controles locales variables* se destacan:

Caudales de crecidas

Los eventos hidrológicos extremos, no sólo modifican el canal sino también el valle, con impacto temporal, el cual disminuye a medida que el canal se reajusta durante crecidas de menor magnitud (Schumm, 2005).

Varios son los factores que determinan los efectos de las crecidas en los ríos. Las elevadas pendientes, las rocas más resistentes y la alta intensidad de las precipitaciones en la cuenca alta son los responsables de las crecidas repentinas (*flash flood*). Los cambios morfológicos en el canal dependen de la ubicación de la fuente del agua, de la magnitud y de la duración de la crecida (Kochel, 1988).

En la región las precipitaciones comenzaron a ser más importantes a partir de 1970 (Blarasin, 2003; Andreazzinni, 2015), lo que se tradujo en mayores caudales medios y eventos de crecidas importantes más recurrentes. Estos caudales disminuyen hacia aguas abajo por la retención de agua y sedimentos en meandros abandonados, que actúan como llanura de inundación, especialmente en S2 y S3. Durante estos episodios, se generaron rectificaciones por avulsión y estrangulamiento como se produjo en 2007, y 2015 con caudales de 1100 y 750 m³/s, respectivamente (Cap. VIII). En S1 se registraron 3 avulsiones de meandros entre 2007 y 2015, en S2 un estrangulamiento en 2007 y en S3 se estrangularon 5 meandros en 2015, aumentando un 25% este proceso con respecto a periodos anteriores.

Vegetación

La vegetación tiene un importante rol en la estabilización de márgenes, causando profundización y estrechamiento de los canales. La variabilidad de la vegetación de las márgenes influye en la morfología del canal y, la remoción de la vegetación tanto de manera natural o por actividad antrópica puede producir cambios del canal (Schumm, 2005).

En S1 la vegetación de márgenes predominante son los gramíneas y pastizales (nivel freático más profundo y dominio de materiales arenosos que retienen poca humedad) que proporcionan un grado de estabilidad bajo. Hacia aguas abajo (S2 y S3) predominan arbustos y árboles, además de pastizales, lo que le confiere un mayor grado de estabilidad a las márgenes (acuífero influente y presencia de materiales más finos que preservan mejor la humedad) (Bianco, *et al.*, 1987).

CAPÍTULO X

CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

- Los tres segmentos definidos según las unidades morfotectónicas mayores del tramo estudiado, presentan diferencias notorias en el gradiente, sinuosidad y parámetros morfométricos de meandros, así como también en la dinámica del canal.

- La morfometría de meandros tiene una marcada relación con la dinámica del canal. Así, en el segmento S1 donde los meandros son amplios, más regulares, con mayor relación longitud de onda/amplitud y radios de curvaturas mayores, predominan los procesos de migración compuestos (traslación y extensión principalmente). En los segmentos S2 y S3, los meandros son menos regulares y tortuosos, respectivamente), más extensos con menores radios de curvatura y una menor relación longitud de onda/amplitud. Los meandros del segmento S3 presentan los menores valores de los parámetros morfométricos analizados. En S2 y S3 también dominan migración compuesta, pero adquieren gran relevancia los procesos de extensión y lobulamiento.

- La rectificación de meandros es un proceso autigénico y ocurre cuando los meandros aumentan demasiado su longitud del *talweg*, incrementando su amplitud, que conlleva a un proceso de lobulamiento (que puede pasar a doble lobulamiento), con lo cual disminuye el gradiente y aumenta la sinuosidad, hasta valores críticos que comprometen el transporte. Los valores umbrales de gradiente y sinuosidad estimados en meandros rectificadas, fueron menores a 1,2% y mayores a 3, respectivamente.

Estos procesos muestran una distribución espacial localizada dentro de cada segmento, es decir que son recurrentes en un mismo tramo del canal y sus efectos no tienen un impacto de significancia aguas arriba y abajo del tramo. Un ejemplo claro de esto son los casos de estudio 2 y 3, donde en el 3 se observaron grandes cambios y recurrencia de procesos y en el 2 que esta inmediatamente aguas arriba, es un tramo muy estable, debido a la alta cohesividad que presentan los materiales de las márgenes en ese sector (Fm. Pampiano)

- Las rectificaciones son procesos que tienen lugar en los 3 segmentos. Siendo en S1 por avulsión y en S2 y S3 por estrangulamiento. En este último la cantidad de

estrangulamientos es mayor. Esta diferencia de procesos entre segmentos se debe a la litología de las márgenes y a la tectónica que controla el gradiente en ellos. En S1 predominan materiales de mayor granulometría y deleznales, con gradientes más elevados, mientras que para los otros segmentos los materiales son más finos con mayor grado de cohesividad. Esta relación incrementa de S2 a S3. En cambio, el gradiente disminuye hacia aguas abajo. El grado de cohesividad de los materiales hace que los segmentos muestren meandros de alta estabilidad con muy baja tasa de migración, siendo S3 el que muestra mayor cantidad.

- Al igual que los parámetros morfométricos, la dinámica de meandros está relacionada a un esquema morfotectónico regional, que permite establecer diferencias entre los segmentos definidos y los procesos de migración predominantes en cada uno de ellos

- Los procesos de ajuste derivados de la extracción de áridos, tienen efectos localizados, afectando tramos inmediatamente aguas arriba y abajo de los sitios de extracción. Las fluctuaciones en la disponibilidad de carga para el transporte podrían tener incidencia en el tramo de estudio, localizado inmediatamente aguas abajo. El suministro de arenas y gravas del tramo estudiado, estaría estacionalmente afectado y en los períodos de alta producción (2001-2010) se registraría un déficit que se traduciría en incremento de la velocidad y poder erosivo del río intensificando los procesos de migración de meandros inmediatamente aguas debajo de la ciudad de Río Cuarto.

- Las ondas de incisión y erosión retrocedente asociadas a las sucesivas intervenciones en el tramo inferior, no se propagaron más allá de este. Así, en el tramo de estudio, no se observaron rasgos que indiquen profundización en las últimas décadas, no se generaron terrazas nuevas y actúan como llanura de inundación en eventos de crecida meandros abandonados hace décadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambili, V. y Narayana, A.C. 2014. Tectonic effects on the longitudinal profiles of the Chaliyar River and its tributaries, southwest India. *Geomorphology*, 217, 37-47.
- Andreazzini, J. y Degiovanni, S. 2011. Diseño de canal en el sector pedemontano del río Las Cañitas, Córdoba. Factores de control, morfodinámica e implicancias ambientales. 18º Congreso Geológico Argentino, Actas CD: 1426–1427. Neuquén.
- Andreazzini, M.J., 2015. Análisis de los procesos de ajuste en sistemas fluviales serranos-pedemontanos frente a cambios ambientales. Cuenca del río Las Cañitas, Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 438 p., Río Cuarto.
- Benito, M. E., 2018. Estudio de la Conectividad Hidrológica y Sedimentológica en dos ambientes litológicos de la cuenca del río Las Tapias, cuenca alta del río Cuarto, Córdoba. Tesis de licenciatura de la Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 224p. Río Cuarto.
- Bense, F., Löbens, S., Dunkl, I., Wemmer, K., y Siegesmund, S. 2013. Is the exhumation of the Sierras Pampeanas only related to Neogene flat-slab subduction? Implications from a multi-thermochronological approach. *Journal of South American Earth Sciences* 48:123–144.
- Bense, F., Wemmer, K., Löbens, S. y Siegesmund, S. 2014. Fault gouge analyses: K–Ar illite dating, clay mineralogy and tectonic significance a study from the Sierras Pampeanas, Argentina. *International Journal of Earth Sciences* 103(1): 189–218.
- Bettiol, A., Estudio Neotectónico al Sur de la sierra de Las Peñas, en fallas con actividad Cuaternaria. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto, 115 p. Río Cuarto.
- Bianco, C., Krauss, T., Anderson, I. y Cantero, J.J., 1987. Las Formaciones vegetales del suroeste de la provincia de Córdoba. *Revista UNRC* 7 (1), pp 5-66.
- Blarasín, M., 2003. Geohidrología ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 200 p. Río Cuarto.
- Blarasin, M., S. Degiovanni, M. Cantú, C. Eric, A Cabrera, M. Villegas, N. Doffo, A. Becker, J. Cisneros, J. Gonzalez y C. Cholaky. 1994. Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la ruta Nacional

