



Alteraciones morfohidrológicas en el tramo inferior del Río Cuarto, Córdoba (Argentina), producidas por obras de control de inundaciones

Nelso DOFFO^{1,3}, Susana DEGIOVANNI¹, Karina ECHEVARRIA^{1,2,3}, Jimena ANDREAZZINI¹ y María SANTINELLI^{1,3}

¹Departamento de Geología – UNRC, Río Cuarto, Córdoba.

²Universidad Nacional de los Comechingones, Merlo, San Luis.

³Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA), CONICET, Río Cuarto, Córdoba.

E-mail: ndoffo@exa.unrc.edu.ar

Editor: Francisco Córdoba

Recibido: 6 de abril de 2020

Aceptado: 31 de agosto de 2020

RESUMEN

El río Cuarto drena una cuenca de 2500 km², desde la sierra de Comechingones hasta los Bañados del Saladillo, y constituye el principal aporte de agua y sedimentos a los bañados. El tramo inferior del río se ubica en la llanura pampeana del sudeste de Córdoba, caracterizada por un relieve de baja pendiente que incluye formas fluvio/aluviales, lagunares/palustres y eólicas cuaternarias. En este sector de la cuenca los procesos de desbordes, inundación y sedimentación son dominantes. Con el propósito de mitigar esta morfodinámica, desde 1970 el río ha sido controlado por obras de canalización y albardones artificiales. En este trabajo se analizan los cambios morfohidrológicos en el tramo inferior del río Cuarto asociados a la construcción de albardones. Para ello, se evalúan las características geomorfológicas, sedimentológicas y morfodinámicas del cauce, a través de imágenes y fotografías satelitales y mapas topográficos, de diferentes años, complementadas con descripción y relevamiento de campo. En su tramo final, el río de régimen permanente, presenta un patrón de canal meándrico (1.41) con una sección transversal que disminuye cauce abajo (de 41 a 17 m de ancho y de 5 a 3 m de profundidad), conforme aumentan los rasgos de desbordes. La construcción de albardones ha generado: acreción vertical en la faja de meandros, estrechamiento de la sección transversal del canal, interrupción de la conectividad natural entre el canal y la llanura aluvial y desplazamiento aguas arriba de los desbordes, incrementando su intensidad por ruptura de los mismos.

Palabras clave: canal fluvial, albardones, sección transversal, acreción vertical, llanura aluvial.

ABSTRACT

Morphohydrological disturbances in the Cuarto River lower reach (Córdoba, Argentina), due to flood control structures.

The Cuarto River drains an area of 2500 km² from the Comechingones Range to Saladillo Wetlands. This river constitutes the main input of water and sediments to the wetlands environment. The Cuarto River lower basin is located in the Pampean Plain of southeastern Córdoba province, characterized by a low-slope relief that includes fluvial/alluvial, lake/palustrine and eolian Quaternary landforms. In this area of the basin, the main processes are overflows, floods and sedimentation. In order to mitigate these processes, since 1970s the river has been strongly modified by canalization works and artificial levees. This paper analyzes the morphohydrological changes in the lower section of the Cuarto River associated to the construction by artificial levees. Morphological, hydrological and sedimentological aspects are analyzed by satellite and photograph images and topographic maps. In addition, field works were made. The Cuarto River lower reach has a permanent hydrological regime and meandering channel pattern ($I_s = 1.41$). River cross-section decrease downstream (41 m to 17 m of width and 5 m to 3 m of depth) while the overflow features tend to increase. Levees constructions have generated vertical accretion in the meandering fluvial belt, and river cross-section narrowing. Also, these artificial landforms

have interrupted the natural connectivity between the channel and its alluvial plain, and generated upstream displacement of overflows increasing their intensity by breaking.

Keywords: fluvial channel, levees, cross-section, vertical accretion, alluvial plain.

INTRODUCCIÓN

Los cursos de agua y sus planicies aluviales permitieron el desarrollo de las primeras sociedades, denominadas civilizaciones hidráulicas o fluviales (Mesopotámica, Egiptia, Índia y China), por la marcada interacción y grado de dependencia que tenían con estos sistemas. Estas comunidades, para aprovechar el recurso hídrico y para mitigar los efectos de las inundaciones y la erosión fluvial, intervinieron cursos de agua mediante presas, canalizaciones, azudes, albardones, entre otras. Como consecuencia, comenzaron a registrarse alteraciones en la morfodinámica de esos ambientes, en algunos casos contraproducentes para la propia sociedad (Leakey et al. 2000). En Gregory (2006) se sistematizan y compilan las principales contribuciones que dan cuenta del rol de las actividades humanas en los cambios en la dinámica fluvial.

En relación a las obras de control de inundaciones, Gourment et al. (2016) analizan tres alternativas: albardones, canales aliviadores y expansión de llanuras aluviales, concluyendo que este tipo de intervenciones tienen un carácter más complementario que excluyente.

En el caso de los albardones artificiales, existen numerosos trabajos que analizan este tipo de obras y sus efectos. Entre ellos, Tobin (1995) señala que, si bien los albardones suelen ser soluciones eficaces, económicas y fáciles de construir, al mismo tiempo afectan negativamente el régimen hidrológico, a menudo exacerbando las inundaciones en otros sectores de la cuenca. Gergel et al. (2002), en un estudio sobre el manejo de llanuras de inundación por albardones en los últimos 100 años, concluyen que aquellos tramos de río donde estas obras han sido construidas alejadas del canal recreando áreas de inundación, han mostrado ser muy efectivas en la restauración hidrológica de esos ambientes. Por su parte, estudios del efecto de los albardones sobre los niveles de desbordes, señalan que en los sitios ubicados aguas arriba o en los tramos de río intervenidos, los niveles del agua aumentaron en forma abrupta por encima de la cota de canal lleno (Heine y Pinter 2012, Heitmuller 2014). En Argentina también son obras frecuentemente utilizadas en distintos sistemas fluviales y humedales, en especial en el Norte Argentino (Pagot et al. 2014, Testa Tacchino et al. 2014, Testa Tacchino et al. 2016) y en la Llanura Pampeana (Andrade y Lucioni 2014, Quirós et al. 2005, Videla Mensegue et al. 2017). En esta úl-

tima, las favorables condiciones climáticas (templado-húmedas) y edáficas, aptas para la agricultura, incentivaron el uso agrícola-ganadero desde las últimas décadas del siglo XIX. A partir de allí, la presión de uso fue creciendo hasta la actualidad con el avance del monocultivo (Carreño y Viglizzo 2010, Benzaquén et al. 2017).

El avance de la agriculturización, a comienzos del siglo XX, implicó el reemplazo casi total de la vegetación nativa de la llanura pampeana, y su transformación en una de las regiones más densamente pobladas del país. En este contexto de ocupación y uso del suelo y, en coincidencia con los ciclos húmedos, gran parte de esta llanura central-oriental está expuesta a los efectos de anegamientos e inundaciones que alteraron también el balance del agua en el suelo (Nosetto et al. 2015). Para controlar y mitigar estos efectos se ha construido, desde comienzos del siglo pasado, una extensa red de canales y albardones, como es el caso de la cuenca del río Salado de la provincia de Buenos Aires, una de las más intervenidas de la región pampeana (Bianchi 2015). Sin embargo, las situaciones de desastres por excesos hídricos lejos de disminuir han ido creciendo poniendo en duda la efectividad de estas obras (Doffo et al. 2017).

Esta llanura ha funcionado desde el Paleozoico como una región receptora de agua y sedimentos, está caracterizada por la ausencia de desniveles importantes y bajas pendientes. Su relieve está conformado por un sistema de elevaciones y depresiones regionales de origen tectónico, al que se superponen morfologías fluviales, palustres y eólicas controladas por las oscilaciones climáticas del Cuaternario (Degiovanni et al. 2005, Carignano et al. 2014).

El río Cuarto (Chocancharava) drena una cuenca de 2500 km², desde sus nacientes en la Sierra de Comechingones hasta su ingreso a los Bañados del Saladillo, ubicados en el sector sudoriental de la planicie pampeana de Córdoba (Fig. 1).