- 7, entre Laboulaye y Villa Mercedes, y la ruta Nacional No 8, entre Canals y Villa Mercedes. Convenio U.N.R.C. y Empresa Caminos del Oeste S.A. Inédito.
- Blarasin, M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas, M. 2005. Aguas Superficiales y Subterráneas en el Sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental 19-30. Universidad Nacional de Río Cuarto.
 - Bonacci, M. C., 2018. Caracterización morfodinámica del tramo pedemontano del río San Bartolomé. Influencias Tectónicas y Climáticas. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto, 183 p. Río Cuarto.
 - Bonaluni, A., Martino, R., Sfragula, J., Carignano, C. y Tauber, A. 2005. Hoja Geológica Villa María (3363-I). Segemar. 74 p.
 - Brice, J. C. 1982. Stream channel stability assessment. Rep. No. FHWA/RD. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, 42p.
 - Campanella O. y Origlia, D., 2015. Manejo de instrumentos y métodos de relevamientos. Apunte de la asignatura Cartografía. Departamento de Geología, UNRC.
 - Cantú, M. 1992. El Holoceno en la Provincia de Córdoba. En: Iriondo, M. (ed.) Holoceno de la República Argentina. CADINQUA, 1: 1–16. Paraná. Argentina.
 - Cantú, M. y S. Degiovanni, 1982. Rasgos tectónicos de la región Centro-Sur de la provincia de Córdoba. II Jornadas Científicas de la Fac. de Cs. Ex., Fco.-Qcas. Y Nat. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Inédito.
 - Cantú, M. y Degiovanni, S. 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de la Provincia de Córdoba. 9º Congreso Geológico Argentino. Actas 4: 76–92. San Carlos de Bariloche.
 - Carignano, C. 1996. Evolución geomorfológica de las planicies en la Provincia de Córdoba durante el Pleistoceno superior. Revista del Instituto de Geología y Minería 11: 7–26.
 - Carignano, C. 1997a. Caracterización y evolución durante el Cuaternario superior de los ambientes geomorfológicos extraserranos en el noroeste de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 208 p. Córdoba.
 - Carignano, C. 1997b. El Holoceno de la Provincia de Córdoba. Revista del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy; Lugar: San Salvador de Jujuy 11:1–20.
 - Carignano, C. 1999. Late Pleistocene to recent climate change in Córdoba province, Argentina: geomorphological evidence. Quaternary International 57-58: 117–134.
 - Carignano, C., D. Krörling, S. Degiovanni y M. Cioccale. 2014. Geomorfología. En: Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales

- de la Provincia de Córdoba. (Eds Roberto D. Martino y Alina B. Guerreschi), Pág. 747-821, Córdoba, 2014. Asociación Geológica Argentina. 1a Ed. - Soporte CD-ROM. ISBN 978-987-22403-8-7.
- Castaldi G. S, Villalba D. y Villegas M. B. 2017. Nuevas secciones en el extremo sur del Sistema de Falla Comechingones. Villa del Carmen – La Punilla, San Luis. Tucumán. Actas 20º Congreso Geológico Argentino. Pags 26 – 28.
 - Castaldi, G., Villalba, D. y Sagripanti, G. 2018. Evidencias de deformación cuaternaria asociadas a la Falla La Aguada. Extremo Sur del Sistema de Falla de Comechingones. XVII Reunión De Tectónica y VI Taller De Campo En Tectónica. La Rioja. Actas: pág. 35.
 - Chebli, G., M. Mozetic, E. Rossello y M. Bühler, 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.
 - Chiappero, S. 2013. Hidrogeoquímica de un sector de la Llanura fluvioeólica imperfectamente drenada - Bañados del Saladillo. Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura (inérita), 198 p. Río Cuarto.
 - Corral, M., Hillman, G., Pagot, M., Moya, G., Baldissone, M., Rodriguez, A., López, F., Hiruela, J., Martínez, R., Díaz, A., González, J., Bazán, G. y H. Muratore, 2005. Influencia de la extracción de áridos en los Ríos II y IV de Córdoba. En: RIOS 2005: Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos. (H. D. Farias, J. D. Brea y R. Cazeneuve, Eds.). Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, Argentina.
 - Corral M., Baldissone M., Farias H., Rodriguez A. y López F. 2009. Balance sedimentológico simplificado para el río Cuarto, Córdoba. En RIOS 2009: Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Salta, Argentina. 13 p.
 - Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E. y Coppolecchia. M. 2014. Neotectónica. En: Relatorio XIX Congreso. Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. (Eds R. D. Martino y A. B. Guerreschi), Pág. 747-821, Asociación Geológica Argentina. 1a Ed. - Soporte CD-ROM. ISBN 978-987-22403-8-7.
 - Costa, C., Lewis, A., Ricci, W., Johnson, W., y A., Halperin. 2018. Holocene activity and seismogenic capability of intraplate thrusts: Insights from the Pampean Ranges, Argentina. *Tectonophysics* 737. 57–70.
 - Dasso, M., Piovano E., Pasquini, A., Córdoba, F., Lecomte, K., Guerra, L. y Campodónico, V. Recursos Hídricos superficiales. En: Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. (Eds Roberto D. Martino y Alina B. Guerreschi), Pág. 1209-1231, Córdoba, 2014.

- Asociación Geológica Argentina. 1a Ed. - Soporte CD-ROM. ISBN 978-987-22403-8-7.
- Degiovanni, S., 2005. River response to environmental changes: monitoring of geoindicators in representative reaches of Chocancharava and Achiras-del Gato streams, Cba, Arg. Holocene Environmental Catastrophes in South America: From the Lowlands to the Andes. Mar Chiquita (Cba), Argentina.
 - Degiovanni, S. 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del Aº Achiras - del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 597 p. Río Cuarto.
 - Degiovanni, S., Villegas, M., Cantú, M. y Doffo, N. 1996. Los efectos de la intervención antrópica sobre la dinámica erosiva del río Cuarto, Córdoba, Argentina. Inédito.
 - Degiovanni, S., M. Villegas y N. Doffo, 1998. Auditoría Ambiental: Efectividad de las obras de mitigación de procesos erosivos en el río Cuarto. 2º Reunión Nacional Geológica Ambiental y Ordenación del Territorio, 56-63.
 - Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti, 2005. Hoja Geológica Río Cuarto-3263-III Sec. Minería de la Nación – SEGEMAR, 90 p.
 - Degiovanni, S., Cabrera, A. e Iparraguirre, J. 2012. Caracterización del funcionamiento hidrogeológico y morfodinámico del humedal pampeano "Laguna Pagliero"- Complejo lagunar La Felipa. Córdoba. Argentina. Memorias 11º Congreso Latinoamericano de Hidrogeología y 4º Congreso Colombiano de Hidrogeología CD: p. 5. Cartagena de Indias, Colombia.
 - Degiovanni, S., M. Villegas y J.P. Ulla, 2013. Análisis de la carga de fondo y dinámica de transporte en el río Cuarto, Cba., como base para una minería de áridos sustentable. Revista de la Asociación Geológica Argentina 70 (2): 238-348.
 - Degiovanni, S., Echevarria, K., Andreazzini, J. y N. Doffo, 2014. Los sistemas fluviales del sur de Cba: alteraciones históricas, procesos de ajuste y consecuencias ambientales. Actas XIX Congreso Geológico Argentino. Cba. 2 p.
 - Doffo N., S. Degiovanni, K. Echevarria y Andreazzini J. 2016. Caracterización morfohidrológica del tramo inferior del río Cuarto y los Bañados del Saladillo y determinación de la peligrosidad de inundación de la localidad de La Carlota. Informe técnico, Universidad Nacional de Río Cuarto (Inédito), 136 p., Río Cuarto.
 - Downs, P. W. y K.J. Gregory, 1993. The sensitivity of River Channels in the Landscape System. Ed. J. Wiley and Sons Ltd.
 - Downs, W. D., 1995. River Channel Adjustment Sensitivity to Drainage Basin Characteristics: Implications for channel management planning in South-East