Para mitigar los efectos de las inundaciones en su cuenca baja, que incluyen el área urbana de la localidad de La Carlota (Córdoba), y habilitar tierras para uso agropecuario en los bañados del Saladillo, desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad se están llevando a cabo diferentes obras ingenieriles. Las primeras intervenciones datan de 1950, cuando se canalizó el tramo distal del río Cuarto hacia el interior de los bañados. Posteriormente, se sucedieron una serie de canalizaciones, dragados y drenajes en el interior de los mismos y la construcción de albardones a comienzos de

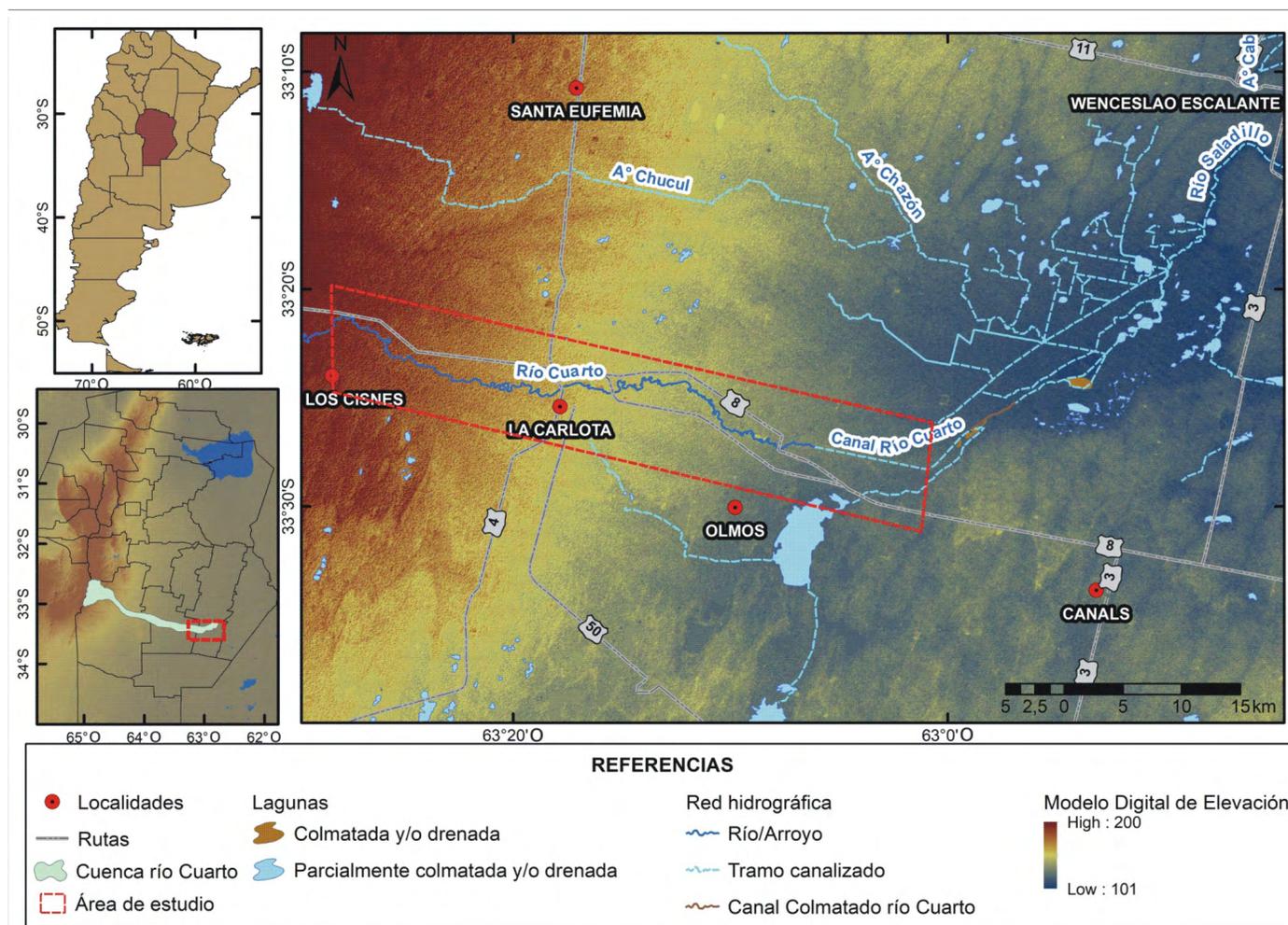


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.

la década del 70 en las márgenes del río, canales y lagunas (Doffo et al. 2017, Degiovanni et al. 2017).

Dichas obras implican cambios en la frecuencia, intensidad y ubicación de los desbordes y áreas inundadas, modifican la estructura y comportamiento de los sistemas hidrológicos superficiales y subterráneos, e impactando en la función y en los recursos ecosistémicos de las áreas de descarga.

El objetivo de este trabajo es analizar cómo la construcción de los albardones en el tramo final del río Cuarto ha alterado y potenciado los procesos de desbordes y sedimentación natural en esta zona, la cual constituye información relevante para la planificación y gestión de este ambiente.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO CUARTO

Clima e hidrología

La cuenca del río Cuarto (2500 km²) está conformada por 4 subcuencas, correspondiente a los ríos Piedras Blan-

cas, Alpa Corral-Las Barrancas-Seco, San Bartolomé y Las Cañitas, las cuales se desarrollan mayoritariamente en el área serrana. En esta área y en la pedemontana, donde se generan las crecidas, el clima es de tipo Mesotermal subhúmedo-húmedo, mientras que en la planicie pampeana oriental varía a Subhúmedo-Seco (Blarasin 2003, Blarasin et al. 2014). Según Blarasin (2003) las precipitaciones medias anuales (Pma) son más variables y del orden de 900-700 mm en el área serrana-pedemontana, mientras que en la llanura del sur de Córdoba se observa un incremento de las lluvias del Sudoeste (586 mm en Villa Huidobro) hacia el Noroeste (800 mm en Marcos Juárez), concentrándose durante primavera-verano (alrededor del 80 %). Andreazzini (2015) obtuvo una Pma de 916 mm a partir de un registro desde 1939 hasta 2014 (serie Las Tapias-Los Chañares) en el área serrana/pedemontana, mientras que Santinelli et al. (2020), para la zona de los bañados del Saladillo, indican una Pma de 872 mm (serie INTA-Canals, 1935-2018). En ambos casos se detectó una marcada alternancia de períodos secos y húmedos, sin embargo, en la cuenca baja la mayoría de los años resultan

con excesos hídricos, y una tendencia ascendente de las precipitaciones, con valores en su mayoría superiores a la media a partir del año 1972 (Blarasin et al. 2014).

Según datos de la Ex-Empresa de Agua y Energía Eléctrica de la Nación (1967), los caudales del río Cuarto, a la altura de la ciudad homónima, 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 anuales del orden 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 1979 y 1998, donde se midieron caudales instantáneos del orden de los 700 y 500 m³/s, respectivamente; en 1985, 1992 y 2000, con registros del orden de 300 m³/s, y en 2007, 2014 y 2015, donde el caudal fue del orden de 1100, 650 y 750 m³/s, respectivamente.

En proximidades de la localidad de La Carlota, según la Estadística Hidrológica de la República Argentina (SSRH 2009), el caudal medio anual del río Cuarto en Puente Olmos es de 5.86 m³/s (período 1938-1943), el mínimo medio anual de 1.77 m³/s y el máximo medio anual de 10.05 m³/s. En los últimos años se midieron caudales del orden de 120 y 400 m³/s para crecidas ordinarias (2016) y extraordinarias (2015), respectivamente, y se describieron hidrogramas de crecidas del río Cuarto al ingreso a la depresión del Saladillo, típicos de cuenca baja, laminados y con una larga curva de descenso (Doffo et al. 2017, Díaz Lozada et al. 2015).

Geología y Geomorfología

Geológicamente, la cuenca del río Cuarto se desarrolla en ambientes de Sierras Pampeanas Orientales y Llanura Pampeana. Su cuenca alta drena la vertiente oriental de la sierra de Comechingones donde se exponen rocas cristalinas ígneo-metamórficas de edad precámbrica-paleozoica temprana (Coniglio et al. 2010, Fagiano 2007, Pinotti et al. 2014, Cristofolini et al. 2017). La red de drenaje está fuertemente controlada por la estructura, en general los ríos muestran un importante proceso de incisión pos orogenia Andina, sus valles son angostos, profundos y de alta pendiente. Se trata de cursos rectilíneos, de lecho rocoso y mixto, destacándose un importante control litológico sobre la carga de fondo. Los canales que drenan rocas graníticas aportan grandes volúmenes de arenas gruesas-gravas, mientras que en aquellos que drenan ambientes metamórficos, domina la carga psefítica muy gruesa (Degiovanni et al. 2013).

En el ambiente extraserrano, el río Cuarto discurre a través de sedimentos cuaternarios pampeanos con distinto grado de diagénesis, de origen eólico y/o aluvial y de edad Pleis-

toceno-Holoceno (Kröhling y Carignano 2014). Este sistema fluvial desarrolla una faja fluvial variable según la posición en la cuenca y morfoestructuras atravesadas (bloques elevados y deprimidos).

En el sector pedemontano su traza está fuertemente controlada por estructuras y hasta la confluencia con el río Seco el canal es rectilíneo y el lecho predominantemente rocoso/cohesivo, con rápidos y saltos menores. A partir de los aportes de los ríos Las Cañitas, San Bartolomé y Seco se incrementa marcadamente la carga de fondo areno-gravosa, el canal se ensancha y adopta un diseño entrelazado ligeramente sinuoso (Ulla 2008, Degiovanni et al. 2013).

En la cuenca media, la faja fluvial es ancha, el cauce, de lecho areno gravoso, tiene una sinuosidad entre 1.01 y 1.26, con un diseño entrelazado y multicanal sobreimpuesto, hasta aproximadamente 20 km aguas abajo de la ciudad de Río Cuarto, donde comienza una faja fluvial más angosta e incidida, y un canal meandriforme de alta sinuosidad.

La cuenca baja, está caracterizada por un curso de sección transversal reducida y canalizado en su tramo final, que previo al ingreso a los Bañados del Saladillo incide en una serie de abanicos de derrames de edad holocena (Degiovanni et al. 2005, Carignano et al. 2014).

Geomorfológicamente, el área de estudio está situada en las llanuras deprimidas fluvio-eólicas que caracterizan el sector oriental de la provincia de Córdoba, y comprende parte del paleoabanico del río Cuarto y la depresión Curapaligüe-Saladillo (Carignano et al. 2014). El primero, está conformado por una sucesión de lomadas de interfluvio y paleofajas fluviales (desniveles del orden de 1.5-2 m) que controlan la distribución de los escurrimientos superficiales, tanto pluviales como los desbordes del río Cuarto (Unidad IV, Fig. 2). El abanico aluvial moderno (Unidad V, Fig. 2), tiene su ápice en proximidades de la ciudad de La Carlota y estuvo activo hasta mediados de la década del '50. Está integrado por un conjunto de paleocanales que descargaba en el borde occidental de la depresión del Saladillo, alimentando una serie de bañados y lagunas menores.

La faja fluvial del río Cuarto pierde expresión hacia el Este, al ingresar en una amplia zona de derrames donde sólo es posible reconocer un canal cuyo ancho se reduce gradualmente conforme aumenta la sinuosidad. La carga sedimentaria transportada en el tramo inferior es predominantemente suspensiva, donde se movilizan arenas medias (D_{90}) a finas por el fondo y arenas muy finas/limos en suspensión (hasta 8.70 g/L) durante una crecida menor (Doffo et al. 2017). Los episodios de desbordes comienzan a partir de la localidad de La Carlota, donde el cauce se encuentra mayoritariamente

confinado por albardones artificiales, en algunos sectores en ambas márgenes.

Finalmente, la depresión tectónica del Saladillo, como ya se indicara, constituye una zona de descarga hidrológica regional, de muy baja pendiente (0.006-0.02 %), en cuyo relleno intervienen morfologías fluviales/aluviales, lacustres/palustres y eólicas (Carignano et al. 2014, Doffo et al. 2017, Santinelli et al. 2020). El sector centro-sur de la depresión está dominado por rasgos vinculados a actividad fluvial del río Cuarto (paleofaja fluvial, abanico distal inactivo y derrames históricos y actuales; Unidades IV, V y VI, respectivamente, Fig. 2).

Principales obras de control de inundaciones en el tramo inferior

Con el propósito de eliminar los desbordes e inundaciones, comenzaron a realizarse desde mediados del siglo pasado diversas obras hidráulicas en los últimos 35 km de cauce, alterando significativamente el área natural de derrames del río Cuarto.

En contraste con la zona de los bañados del Saladillo, las canalizaciones no son relevantes en el área de estudio. La única obra de este tipo es de mediados de los '50 y consistió en la prolongación (8 km) del cauce del río Cuarto hacia los

bañados, antiguo nivel de base del sistema, con el propósito de conducir las crecidas hacia el interior del humedal.

Los albardones son las principales intervenciones sobre las márgenes del río (Cuadro 1), están contruidos con el mismo material que conforma las márgenes y separados, aproximadamente, 4 m respecto del cauce, constituyendo la principal contención de los desbordes. Su construcción comenzó a principios de los '70, desde aguas abajo hasta la localidad de La Carlota, incluyendo el T2 y el extremo inferior del T1 (Fig. 2). Están fijados con especies exóticas de rápido crecimiento como la caña de castilla (*Arundo donax*) con altura promedio de 2 m y nativas como el sauce criollo (*Salix humboldtiana*). Uno de los albardones de mayor altura se ubica sobre la margen derecha en el sector urbano de la ciudad de La Carlota, fue construido en el año 2007 con un metro de altura y actualmente tiene 3.5 m por sobre la cota promedio de esa localidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el efecto de los albardones sobre el tramo inferior del río Cuarto, se caracterizó el funcionamiento mor-

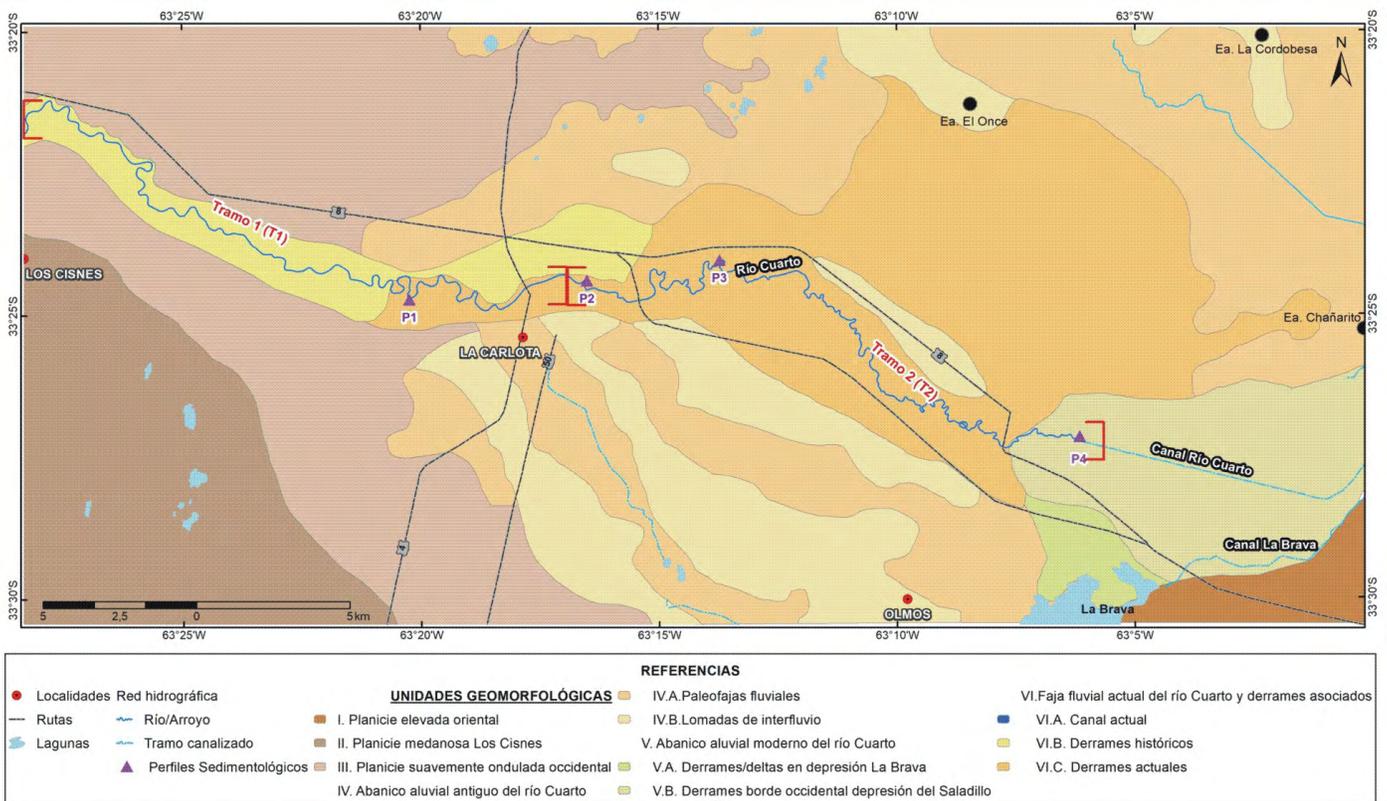


Figura 2: Mapa geomorfológico del tramo inferior del río Cuarto-Sector Sur Bañados del Saladillo. Entre corchetes rojos se señalan los dos tramos estudiados (T1 y T2), tomado de Doffo et al. (2017).

Cuadro 1. Funcionalidad y tipificación de las principales obras en el sistema río Cuarto-Bañados del Saladillo.

Funcionalidad	Tipo de obra	Ubicación
Conducción	canalización	canal río Cuarto
		canal La Brava
		canales menores
	rectificación	meandros del río Cuarto
	ensanche de cauce	antiguo puente La Carlota puente Ruta Nacional N° 8
PROTECCIÓN	ALBARDÓN	MÁRGENES DEL RÍO CUARTO HASTA LA CARLOTA y canales.
	gavión y protección de márgenes	cauce del río Cuarto
Almacenamiento	alteo/albardón	lagunas (El Gobernador, La Barrera, El Arbolito, entre otras) y canales
Trasvase	canalización	canales desde La Planicie Elevada Oriental cuencas arroyos menores

En mayúscula se señalan los albardones y su ubicación con respecto a la zona de estudio (extraído de Doffo et al. 2016).

fohidrológico previo a las intervenciones en este ambiente (geomorfológico, hidrológico y sedimentológico) y cómo estas obras alteraron la funcionalidad natural del sistema (cambios en la sección del canal, tasa de sedimentación, y posición y tipo de desbordes).