- England. En: *Geomorphology and Land Management in a Changing Environment* (McGregor, D. y A. Thompson Eds.). John Wiley & Sons Ltd. p. 247-263.
- Downs, P., Dusterhoff, S.R. y W.A. Sears, 2013. Reach-scale channel sensitivity to multiple human activities and natural events: Lower Santa Clara River, California, USA. *Geomorphology* (189): 121–134.
- Duncan, W., Warburton J. and Bracken, L. 2008. Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. *Geomorphology* 94 131–152.
- Eric, C.F. 1986. Geología del Cuaternario en el río de Las Barrancas, Dpto. Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Licenciatura (inédita). Río Cuarto.
- Ferpozzi, L. 1988a. Principales rasgos geomorfológicos y dinámica hídrica de un sector de la llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba, República Argentina. 2º Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, Actas. p. 23. Bogotá.
- Ferpozzi, L. 1988b. Paleoformas eólicas reconocidas entre los 32° y 33°45' lat. S, en un sector de la llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba, República Argentina. 2º Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos; Actas 32 p. Bogotá.
- Gallego, S. O., Moreno, R. I., & Campos, P. A. (2014). Cambios en la geometría de los meandros de la cuenca media del río Arias (Salta, Argentina) por efecto de la construcción del embalse GRAL. Belgrano. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. (GESIG-UNLU, Luján)*, 6(6), 201-225.
- Gallo, M., 2011. Estudio neotectónico de la falla de la Sierra Chica de Córdoba, en la sección Las Peñas-Los Condores. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Río Cuarto. Inédito 103 p.
- Gordillo, C. y Lencinas, A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En Turner, J.C. (ed.) *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias 1: 577–650. Córdoba.
- Groeber, P. (1938). *Mineralogía y Geología*. Espasa-Calpe Argentina, 492pp.
- Hickin, E. J., 1983. River channel changes: retrospect and prospect. In: Collinson, J.D. and Lewin, J (Eds), *Modern and ancient fluvial systems*, Blackwell, Oxford, 61-83.
- Hooke, J.M., 1984. Changes in river meanders: a review of techniques and results of analyses. *Progress in Physical Geography* 8:473-508.
- Hooke, J. M. 1986. The significance of mid-channel bars in an active meandering river. *Sedimentology* 33 (6), 839–850.
- Hooke, J. M. (1995). Processes of channel planform change on meandering channels in the UK. *Changing river channels*, 87-115.

- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Am. Bull. 56:275-370.
- Iriondo, M. 1981. Antigüedad del último cambio climático en el litoral. Ecología 6: 5–8.
- Iriondo, M. 1989. Major fractures of the Chaco-Pampa Plain. En Morner, N. (ed.) Bulletin of INQUA, Neotectonics Commission N.A. 12: 1–42.
- Iriondo, M. 1990a. Map of the South America plains -Its present state. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 6: 297–308.
- Iriondo, M. 1990b. The Northern Pampa. En Loess Stratigraphy and Geomorphology of the Pampas (Post-symposium field excursion). International Symposium on Loess, INQUA.
- Iriondo, M. 1990c. The Late Holocene dry period in the Argentina plains. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 7: 197–218.
- Iriondo, M. 1997. Models of Deposition of Loess and Loessoids in the Upper Quaternary of South America. Journal of American Earth Science 10: 71–79.
- Iriondo, M. 1999. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. Quaternary International 57/58: 93-112.
- Iriondo, M. 2010. Geología del Cuaternario en Argentina. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino. Ediciones Moglia, 437 p. Corrientes.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario superior). 13º Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27–48. Buenos Aires.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 2007. Geomorfología y Sedimentología de la Cuenca Superior del Río Salado (Sur de Santa Fe y Noroeste de Buenos Aires, Argentina). Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis 14: 1–23.
- Iriondo, M., Kröhling, D. y Brunetto, E. 2011. Aridization, dune dissipation and pedogenesis in the Quaternary of Eastern Pampean Sand Sea. En Murphy, J. (ed.) Sand Dunes: Conservation, Shapes/Types and Desertification. Nova Science Publishers, Inc. 1–42. USA.
- Klaassen, G.J. & G. Masselink (1992), Planform changes of a river with fine sand as bed and bank material. Proc. Fifth Int. Symp. River Sedimentation, Karlsruhe, pp.459-471.
- Knighton, A. D., 1984. Fluvial Forms and Processes. Ed. Edward Arnold. London.
- Kröhling, D. 1998. Geomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Carcarañá, desde la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, provincias de

- Córdoba y Santa Fe. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita)
224 p. Córdoba.
- Kröhling, D. e Iriondo, M. 1999. Upper Quaternary Palaeoclimates of the Mar Chiquita Area, North Pampa, Argentina. *Quaternary International* 57/58: 149–163.
 - Langbein, W.B., 1965. Geometry of river channels: closure of discussion. *Journal of the hydraulics division American Society of Civil Engineers*, 91(3), 297-313.
 - Leopold, L. y M. Wolman, 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. *U.S. Survey Prof. Paper* 282 D
 - Leopold LB, Wolman MG. 1960 River meanders. *Bull Geol Soc Am* 71:769–794.
 - Leopold, L. B., 1995. *A view of the river*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England. 295 pp.
 - Leopold, L.B. y W.B. Langbein, 1962. The concept of entropy in landscape evolution. *United States Geological Survey Professional Paper* 500A, 20 pp.
 - Löbens, S., Bense, F., Wemmer, K., Dunkl, I., Costa, C., Layer, P. y Siegesmund, S. 2011. Exhumation and uplift of the Sierras Pampeanas: Preliminary implications of K-Ar fault gouge dating and low thermal geochronology in the Sierra de Comechingones, Argentina. *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)* 100: 671–694.
 - Nanson, G. C. y Knighton, A. D. 1996. Anabranching Rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 217-239.
 - Osterkamp, W.R. y S.A. Schumm, 1996. "Geoindicators for the river and river-valley monitoring". In *Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Ed. Bezer.
 - Passotti, P., 1974. La Neotectónica en la Llanura Pampeana. *Publicaciones LVIII, Instituto de Fisiografía y Geología. Universidad Nacional de Rosario*. Pp. 1-32.
 - Ramos, V. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En *Caminos, R. (ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29(3): 41– 96. Buenos Aires.
 - Pedraza Gilsanz, J., 1996. *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*. Ed. Rueda, Madrid.
 - Russo, A., R. Ferello y G. A. Chebli, 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, I: 139-163.
 - 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.

- Sagripanti, G., Villalba, D., Villegas, M., Castaldi, G., Benito, E. y Muratore N., 2014. Avances en la Valoración del Peligro Sísmico en Fallas con Actividad Cuaternaria. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Revista ASAGAIA N° 32: 93-105.
- Sagripanti, G., Villalba, D., Castaldi, G., Giménez, M., Aguilera, D. y Giaccardi, A. 2018. Actividad cuaternaria asociada a la falla Las Rosas, Sierras Pampeanas de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 75(3): en prensa.
- Scheidegger, A. E., 1964. Some implications of statistical mechanics in geomorphology: Internat. Assoc Sci. Hydrol., Bull., 9 (1):12-16.
- 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.
- Schumm, S.A., 2005. River Variability and Complexity. Cambridge University Press, UK.
- SSRH, 2011. Página web Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformacionHidrica.html>
- Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Amer. Geophys. Union Trans. ,38: 913-920.
- Summerfield M.A., 1997. Global Geomorphology. An introduction to the study of landforms. Ed. Longman.
- Thorndycraf, V., G. Benito y K.J. Gregory, 2008. Fluvial geomorphology: A perspective on current status and methods. Geomorphology, Volume 98, Issue 1-feb, June 2008, Pages 2-dec.
- Ulla, J.P. 2008. Variación de parámetros sedimentológicos y su relación con la descarga e intervenciones de cauce en la cuenca media alta del río Chocancharava, Córdoba. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédito) 159 p. Río Cuarto, Córdoba.
- Villalba D., Castaldi, G. y Sagripanti, L. 2017. Nuevas Evidencias de Actividad Cuaternaria en la sierra de Comechingones: Falla La Esther. Actas 20º Congreso Geológico Argentino. Tucumán. Págs. 192 – 193.
- Villegas, M., 1996. Una visión holística del ecosistema del río Cuarto, Córdoba, Argentina. Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Inédito.
- Windhausen, A. (1931). Geología Argentina. Geología Historica y Regional del Territorio Argentino. J. Peuser, II: 1-645, Buenos Aires.
- Yang, C., 1971. Potencial energy and stream morphology. Water Resources Research 7, 311-22.