Para la elaboración de la base cartográfica, el reconocimiento de los ambientes geomorfológicos y medición de parámetros de canal, se utilizaron imágenes satelitales de Google Earth, hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), fotografía satelital del Corona KH-4B de 1972 (USGS) y fotografías oblicuas obtenidas durante un vuelo.

Los albardones se relevaron en distintos puntos del cauce y, en un sitio representativo, se midieron la altura externa, respecto de la llanura de inundación, y la interna, respecto de la margen del canal.

La selección de las variables morfológicas/morfométricas más representativas de los cambios en el sistema fluvial, se realizó en base a los siguientes considerandos: a) el diseño en planta del cauce de un río, la geometría de su sección transversal y la pendiente, son el resultado de la combinación de variables como el caudal, tipo y cantidad de carga y resistencia de los materiales del fondo y márgenes, b) en los tramos finales de los ríos aluviales, en general la rugosidad de grano es poco significativa, mientras que adquiere importancia la provocada por el patrón de canal y la vegetación

riparia. Es por ello, que los cambios morfológicos del cauce suelen estar íntimamente asociados a cambios en algunas de estas variables.

De este modo, se analizaron los cambios históricos en la longitud (últimos 60 años) y patrón del canal del río Cuarto en base a la variabilidad de la sinuosidad del cauce (*Is*), entre la localidad de Los Cisnes y el ingreso al tramo canalizado (aprox. 56 km de longitud). Para ello, se utilizaron fotografías aéreas e imágenes satelitales de los años 1972 y 2017. La sinuosidad del cauce (*Is*), se obtuvo del cociente entre la longitud del canal (*Lc*) y la longitud del valle (*Lv*).

Además, para caracterizar el canal actual, a lo largo del cauce se midieron parámetros geométricos de meandros como ancho de canal (*a*), radio de curvatura (*rc*) y longitud de onda (λ).

Las mediciones se realizaron en dos tramos de cauce (T1 y T2), definidos en base a cambios en la sinuosidad y ancho de canal, tomados de imagen Google Earth (año 2017). En el tramo T1, se realizaron 66 mediciones de (*a*) (tomadas en los tramos de inflexión de meandros y asumidas como de canal lleno), 45 de (*rc*) y 33 de (λ), mientras que en el tramo T2, 82 (*a*), 109 (*rc*) y 41 (λ) mediciones. Se calcularon los promedios de todos los parámetros; en el caso de λ se excluyeron valores extremos para ambos tramos, por su insignificante incidencia en el carácter descriptivo del promedio. Para analizar los cambios en el ancho de canal lleno se calculó el coeficiente de variación porcentual (CV %), definido como el cociente entre el desvío estándar y el promedio, multiplicado por 100.

Se analizó el grado de correspondencia entre los valores medidos y los estimados de λ en función de *rc* y *a*, mediante el uso de las siguientes relaciones empíricas o predictoras de Leopold y Wolman (1960), que permiten establecer una aproximación entre la morfología del canal y su régimen de descarga y transporte de sedimentos, $\lambda_e = 10.9 a^{1.01}$ (ecuación 1) y $\lambda_e = 4.7 rc^{0.98}$ (ecuación 2). Como los exponentes se encuentran muy cercanos a 1, los autores asumen una relación cuasi lineal entre las variables geométricas del canal, y derivan la relación *rc/a*, utilizada de referencia en este trabajo:

$$10.9 a^{1.01} = 4.7 rc^{0.98} \quad rc/a = 10.9/4.7 = 2.3 \text{ (ecuación 3)}$$

Como esta relación se cumple en meandros de muy diferentes tamaños, Leopold y Wolman (1960) concluyen que *rc* y *a* ejercen influencia sobre la resistencia al flujo.

Las tendencias de cambios (últimos 50 años) en la sección del cauce (ancho y profundidad), se compararon con situaciones reales, usando de referencia un puente carretero y el registro fotográfico histórico.

Sobre las márgenes del cauce se relevaron cuatro perfiles y secciones sedimentológicas de detalle. Para el análisis de

litofacies y elementos arquitecturales se siguió la metodología de Miall (1996) por su especificidad en sistemas fluviales. Esto permitió realizar una caracterización e interpretación del sistema depositacional del río Cuarto, reconstruir antiguos ambientes y detectar tipos y tasas de sedimentación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones morfométricas y morfodinámicas naturales del canal y su relación con los episodios de desbordes

El tramo final del río Cuarto está conformado por un canal de variada sinuosidad y marcados cambios en *a*, λ , y *rc* en dirección aguas abajo, como se observa comparando los dos tramos de estudio (T1 y T2; Figs. 2 y 3, y Cuadro 2) (año 2017).

La escasa variabilidad en la longitud del canal entre los años 1972 y 2017 en ambos tramos da cuenta de una baja dinámica migratoria, la que es esperable para cursos en esta posición de la cuenca. Por su parte, el ancho del canal (*a*) disminuye casi 2.5 veces en T2 respecto de T1, mientras que, el CV % cambia en forma inversa, siendo claramente mayor en T2 que en T1 (Cuadro 2).

Por otra parte, los valores estimados de longitud de meandro (λ_e) mediante las ecuaciones (1) y (2) para ambos tramos, asumidos como “normales o esperados”, son menores respecto de los medidos (λ). Es decir, que los parámetros *a* y *rc* medidos son mayores a los esperados (Cuadro 3).

El valor 2.3 de la ecuación (3) surgió de la medición de 50 ríos en variados ambientes geomorfológicos, cuya media es 3.1 y la mediana es 2.7. De ésta, dos terceras partes de los casos se encuentran entre 1.5 y 4, aproximadamente, y un cuarto de los valores se encuentra entre 2 y 3 (Leopold y Wolman 1960). Como esta relación se cumple en meandros

Cuadro 2. Comparación de longitud de canal entre los años 1972 y 2017 en los tramos de cauce T1 y T2.

Tramo de canal	Long. del canal (km)		2017				
	1972	2017	<i>Is</i>	λ (m)	<i>rc</i> (m)	<i>a</i> (m)	
						promedio	CV %
T1	18	20.6	1.42	645.7	111.3	41	16.5
T2	33.3	35.7	1.39	311.1	68.9	16.6	27.7
Total	51.4	56.3					

Para el año 2017 se presentan los valores de sinuosidad (*Is*) y los valores promedio de los parámetros de canal: longitud de onda (λ), radio de curvatura (*rc*) y ancho de canal (*a*), según los tramos del río T1 y T2. Para *a* se agregó el CV %.

Cuadro 3. Promedios de los valores de longitud de onda (λ) medidos para el 2017 y estimados (λ_e) según las ecuaciones (1) y (2), y relaciones entre el radio de curvatura (*rc*) y el ancho de canal (*a*) por tramo.

Tramo de canal	λ medidos (m)	λ_e (1) (m)	λ_e (2) (m)	<i>rc/a</i>
T1	645.7	509.53	475.98	2.71
T2	311.1	186.21	297.46	4.13

Los λ_e surgieron de reemplazar los valores de *a* en (ecuación 1) y *rc* en (ecuación 2).

de muy diferentes tamaños, los autores concluyen que *rc* y *a* ejercen influencia sobre la resistencia al flujo.

El valor de *rc/a* obtenido para T1 (2.71) está dentro del rango aceptable (2 - 3), es decir, un tramo con valores normales o esperados, mientras que para T2 esta relación (4.13) está por encima del rango aceptable y del intervalo mayor (1.5 - 4) (Cuadro 3). Esto se explica por la marcada reducción del ancho del canal en T2 (Cuadro 2).

En síntesis, la baja variabilidad de la longitud de canal (1970-2017) y los valores de λ medidos, mayores a los esperados (λ_e) en ambas ecuaciones para ambos tramos (T1 y T2), revelan una escasa dinámica migratoria del río en los últimos 47 años. Específicamente, el segundo tramo (T2) ha mostrado los mayores desajustes como una disminución considerable del ancho de canal y un aumento en su variabilidad (CV %), y una relación *rc/a* por encima del rango de aceptación (Leopold y Wolman 1960). Estas diferencias entre valores medidos y esperados e inconsistencias entre la sección y la geometría del canal, sugieren la imposibilidad de la corriente de ajustar su geometría al régimen hidrosedimentológico y su relación con episodios de desbordes.

Así mismo, se aprecian diferencias en la sección transversal del cauce, en la vegetación de las márgenes y lecho entre T1 (Fig. 3b) y T2 (Fig. 3c). Además, en este último tramo el índice de sinuosidad (*Is* = 1.39) y el bajo radio de curvatura (*rc* = 68.9 m) (Cuadro 2), le confieren al canal un importante grado de rugosidad y constituye, como se señaló, una referencia de las cambiantes condiciones hidráulicas de la corriente, aspectos consistentes con el importante aumento de rasgos de desbordes (Fig. 3a).

Alteraciones morfohidrológicas por intervenciones humanas

Ambientes de sedimentación y dinámica aluvial: considerando la ubicación (Fig. 2) y características de los perfiles sedimentarios descritos (Fig. 4), se definieron siete facies sedimentarias que conforman las tres asociaciones de facies que caracterizan al ambiente sedimentario en esta posición

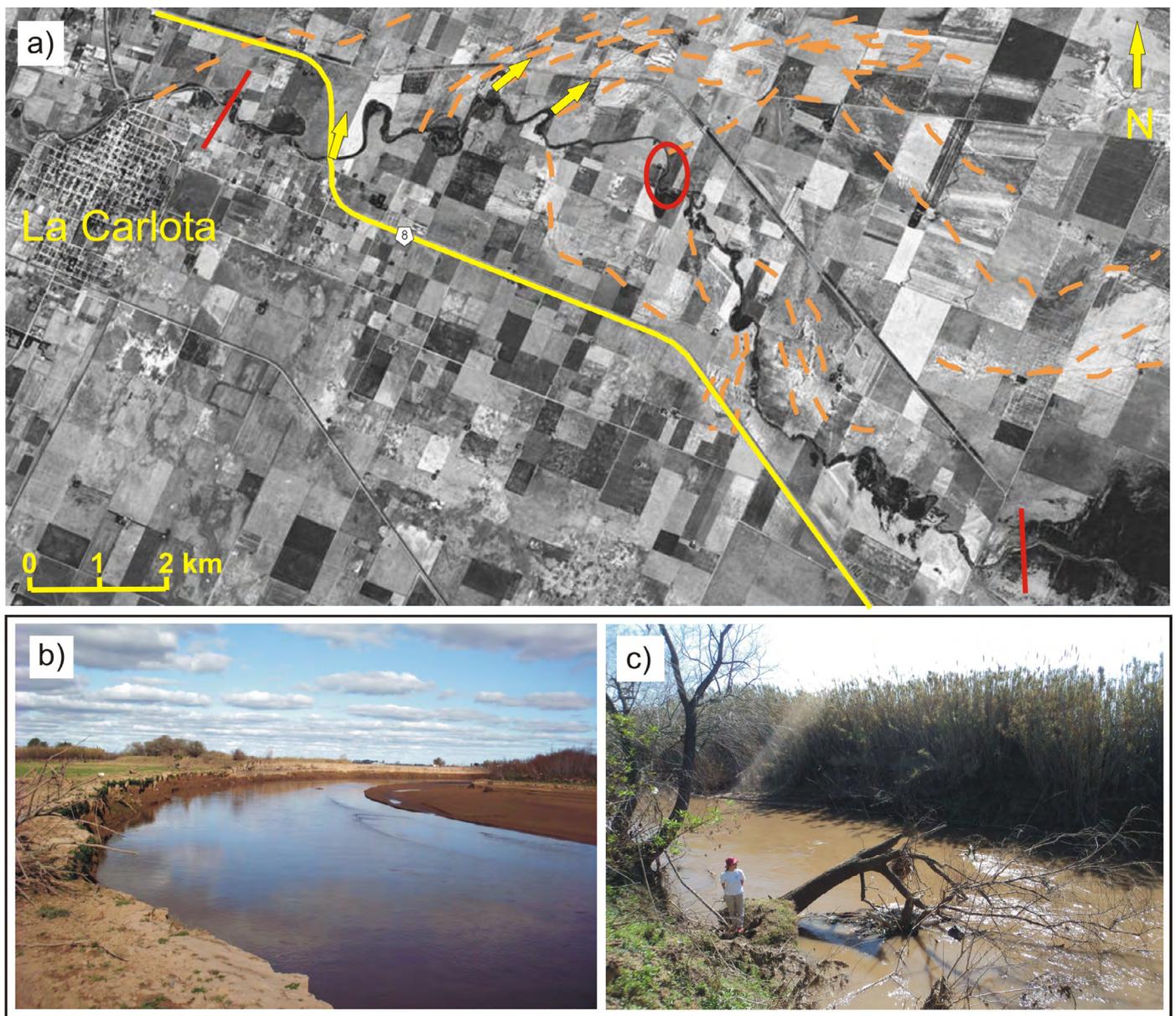


Figura 3: a) fotografía satelital (Corona KH-4B 1972) donde se señala el tramo de río T2 (entre las dos líneas rojas), las direcciones de los derrames (líneas discontinuas naranjas) y los desbordes de la crecida de 2015 (flechas) (modificado de Fernández 2016); b) vista aguas arriba del cauce en el tramo T1, donde se percibe la amplitud de a (ancho) y r_c (radio de curvatura); c) vista aguas arriba del cauce en T2 (círculo en a) donde se aprecian las márgenes totalmente vegetadas con especies exóticas como la caña de castilla (*Arundo donax*), y en el lecho la presencia de sauce criollo (*Salix humboldtiana*).

de la cuenca del río Cuarto (Cuadro 4): depósitos de canal (AF1), depósitos de llanura de inundación (AF2) y depósitos palustres (AF3). Cabe aclarar que, si bien la mayor parte de estas características sedimentológicas corresponden a la dinámica natural del canal, se describen en este apartado también aquellas modificaciones inducidas por las intervenciones, especialmente la construcción de albardones.

El perfil P1 (Fig. 4), ubicado sobre la margen derecha del río, está dominado por las asociaciones AF1 y AF2. Sin embargo, el depósito AF2 ubicado en el nivel superior y de aproximadamente 0.20 m de espesor, sobreyace a los de-

pósitos palustres (AF3) que constituían el suelo productivo, sugiriendo el carácter inusual de los episodios aluvionales en ese tramo del cauce.

El perfil P2 (Fig. 4), ubicado en el borde interno de un meandro, está compuesto sólo por depósitos de canal (AF1). Se trata de arenas medias a finas, y las estructuras sedimentarias indican la recurrencia de episodios con incrementos en el suministro de carga, como lo sugiere el pasaje de óndulas subcríticas/supercríticas. Esta tendencia agradativa es observada también en el sepultamiento de árboles relativamente jóvenes en la margen opuesta (Fig. 5a), lo que indica una ex-

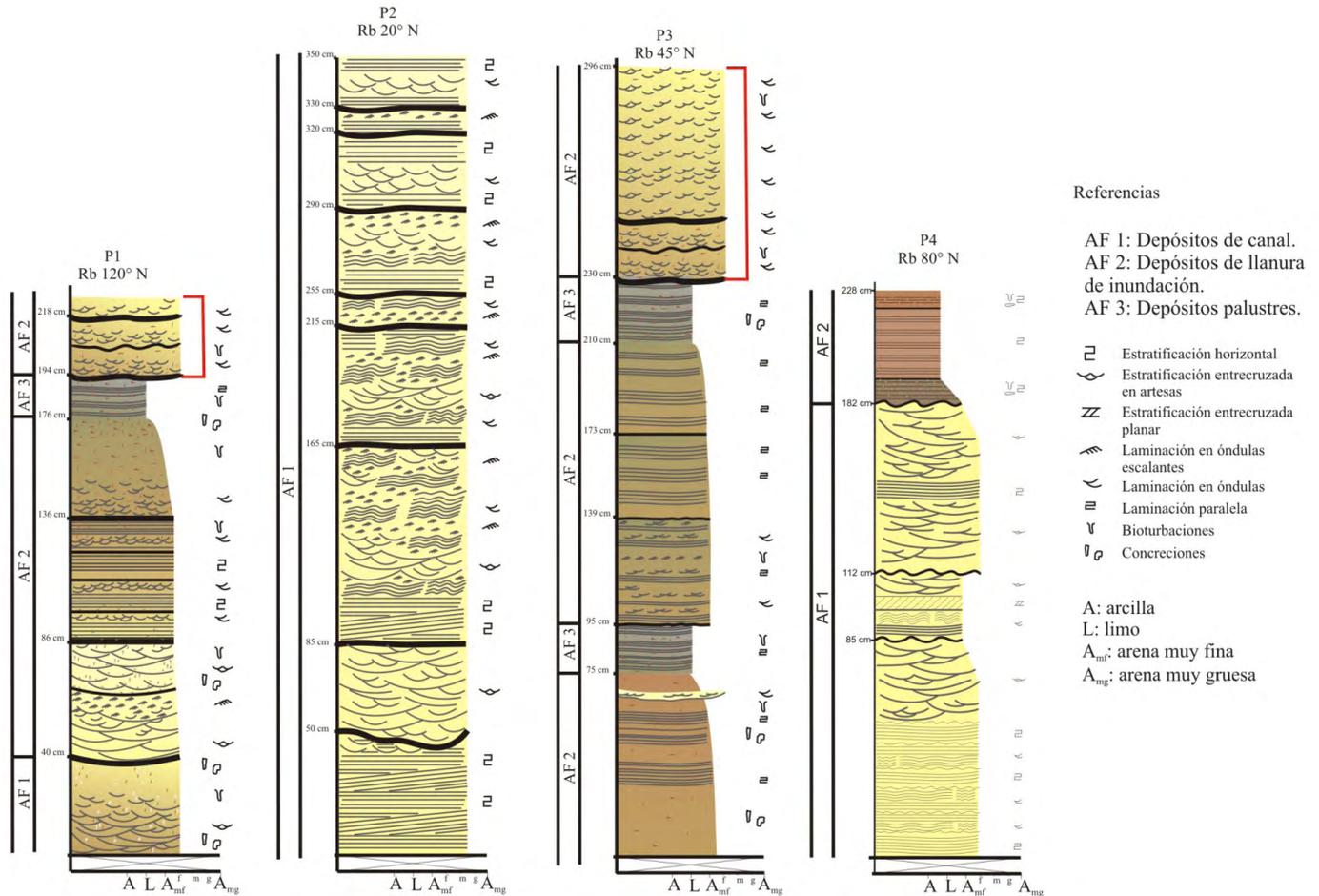


Figura 4: Representación esquemática de los cuatro perfiles sedimentarios relevados (P1 a P4). En rojo se indican los depósitos de la crecida de 2015, la ubicación se señala en la figura 2.

cesiva sedimentación dentro de la reducida faja de meandros (ancho promedio de 300 m), evidencias del efecto confinante que producen los albardones.