ANEXOS

ANEXO 1 – Análisis granulométrico



Mapa ubicación de los lugares muestreados en el campo.

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

Sr

Fecha: 28/12/2016

Muestra: F2 (río Cuarto)

Facies:

Procedencia: Abanico avulsión (estancia Aimar)

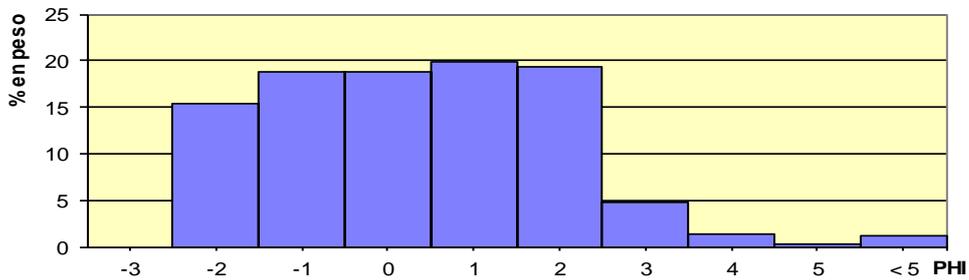
Peso original: 1145,8509 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	175,2295	15,29	15,29
T-10	-1	Sabulo	214,7612	18,74	34,04
T-18	0	Arena muy gruesa	215,8942	18,84	52,88
T-35	1	Arena gruesa	227,7136	19,87	72,75
T-60	2	Arena media	222,187	19,39	92,14
T-120	3	Arena fina	55,3772	4,83	96,97
T-230	4	Arena muy fina	16,3632	1,43	98,40
T 270	5	Limo grueso	2,9149	0,25	98,66
base	< 5	Pelitas	12,7864	1,12	99,77

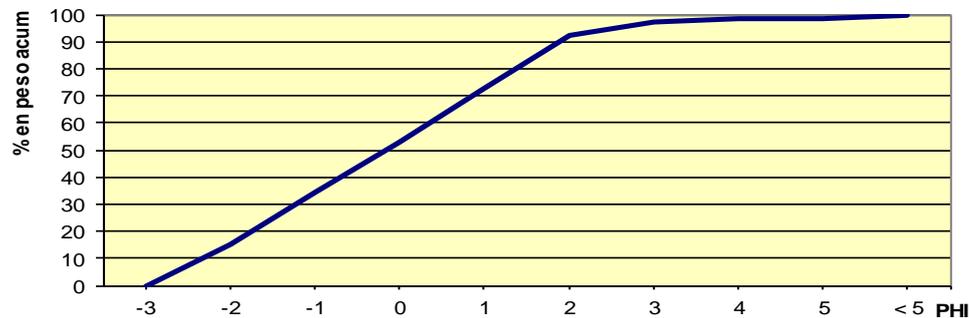
Nombre:

Observaciones: 1 clasto cuarzofeldespatico redondeado de 23,1643 gr

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1= -2,935
 Percentil 84= 1,580
 Desvío= 1,683
 Asimetría= 0,010
 Curtosis= 0,830

Media= -0,178
 Moda=
 Pobremente seleccionado
 Casi simétrica
 Platicúrtica

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

Sr

Fecha: 31/05/2017

Muestra: F3

Facies:

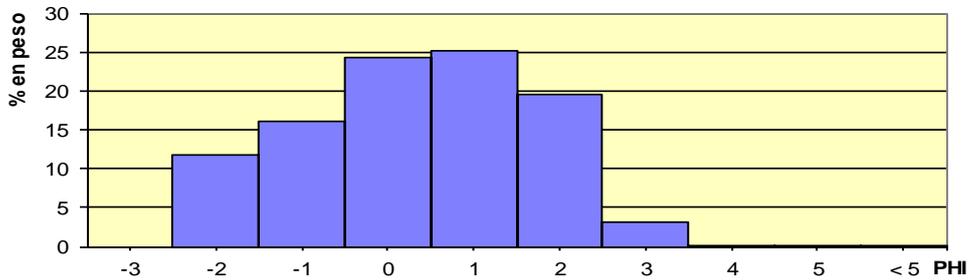
Procedencia: Canal Río Cuarto Arenera Bringas abandonada Peso original: 698,9 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	82,30	11,78	11,78
T-10	-1	Sabulo	111,70	15,98	27,76
T-18	0	Arena muy gruesa	169,10	24,20	51,95
T-35	1	Arena gruesa	175,9	25,17	77,12
T-60	2	Arena media	135,9	19,44	96,57
T-120	3	Arena fina	22,6	3,23	99,80
T-230	4	Arena muy fina	0,2	0,03	99,83
T 270	5	Limo grueso	0,2	0,03	99,86
base	< 5	Pelitas	0,1	0,01	99,87

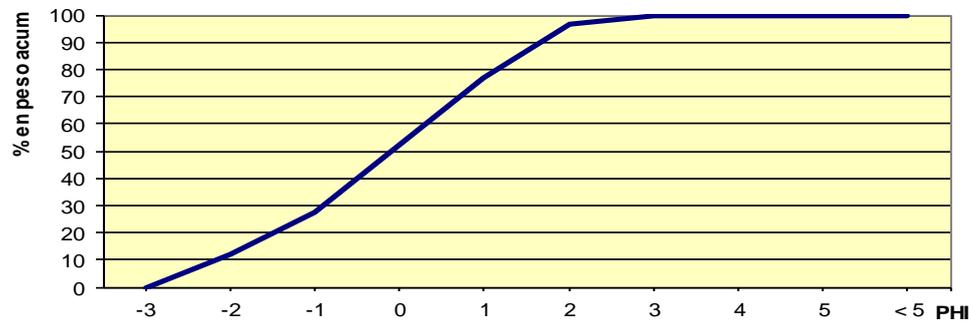
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,915	Media=	-0,154
Percentil 84=	1,354	Moda=	
Desvio=	1,453	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	-0,091	Casi simétrica	
Curtosis=	0,882	Platicúrtica	

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

Sr

Fecha: 31/05/2017

Muestra: F4 M1 Canal Paso del Durazno

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto

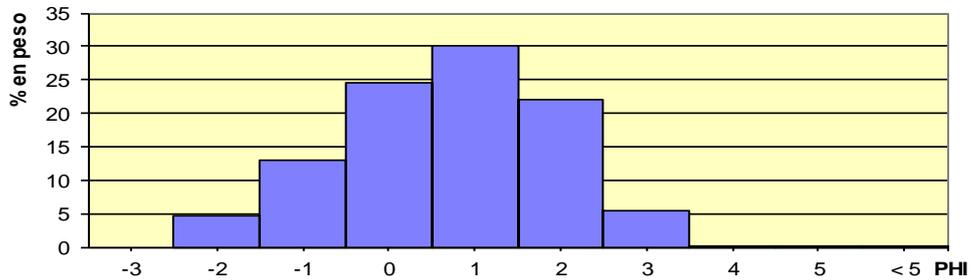
Peso original: 701,1 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	32,70	4,66	4,66
T-10	-1	Sabulo	90,30	12,88	17,54
T-18	0	Arena muy gruesa	172,10	24,55	42,09
T-35	1	Arena gruesa	211,1	30,11	72,20
T-60	2	Arena media	155,2	22,14	94,34
T-120	3	Arena fina	38,7	5,52	99,86
T-230	4	Arena muy fina	0,4	0,06	99,91
T 270	5	Limo grueso	0,1	0,01	99,93
base	< 5	Pelitas	0,1	0,01	99,94