La importante agradación que se registra durante las crecidas, se observó en el perfil P3 con depósitos de desbordes del evento ocurrido en marzo de 2015 (Fig. 4). Estos se asocian a flujos canalizados en el sector de salida del cauce, cuyos depósitos son de hasta 0.60 m de espesor (Fig. 5b y c), los que en posiciones medias-distales adoptan una forma mantiforme afectando superficies kilométricas.

Las evidencias morfosedimentarias indican que los mayores desbordes ocurrían en el tramo final del sistema fluvial (T2). En P3 los espesores de AF2 son importantes y corroboran las morfologías de derrames que caracterizan este tramo del cauce (Unidad VI. C. Derrames actuales, Fig. 2).

El dominio de facies de canal (AF1) que se observan en el perfil P4, ubicado al final del tramo T2 donde comenzaban los derrames (Unidad VI.B. Derrames históricos, Fig. 2), es consistente con la dinámica aluvial de ese ambiente. Aquí, el

cauce se subdividía en múltiples canales menores aumentando la superficie de infiltración, permitiendo que sólo mínimos volúmenes de agua con baja carga en suspensión llegarán hasta los Bañados del Saladillo (Doffo et al. 2016).

En síntesis, los ambientes de sedimentación resultaron consistentes con la dinámica aluvial reconocida por los rasgos de desbordes (Fig. 3a). Específicamente, los depósitos de llanura aluvial (AF2) son los más frecuentes, predominan las geometrías tabulares que indican la dominancia de flujos mantiformes de alto régimen (estratificación entrecruzada en artesa) abarcando amplias áreas, mientras que las facies de bajo régimen (laminación paralela) son la consecuencia de expansión del flujo y la pérdida de energía de la corriente, favoreciendo la depositación con el desarrollo de abanicos de desborde en la planicie de inundación (Fig. 5b y c).

Por otro lado, la sinuosidad del canal y la abundante vegetación (Figs. 2 y 3a y c) constituyen los principales factores de rugosidad de la corriente, que inciden primero en la pérdida de velocidad, y luego en un aumento en la altura de la lámina

de crecida dentro del canal, que sumado a la elevación de las márgenes debido a los albardones (hasta 2.5 m), interrumpe la conectividad hidráulica y sedimentaria natural entre el canal y su llanura de inundación. Tal como lo señalan Heine y Pinter (2012) y Heitmuller (2014), los desbordes por ruptura de albardón, suelen tener alturas de lámina de agua mayores a la nor-

mal, como lo evidencian los espesores del lóbulo de derrame de hasta 0.6 m durante la crecida de 2015 (Figs. 4 P3 y 5b).

Cambios en la sección del canal durante los últimos 60 años: además de los cambios aguas abajo, la sección transversal del canal ha experimentado modificaciones relevantes durante las últimas décadas. Para estudiar esta varia-

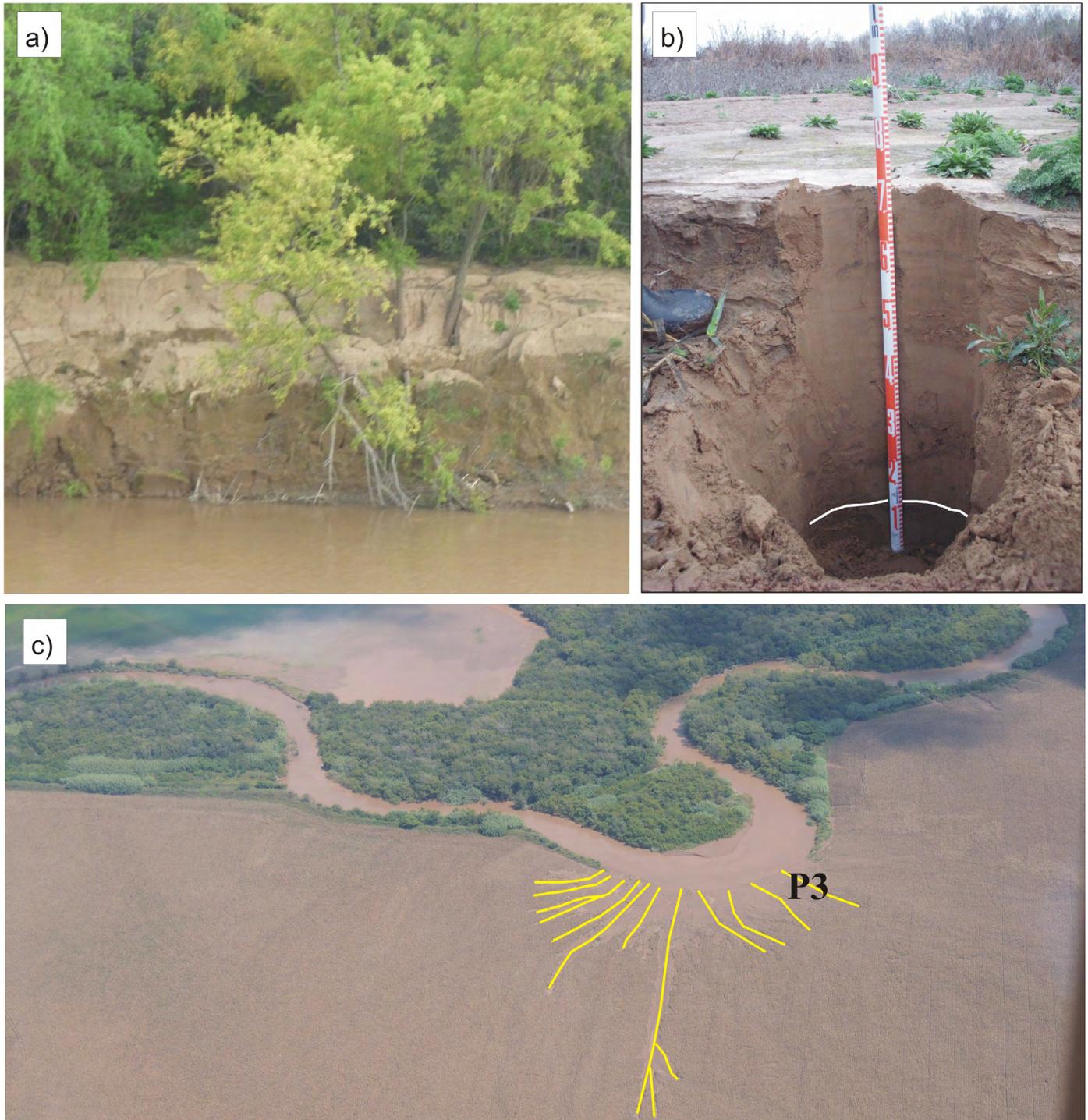


Figura 5: Evidencias de desbordes de la crecida de marzo de 2015, a) margen donde se aprecia el sepultamiento de árboles; b) depósito de crecida (0.60 m) a 50 m aproximadamente del borde externo de meandro; c) vista aérea donde se aprecian (líneas amarillas discontinuas) los rasgos de desbordes y la posición de P3.

Cuadro 4. Descripción de las facies que conforman las tres asociaciones de facies reconocidas (modificado de Armas et al. 2016). Se identificaron cuatro facies arenosas (Sh, Sp, St y Sr) y tres facies pelíticas (Fl, Fsm y Fr) (Miall 1996).

Asociación de facies	Facies
AF1	Está conformada por depósitos de intracanal y barras de acreción lateral y se reconocen las facies Sh, St, Sp y Sr. Se caracterizan por presentar cuerpos de coloración 5YR 6/4, con 0.85 m de potencia máxima y más de 3 m de extensión lateral. La geometría de éstos es tabular a lenticular y se encuentran limitados por bases erosivas.
AF2	Está conformada por depósitos de desbordes y depósitos de llanura de inundación, y se reconocen las facies Sh, Sr y Fl. La coloración predominante de las unidades es de 10YR 7/2, la potencia varía de 0.10 m a 0.30 m. La geometría de los cuerpos es tabular con una amplia continuidad lateral (más de 300 m), los contactos son netos, e internamente estas unidades se encuentran altamente bioturbadas y con buen desarrollo de concreciones. Además, se observa deformación por carga en la base y la interdigitación con las facies finas de AF3.
AF3	Se conforma de depósitos palustres, constituidos por sedimentos arcillosos y limosos alternados en las facies Fl, Fsm y Fr. Las unidades presentan una coloración gris azulada (5 PB 7/2; 5 GY 3/2), de 0.30 m a 0.60 m de potencia y continuidad lateral mayor a los 100 m.

bilidad se analizó la sección transversal del canal en el antiguo puente carretero de La Carlota (1905), ubicado en el extremo aguas abajo del tramo T1, comparando los años 1950, 1970, 2007 y 2015. Entre las décadas del '50 (Fig. 6a) y mediados de los '70 (Fig. 6b), el ancho del cauce que originalmente era del orden de 66 m, se redujo a aproximadamente 38 m.

La crecida de enero de 2007, la más importante de los últimos 60 años (fuente Bomberos Voluntarios de La Carlota), introdujo significativos cambios en la sección del río, como la sedimentación en la margen derecha y nuevamente la tendencia al estrechamiento del cauce (Fig. 6c). Posteriormente sobre esa margen, y para recuperar la sección del canal, se realizó la remoción artificial de los sedimentos (Fig. 6d).

Durante el periodo analizado el fondo del canal también experimentó sedimentación (Figs. 6b y d), demostrada por la disminución de la altura del puente desde 5.50 m a 4.90 m en, aproximadamente, 40 años. La fecha estimada del inicio de la sedimentación podría ubicarse a mediados de los '80 (fuente Bomberos Voluntarios de La Carlota). En general, los procesos de sedimentación en lechos aluviales en cuenca baja (cercanos al nivel de base) tienen una tendencia retrocedente (Heine y Pinter 2012, Heitmuller 2014), por lo que sería razonable suponer que el frente de depositación habría alcanzado la localidad de La Carlota.

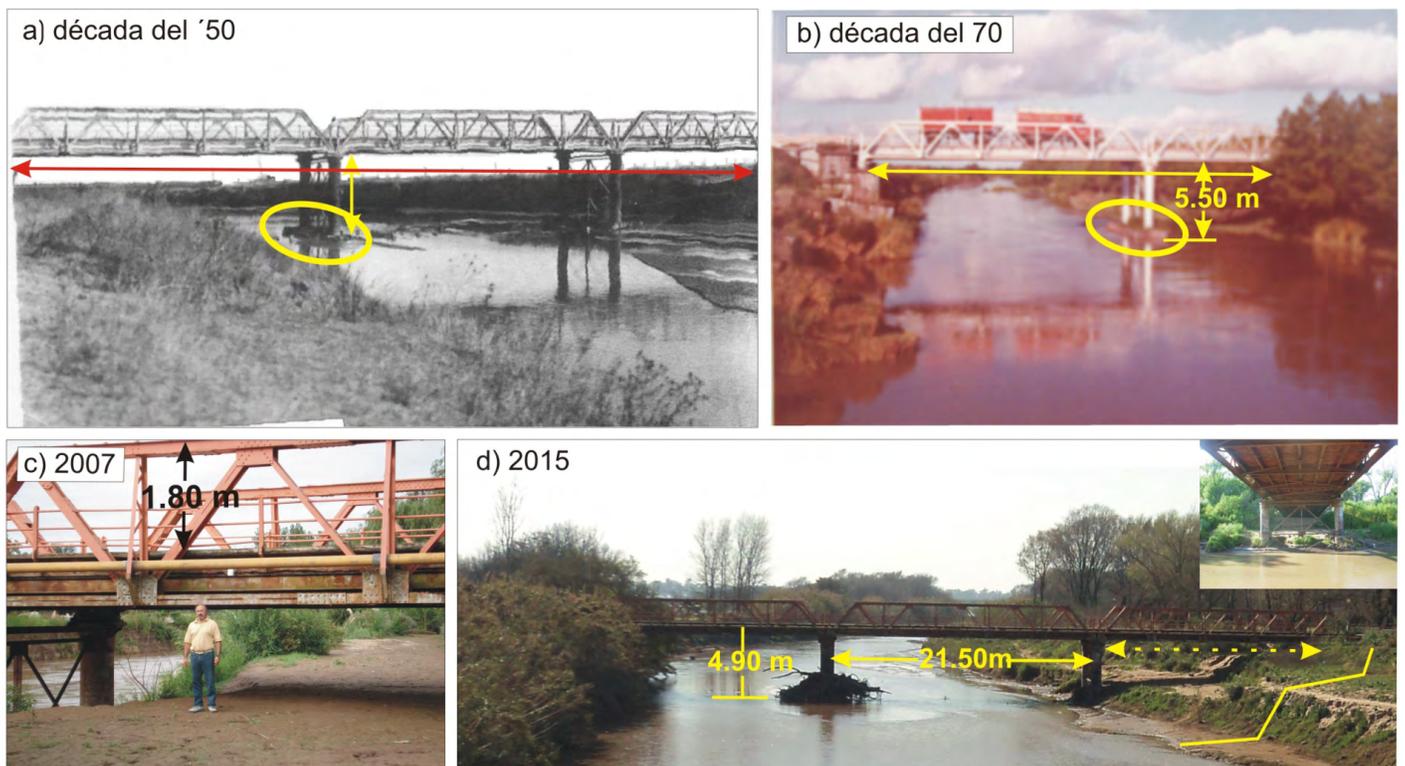


Figura 6: Cambios en la sección transversal del río Cuarto en el antiguo puente carretero de La Carlota (1905). a) Fotografía (margen izquierda) donde se señalan el ancho y profundidad del cauce; b) Fotografía (margen izquierda) donde se aprecia una reducción del ancho del cauce; c) Agradación de la margen derecha, luego de la crecida del 2007; d) Vista hacia aguas abajo donde se señalan la profundidad del canal, la reducción del ancho y posterior ensanche (flecha discontinua).

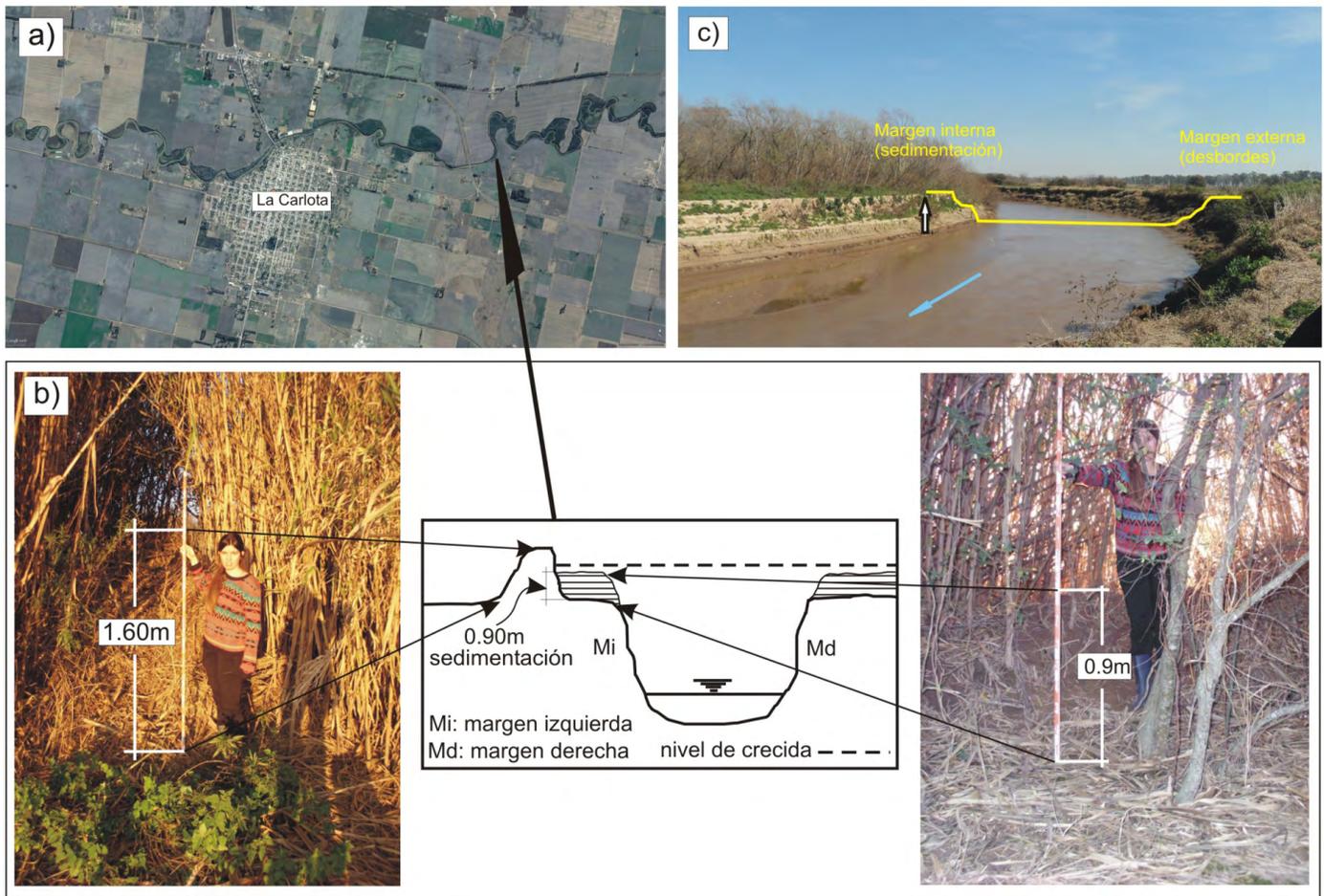


Figura 7: a) Imagen satelital (Google Earth 2017) con la posición del sitio mostrado en las imágenes b) y c) en el tramo T2; b) Vista hacia aguas arriba del meandro donde se señala la acreción vertical (flecha blanca) y el contorno del cauce; c) Vista de la altura del albardón en su lado externo (izquierda) e interno (derecha). En el diagrama central se ilustra la sedimentación interna y posterior ensanche (flecha discontinua).