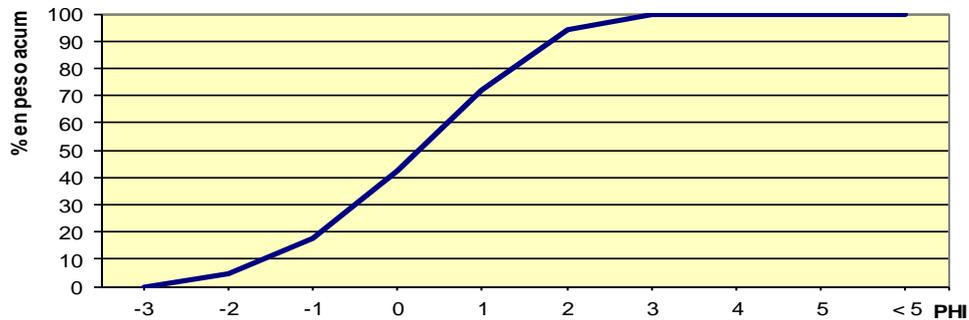
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-2,786	Media=	0,225
Percentil 84=	1,533	Moda=	
Desvio=	1,284	Pobremente seleccionado	
Asimetría=	-0,067	Casi simétrica	
Curtosis=	0,921	Mesocúrtica	

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

Sr

Fecha: 31/05/2017

Muestra: F5 M1

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto

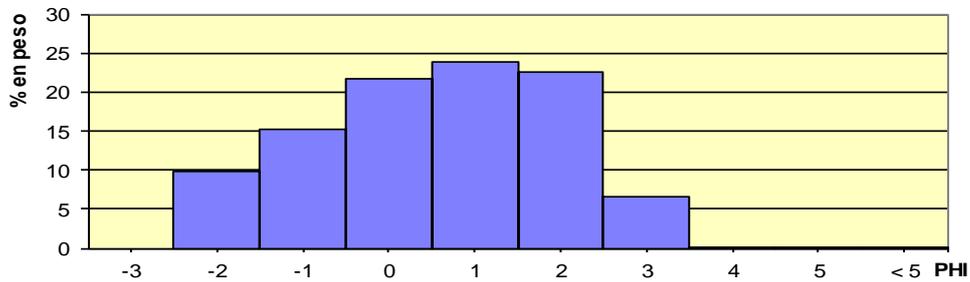
Peso original: 626 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	61,80	9,87	9,87
T-10	-1	Sabulo	94,80	15,14	25,02
T-18	0	Arena muy gruesa	135,40	21,63	46,65
T-35	1	Arena gruesa	149,1	23,82	70,46
T-60	2	Arena media	141,1	22,54	93,00
T-120	3	Arena fina	41,3	6,60	99,60
T-230	4	Arena muy fina	0,9	0,14	99,74
T 270	5	Limo grueso	0,4	0,06	99,81
base	< 5	Pelitas	0,1	0,02	99,82

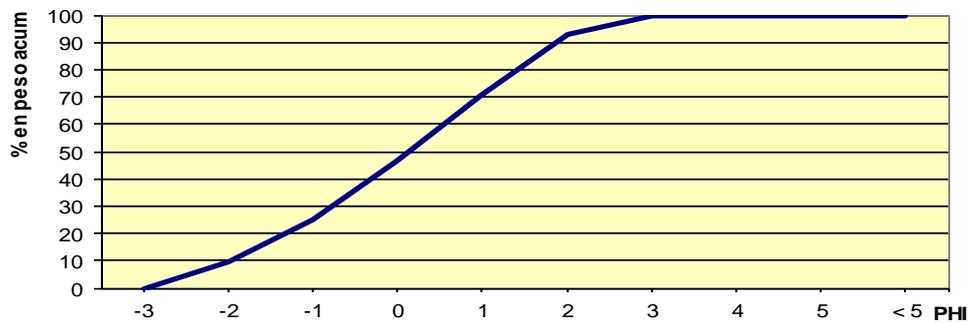
Nombre:

Observaciones: 1 clasto obalado de 7x3x2cm y muñeca de tosca de 6x2x1

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1= -2,899

Media= 0,049

Percentil 84= 1,601

Moda=

Desvio= 1,526

Pobremente seleccionado

Asimetría= -0,093

Casi simétrica

Curtosis= 0,893

Platicúrtica

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

Sr

Fecha: 31/05/2017

Muestra: F6

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto puente Reducción

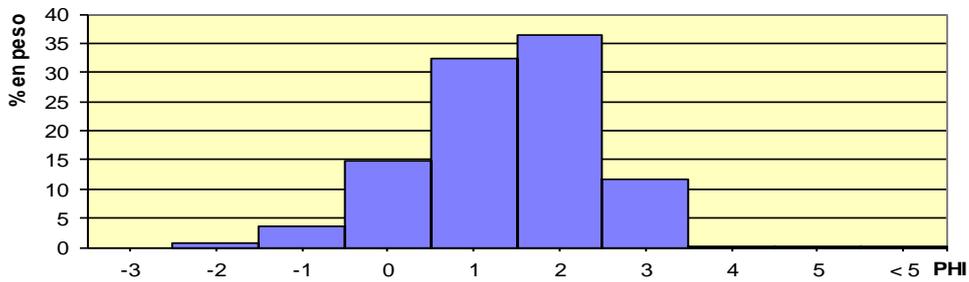
Peso original: 648 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	4,50	0,69	0,69
T-10	-1	Sabulo	22,40	3,46	4,15
T-18	0	Arena muy gruesa	96,10	14,83	18,98
T-35	1	Arena gruesa	210,7	32,52	51,50
T-60	2	Arena media	235,5	36,34	87,84
T-120	3	Arena fina	76,3	11,77	99,61
T-230	4	Arena muy fina	1,6	0,25	99,86
T 270	5	Limo grueso	0,2	0,03	99,89
base	< 5	Pelitas	0,1	0,02	99,91

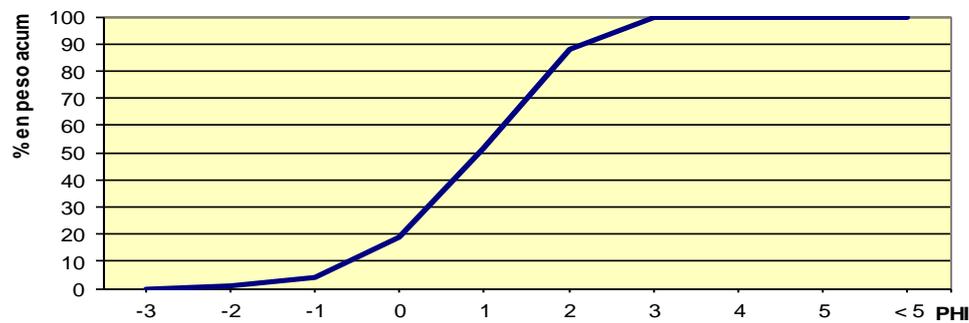
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1= -1,912

Media= 0,882

Percentil 84= 1,894

Moda=

Desvío= 1,062

Pobremente seleccionado

Asimetría= -0,085

Casi simétrica

Curtosis= 0,996

Mesocúrtica

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

Sr

Fecha: 31/05/2017

Muestra: F7 M1

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto

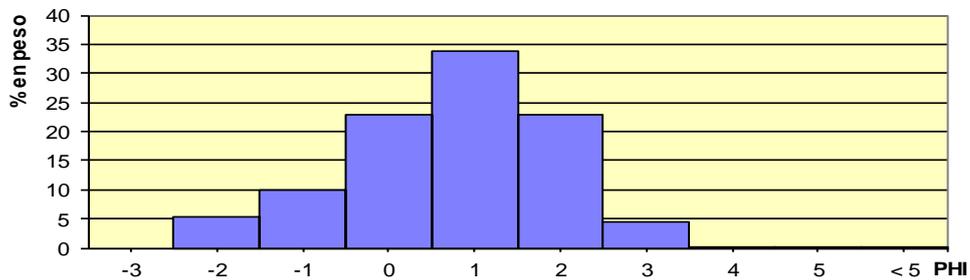
Peso original: 648,4 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	34,10	5,26	5,26
T-10	-1	Sabulo	65,20	10,06	15,31
T-18	0	Arena muy gruesa	148,90	22,96	38,28
T-35	1	Arena gruesa	219,5	33,85	72,13
T-60	2	Arena media	149,1	23,00	95,13
T-120	3	Arena fina	29,2	4,50	99,63
T-230	4	Arena muy fina	0,7	0,11	99,74
T 270	5	Limo grueso	0,2	0,03	99,77
base	< 5	Pelitas	0,1	0,02	99,78

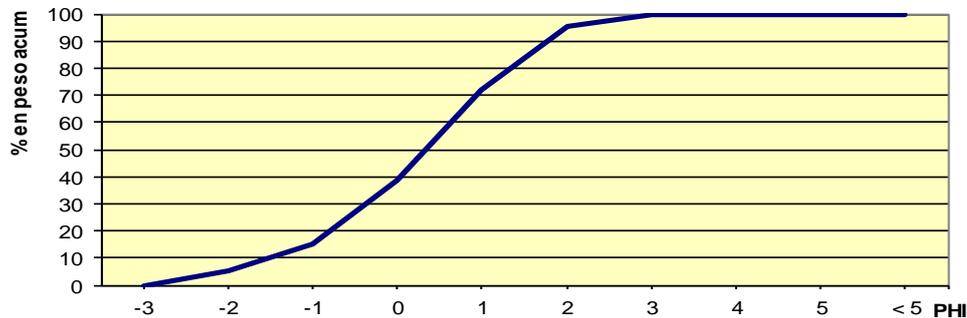
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1= -2,810

Media= 0,297

Percentil 84= 1,516

Moda=

Desvio= 1,234

Pobremente seleccionado

Asimetría= -0,122

Negativa

Curtosis= 0,973

Mesocúrtica

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

Sr

Fecha: 24/05/2017

Muestra: F8 canal

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto

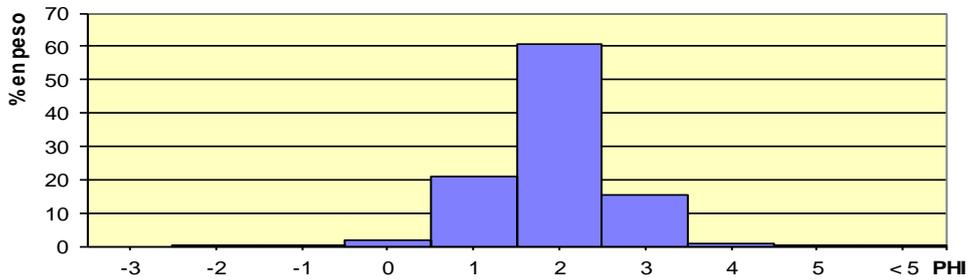
Peso original: 542,3 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	0,20	0,04	0,04
T-10	-1	Sabulo	1,50	0,28	0,31
T-18	0	Arena muy gruesa	10,30	1,90	2,21
T-35	1	Arena gruesa	113,5	20,93	23,14
T-60	2	Arena media	328,4	60,56	83,70
T-120	3	Arena fina	82,6	15,23	98,93
T-230	4	Arena muy fina	4,6	0,85	99,78
T 270	5	Limo grueso	0,7	0,13	99,91
base	< 5	Pelitas	0,2	0,04	99,94

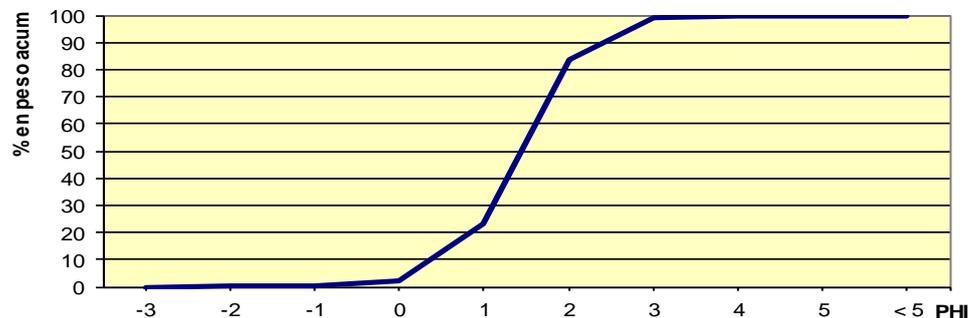
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Percentil 1=	-0,639	Media=	1,374
Percentil 84=	2,020	Moda=	
Desvío=	0,736	Moderadamente seleccionado	
Asimetría=	-0,079	Casi simétrica	
Curtosis=	1,295	Leptocúrtica	

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

Sr

Fecha: 24/05/2017

Muestra: F9

Facies:

Procedencia: Canal Río Cuarto

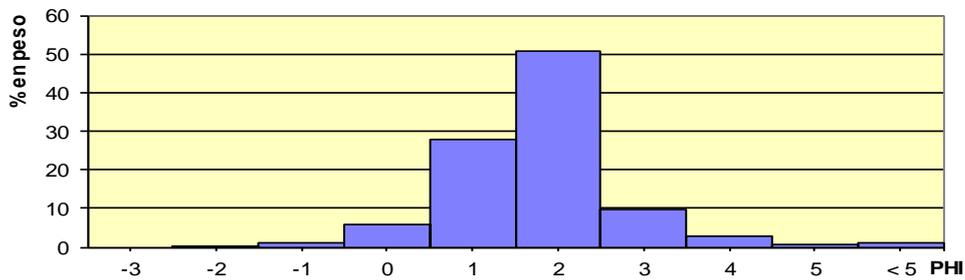
Peso original: 532,6 gr

Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	0,50	0,09	0,09
T-10	-1	Sabulo	5,70	1,07	1,16
T-18	0	Arena muy gruesa	31,60	5,93	7,10
T-35	1	Arena gruesa	147,5	27,69	34,79
T-60	2	Arena media	271,2	50,92	85,71
T-120	3	Arena fina	52,6	9,88	95,59
T-230	4	Arena muy fina	14	2,63	98,22
T 270	5	Limo grueso	2,3	0,43	98,65
base	< 5	Pelitas	6,1	1,15	99,79

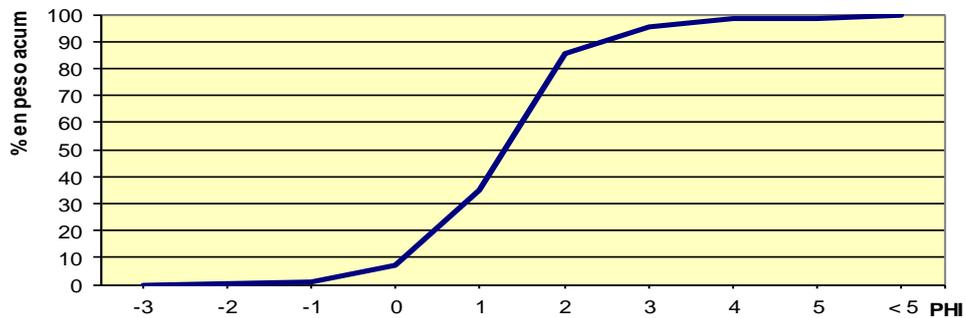
Nombre:

Observaciones:

ANALISIS TEXTURAL



Curva de frecuencias acumuladas



Sr

Fecha: 24/05/2018

ANEXO 2: Tabla de parámetros morfométricos

	MEANDROS	N (número de meandros)			LONGITUD DEL TALWEG			AMPLITUD			LONGITUD DE ONDA			RADIO DE CURVATURA		
		1984	2004	2016	1984	2004	2016	1984	2004	2016	1984	2004	2016	1984	2004	2016
SEGMENTO 1	1	23	23	24	1779,94	1719,34	1477,15	658,97	545,42	675,73	2030,01	1839,22	1409,77	670,2	725	645,8
	2				878,33	1162,09	1123,63	779,76	749,83	657,44	1708,52	1700,36	1687,43	307,15	460,16	414,88
	3				1465,2	1134,22	1510	284,37	301,79	521,27	2063	1932,18	2223,72	1098,28	651,65	701,71
	4				692,63	1288,8	1104,85	403,44	567,85	500,94	1464,52	1713,2	1818,29	336,93	526,64	615,61
	5				774,51	1015,67	1139,39	300,56	658,64	510,62	1137,22	1135,16	1609,28	355,61	321,74	407,79
	6				648,77	742,72		555,39	787,45		1202,46	995,3		199,07	79,8	
	7				1114,68	1419,96		804,25	1063,63		1194,9	912,28		201,63	276,36	
	8				1434,45	1760,36	1130,85	811,1	1185,52	489,47	1597,03	1268,25	1225,09	369,7	293,34	319
	121					1153,72	773,42		302,04	401,75		2075,16	1285,75		637,88	280,23
	133						761,61			312,93			1513,92			387,58
	9				1299,33	1417,11	1307,71	560,04	530,81	716,96	1698,68	1685,67	1598,39	505,39	608,45	469,65
	10				847,48	1113,61	1367,17	430,09	761,83	926,77	1526,65	1525,53	1640,22	425,31	227,9	310,97
	122					962,09	1257,23		613,33	818,58		1627,78	1604,89		353,99	348,88
	11				861,88	1007,92	1034,74	471,69	563,59	798,4	1091,78	1481,91	1500,87	174,34	409,22	269,73
	12				993,35	1432,89	1674,44	456,11	477,25	638,25	1210,15	1764,49	1725,88	386,39	757,5	634,59
	134						602,81			264,85			1153,99			310,85
	135						730,34			174,6			977,14			381,08
	13				729,44	813,53	752,72	505,86	564,21	587,74	606,5	635,56	567,47	119,19	174,62	168,83
14	711,97	701,08	765,43	441,04	607,14	644,81	797,17	692,81	821,63	180,18	176,87	184,9				
15	568,44			253,2			956,11			279,53						
16	424,05			261,46			677,07			174,62						
123		1093,22	1058,4		422,57	451,51		1436,08	1542,41		453,82	489,29				
17	445,15			278,86			715,48			178,38						
18	597,63			354,31			598,39			147,34						

	124				966,05	1093,34		303,46	346,07		1444,64	1539,21		627,3	589,9	
	19				420,74	369,68	467,64	388,6	268,62	339,87	1174,84	1220,24	1146,48	110,14	190,64	280,02
	20				1479,36	877,17	700,86	502,79	347,97	384,83	1521,13	990,08	814,07	664,92	343,71	102,03
	21				773,66	463,32	488,32	357,97	335,54	242,47	1728,76	419,06	335,48	373,51	94,6	57,29
	22				1382,7	1803,93	1793,34	770,76	892,86	830,77	1215,9	1052,42	952,97	223,9	485,29	509,44
	23				839,37	816,24	862,65	645,03	659,8	729,2	1101,61	666,99	610,54	179,39	164,38	134,92
SEGMENTO 2	24	38	38	38	666,39	595,53	443,92	499,88	386,19	263,56	832,5	864,02	722,32	73,51	160,99	136,47
	25				1284,02	1264,57	1417,78	939,69	878,59	805,12	1093,14	993,82	1047,77	260,52	243,02	259,26
	26				1600,27	1502,24	1539,62	669,52	709,47	683,32	2034,56	2083,42	2188,66	586	471,03	544,93
	27				617,39	774,16	899,38	549,43	549,18	537,6	1289,02	1360,14	1209,61	181,47	176,77	322,91
	28				662,95	747,85	768,12	525,12	539,81	613,84	1040,57	1053,28	1087,52	195,25	207,36	154,9
	29				1196,4	1209,69	1344,95	826,83	873,84	950,31	1243,09	1286,82	1441,15	128,71	256,33	237,75
	30				1253,31	1565,82	1658,59	818,25	853,17	914,46	1407,48	1418,09	971,01	227,14	256,53	285,37
	31				1454,87	1835,59	878,03	916,55	925,43	897,96	1221,39	1071,32	1041,29	207,07	165,58	141,64
	32				915,36	910,1	1040,5	635,22	707,21	731,7	868,04	671,51	517,47	196,58	213,42	184,33
	33				326,97			240,57			532,27			124,88		
	34				675,56			430,26			260,48			126,18		
	125					763,01	564,82		519	256,99		843,19	396,72		57,36	61,92
	35				659,93	777,47	721,2	332,12	415,93	276,05	804,98	928,27	643	230,43	236,21	209,86
	36				706,91	838,07	896,5	240,55	328,22	356,26	998,87	1115,82	1117,25	451,91	420,27	401,01
	37				403,21	794,04	805,37	323,45	558,16	643,16	570,85	442,05	408,01	109,67	159,99	170,86
	38				248,2	329,68	560,04	105,25	331,04	378,07	840,06	801,36	950,77	148,33	111,2	129,16
	39				789,85	906,2	425,36	264,99	389,4	368,25	1299,5	1155,46	1272,97	520,94	370,09	436,75
40	1079,67	999,53	1021,57	360,47	430,68	356,01	1446,52	1517,67	1483,31	590,84	462,24	494,2				
41	622,02	723,84	864,67	565	661,77	632,03	740,09	731,35	786,72	143,67	133,86	119,23				
42	796,76	979	1182,88	619,02	765,25	778,66	563,24	512,34	268,85	105,06	176,02	249,38				
43	772,58	1118,49	896,65	660,28	793,77	555,56	721,49	650,89	1184,97	137,33	184,89	240,12				

	44				1022,05	981,92	754,12	856,19	862,81	327,53	807,07	651,84	1244,21	122,49	199,22	299,76
	45				1699,11	1965,59	768,24	1048,8	1031,47	474,24	1486,75	1644,09	689,75	439,4	488,69	215,65
	46				1477,04	1761,02	1798,85	821,38	821,72	736,63	1588,2	1599,92	1069,08	462,95	496,41	559,98
	47				760,92	703,8	584,35	245,14	419,5	440,23	1874,28	1866,27	1434,43	608,54	288,47	53,19
	48				1029,6	1335,98	1557,75	336,55	634,97	669,2	1609,59	1681,16	1761,31	550,69	480,37	470,2
	49				1020,96	1097	1277,99	714,52	1020,88	1088,79	910,71	923,25	831,05	290,8	185,6	249,18
	50				974,61	1531,58	1624,47	532	905,73	980,09	1071,85	1828,96	1764,88	310,02	412,63	434,83
	51				851,97	1278,83	1393,24	541,85	801,05	824,03	627,13	824,56	816,02	124,44	211,41	304,23
	126					544,44	681,58		214,55	241,04		824,39	1051,05		218,94	193,07
	52				1126,08	1176,17	1294,96	687,05	656,29	889,01	634,37	733,04	828,94	204,08	268,1	283,5
	53				838,08	1118,37	968,58	498,57	644,8	692,35	1229,75	1268,32	1298,74	290,07	306,08	301,35
	54				716,69	897	1214,83	709,95	799,64	831,49	1046,09	1039,65	982,49	149,12	205,99	204,28
	55				1227,25	1288,49	1198,92	844,68	955,33	1006,79	1020,41	876,91	973,22	186,87	213,54	205,14
	56				1016,22	1269,07	1422,04	441,12	609,09	754,53	1386,56	1523,95	1583,85	443,34	504,08	519,32
	57				700,45	758,85	721,33	336,89	356,08	574,6	1485	1599,74	1561,38	346,72	352,19	209,22
	58				1247,14	1093,54	1566,34	768,91	771,51	812,14	1633,61	1419,27	1205,84	268,57	332,5	429,01
	59				1460,2	1711,56	1580,45	1044,91	1044,79	937,39	907,53	732,46	744,26	206,46	346,98	354,32
	60				726,71	1130,34	1499,13	1019,78	1127,13	1147,8	792,54	1070,9	1050,35	157,24	204,13	188,56
	61				1581,53	1619,27	1453,62	576,94	651	685,26	1798,53	1925,28	1911,98	626,75	614,96	526,13
SEGMENTO 3	62	59	57	54	805,4	968,91	895,84	510,03	579,09	632,58	1171,54	990,74	847,38	262,19	260,89	202,46
	63				682,32	569,23	825,7	478,23	455,41	474,45	858,38	743,14	740,36	151,92	142,18	141,17
	64				1317,65	1466,81	2116,02	1262,62	1271,32	1296,54	782,69	791,31	750,79	247,36	254,46	297,21
	65				1692,69	1754,52	1929,26	1326,69	1358,55	1347,67	666,2	737,8	691,96	98,97	109,11	106,75
	66				763,01	1012,12	921,37	450,12	515,68	509,8	514,07	452,89	444,87	149,16	184,1	187,67
	67				590,11	295,43	395,4	330,6	272,86	254,03	1001,19	709,86	567,21	239,22	99,51	94,46
	68				517,91	661,07	608,3	366,33	458,97	380,14	344,58	335,56	297,81	78,32	129,82	128,31
	69				545,79			273,91			425,68					

69a												
69b												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
127												
127a												
127b												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
128												
86												
87												
88												
89												
90												
	476,16	574,38		187,23	209,34		616,39	606,58		170,39	206,45	
	674,32	679,46		274,31	262,94		511,04	554,04		191,41	211,36	
	378,98	485,63	588,77	139,83	505,48	473,72	352,04	734,75	611,38	84,97	126,34	129,7
	2473,67	2856,04	2740,59	1195,18	1387,09	1463,9	873,41	838,98	745,81	108,67	460,58	442,04
	589,39	885,68	1067,3	696,29	700,98	780,87	860,11	377,15	340,02	430,19	151,98	170,93
	684,19	1138,58	988,37	275,6	540,32	617,75	862,57	1073	1207,29	90,78	250,32	275,52
	809,17	691,01	1026,21	325,6	406,26	561,22	824,29	570,47	851,06	306,7	164,06	205,8
	337,63	554,44	609,89	314,44	220,21	277,39	464,14	611,68	718,21	389,67	246,46	131,65
	677,29	692,83	894,12	470,92	567,6	564,05	519,64	812,64	250,06	70,53	91,21	182,79
	648,49			779,48			822,03			91,07		
	914,56			469,99				1393,16			287,48	
		542,81			246,55				637,48			89,82
		624,15			179,15				685,56			105,55
	2005,9			1090,39			257,13			119,91		
	721,41			553,23			725,44			134,5		
	786,74	873,83	878,36	342,45	496,57	300,58	895,55	962,12	908,99	141,71	240,31	456,02
	343,87	543,45	182,81	348,99	459,99	93,59	768,28	547,12	339,37	338,45	89,75	96,29
	960,32	758,56	263,13	297,81	413,31	94,8	756,59	874,61	384,71	77,73	214,95	287,14
	355,1	734,97	1228,66	320,52	525,73	594,18	426,91	576,21	320,84	322,64	101,91	195,24
	321,22			153,19			460,5			71,51		
	266,21			150,53			474,01			128,4		
	738,49	1031,92		465,07	634,42			301,02	300,2		130,85	152,25
	399,47			337,27			209,85			104,13		
	361,09			91,17			667,35			64,1		
	638,25	876,37	1084,3	351,66	475,61	450,85	617,55	639,72	690,45	212,26	163,08	248,56
	531,65	681,02	856,04	347,49	554,14	615,71	517,32	546,57	536,2	178,39	139,46	160,14
	178,13			74,37			404,45			128,21		

91	238,04			122,16			420,9			103,85		
92	670,65	386,82		332,88	274,67		697,36	136,11		108,58	80,41	
93	871	807,29		527,83	398,72		530,11	500,41		174,99	202,1	
129		585,87			420,11			284,3			92,4	
94	886,16	592,51		411,99	425,3		604,62	412,88		169,95	47,99	
130		337,5	347,6		121,54	215,43		441,4	437,74		138,34	142,56
95	547,07	607,57	681,54	279,63	338,54	432,49	763,81	609,24	515,16	218,73	122,84	62,95
96	411,01	441,72	590,46	322,53	356	452,46	413,18	385,93	382,09	190,95	95,22	102,86
131		347,27	413,13		127,32	161,12		456,82	436,88		161,82	147,47
132		226,28			103,4			490,44			176,39	
97	740,26	742,95	848,52	414,92	444,1	434,13	344,61	371,05	358,91	67,54	138,1	155,02
98	291,44	532,02	679,27	160,83	270,13	362,3	577,43	548,56	662,72	153,66	124,01	187,51
99	629,76	723,55	915,29	492,08	489,45	518,47	686,08	667,31	719,96	95,47	128,08	118,09
100	916,96	1011,51	1054,82	542,2	628,94	654,27	728,42	726,48	739,71	112,06	63,96	185
101	223,59	277,5	243,42	125,12	125,45	133,61	332,17	223,77	250,16	184,54	66,22	62,21
102	177,97	276,63	274,78	71,38	102,49	91,66	264,82	396,66	269,29	87,93	108,51	84,54
103	537,66	615,68	707,87	272,43	425,96	493,94	596,44	705,32	714,29	70,75	210,57	94,61
104	707,75	884,5	886,66	391,45	399,95	389,08	513,98	346,32	274,37	83,34	186,17	224,18
105	541,93	543,41	609,89	229,92	282,48	300,09	664,35	838,13	841,48	201,78	111,28	182,57
106	477,38	678,99	655,52	325,72	474,91	456,82	365,32	400,31	339,43	180,69	149,72	114,8
107	943,41	1008,78	1048,89	588,57	557,67	573,56	429,96	445,81	399,23	118,47	185,72	161,88
108	901,39	1021,13	1072,78	668,96	726,65	700,06	491,64	618,3	543,09	131,31	93,53	185,98
109	1051,6	989,67	1084,42	477,52	584,43	517,23	855,78	819,12	821,85	178,23	171,99	260,82
110	779,48	926,23	909,98	508,04	530,48	538,78	699,34	460,71	615,99	105,23	161,57	175,01
111	778,88	739,9	797,86	574,62	556,09	561,67	349,42	323,36	406,61	159,34	166,38	161,22
112	704,46	866,64	827,49	448,7	495,51	482,88	551,3	535,14	417,27	165,07	136,36	173,1
113	464,53	536,1	534,28	298,82	354,66	343,88	695,83	618,9	600,79	170,96	185,2	99,14

114	696,32	692,35	728,45	438,48	403,61	341,29	961,75	748,04	627,84	71,02	158,36	171,76
115	990,17	1008,09	1005,73	713,99	728,43	729,4	856,88	829,38	820,97	215,87	231,11	179,14
116	1117,01	1245,77	995,01	631,9	652,46	568,62	1082,76	1294,24	1168,87	145,83	170,69	276,78
134			524,6			190,15			915,76	371,77		300,22
117	1180,19	1083,26	659,45	456,54	511,49	432,38	1093,67	951,33	745,44	226,51	220,11	171,92
118	843,19	1026,46	1015,73	497,07	868,05	519,43	890,27	1401,33	886,67	152,92	269,6	210,53
119	981,32	1141,42	1174,2	594,75	679,31	619,69	641,63	523,8	447,43	207,25	153,73	267,74
120	467,29	710,26	582,82	300,83	328,6	322,86	831,54	671,02	647,07	137,78	90,02	144,83