La persistencia en la reducción del ancho y la profundidad del canal, descarta también la vinculación con algún episodio aluvial extremo, ya que esta tendencia se percibe desde hace varias décadas. Los estudios relacionados a cambios en la sección transversal, patrón de canal y tipo de carga, realizados en una importante cantidad de ríos, ha mostrado una cerrada relación entre el incremento en la carga en suspensión, el aumento en la profundidad del flujo y la reducción del ancho del canal (Leopold y Maddock 1953, Leopold et al. 1964).

Deposición anómala dentro de la faja de meandros por efecto de albardones artificiales: como se señaló, la distancia entre los albardones artificiales y el borde del cauce (4 m) generó un espacio en donde se ha detectado una importante sedimentación, debido al confinamiento de las crecidas que produce el doble albardonado. Esto induce el ascenso del fondo del cauce, eleva la altura de la crecida y provoca la sedimentación interna (Fig. 7a).

Una sección transversal del canal, mostrada a manera de ejemplo, revela la marcada simetría entre las márgenes (Fig.

7b, línea amarilla), donde el talud subvertical de la margen interna indica una sedimentación dominada por la acreción vertical (2 m de altura aproximadamente). La altura original del albardón del lado externo es de 1.60 m, en tanto que la del interno de 0.70 m, es decir, se produjo una sedimentación aproximada de 0.90 m (Fig. 7c).

CONCLUSIONES

La alta correspondencia entre la reducción del ancho de canal lleno, el aumento de su variabilidad (CV %) que revela importantes cambios en las condiciones hidráulicas de la corriente y la disminución de la longitud de meandro en el tramo T2, con el comienzo de los rasgos de desbordes, permiten vincular la dinámica aluvional del río con estos parámetros de la geometría del canal.

La importante cobertura de vegetación, principalmente exótica, en márgenes y lecho, y el índice de sinuosidad ($I_s =$

1.39) en el tramo T2, le confieren una importante rugosidad al canal y de allí la imposibilidad de la corriente para sostener una velocidad crítica capaz de transportar la elevada carga suspensiva durante las crecidas (se midieron hasta 8.70 g/L). Esto induce una sedimentación en márgenes y fondo, promoviendo desbordes por pérdida de sección del canal.

De las tres asociaciones de facies reconocidas, las de canal (AF1) y llanura de inundación (AF2) resultaron consistentes con la morfodinámica dominante en este tramo de la cuenca, pero la distribución espacial (lateral y vertical) de las facies, como también la potencia de algunas de ellas, permitió detectar una sedimentación fluvial anómalamente alta.

La disminución de la sección del cauce observada en el antiguo puente La Carlota (últimos 47 años), asociada a sedimentación de intracanal por confinamiento de crecidas, es coincidente con el inicio de la construcción de los albardones (1970).

La construcción de los albardones artificiales en el segundo tramo (T2), además de interrumpir la conectividad hidráulica y sedimentaria natural entre el canal y su llanura de inundación, confina la corriente dentro del cauce y eleva la lámina de crecida por encima de las alturas naturales, concentrando la intensidad de los desbordes (ruptura de albardón) en ciertos sectores del cauce.

El aumento inusual de la altura de lámina de crecida (remanso hidráulico) desplaza los episodios de desbordes hacia aguas arriba afectando el primer tramo (T1), evidenciado por el reciente registro de facies de desborde (P1).

Los cambios registrados en el tramo final del río Cuarto, son inducidos, casi exclusivamente, por intervenciones antrópicas (albardones artificiales) y han reconfigurado la posición e intensidad de los procesos de desbordes-inundación y sedimentación natural, aspectos que deberían ser considerados cuando se diseñen planes de manejo y mitigación de inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto (PPI 2016-2018), y a la Agencia Nacional de Promoción Científica (FONCYT - PICT 1552/2016) que financiaron esta investigación. Especial agradecimiento a los revisores (J. Chiesa y revisor anónimo) y a los editores de la Revista, quienes con sus sugerencias contribuyeron a la mejora de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Andrade, M. y Lucioni, N. 2014. Propuesta metodológica para el monitoreo de áreas con Riesgo Hídrico. Provincia de Buenos Aires, Argentina. 3° Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica, Actas 1: 1-22, Buenos Aires.
- Andreazzini, M. 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 (inédita), 438 p., Río Cuarto.
- Armas, P., Fernández, P., Doffo, N., Degiovanni, S., Echevarría, K. y Criado, L. 2016. Caracterización sedimentológica y análisis de facies de depósitos del Paleobanico del río Chocancharava (Cuarto) en los bañados del Saladillo. 7° Congreso Latinoamericano de Sedimentología y 15° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 1-19, Santa Rosa.
- Benzaquén, L., Blanco, D., Bo, R. y Kandus, P. 2017. Regiones de humedales de la Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International, Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires, 333 p., Buenos Aires.
- Bianchi, G. 2015. Avances del programa de investigaciones – monitoreo y evaluación de la crecida de 2014, en la cuenca del río Salado. 3° Jornadas ITE - Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería – UNLP. 440-445, La Plata.
- Blarasin, 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. Inédito.
- Blarasin, M., Cabrera, A., Matteoda, E., Frontera, H., Aguirre, M., Maldonado, L., Bécher Quinodoz, F. y Giuliano Albo, J. 2014. Recursos hídricos subterráneos de Córdoba. Parte I: Aspectos litológicos, hidráulicos, cambios de régimen y reservas de los principales acuíferos. Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino de la Provincia de Córdoba, 1233-1262, Córdoba.
- Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S. y Cioccale, M. 2014. Geomorfología. En: Martino, R. y Guerreschi, A. (eds.). Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba, 747-821, Córdoba.
- Carreño, L. y Viglizzo, E. 2010. Efecto de la agricultura sobre la provisión de servicios ecosistémicos. En: Viglizzo, E. y Jobbágy, E. (eds.), Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA: 47-52, Buenos Aires.
- Coniglio, J., Deramo, F., Pinotti, L., Demartis, M., Agulleiro Insua, L. y Petrelli, U. 2010. Control estructural de las mineralizaciones de fluorita del batolito Cerro Áspero, Sierras Pampeanas de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67 (4): 507- 520.
- Cristofolini, E., Barzola, M., Otamendi, J., Tibaldi, A., Morosini, A., Armas, P. y Camilletti, G. 2017. Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas plutónicas de la Sierra de La Aguada, Provincia de San Luis, Argentina: Implicaciones genéticas con el arco magmático Famatiniano. Estudios Geológicos 73 (1). e065.

- Degiovanni, S., Villegas, M., Blarasin, M. y Sagripanti, G. 2005. Hoja Geológica Río Cuarto-3263-III Secretaría Minera de la Nación—SEGE-MAR, Boletín 49: 90 p., Buenos Aires.
- Degiovanni, S., Villegas, M. y Ulla, J. 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., Doffo, N. y Echevarria, K. 2017. Aspectos geomorfológicos y morfodinámicos que controlan el peligro de inundación en La Carlota, Córdoba, Argentina. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 35-37, San Miguel de Tucumán.
- Díaz Lozada, J., Herrero, H., García, C. y Bernasconi, I. 2015. Cuantificación del caudal superficial en la cuenca del sistema fluvial río Cuarto – Saladillo. 2° Taller sobre Estudios Hidrológicos en Regiones Áridas y Semiáridas de la República Argentina, Actas 3940, Córdoba.
- Doffo, N., Degiovanni, S., Echevarria, K. y Andreazzini, J. 2016. Caracterización morfohidrológica del tramo inferior del río Cuarto y los Bañados del Saladillo y determinación de la peligrosidad de inundación de la localidad de La Carlota. Informe técnico, Universidad Nacional de Río Cuarto (Inédito), 136 p., Río Cuarto.
- Doffo, N., Degiovanni, S. y Andreazzini, J. 2017. Cambios morfohidrológicos por intervenciones humanas en el tramo inferior del río Cuarto y Bañados del Saladillo, Córdoba, Argentina. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 43-45, San Miguel de Tucumán.
- Fagiano, M. 2007. Geología y petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, sur de la sierra de Comechingones, Córdoba. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 379 p., Río Cuarto.
- Fernández, P. 2016. Evolución geomorfológica y dinámica actual de los derrames del río Chocancharava (Cuarto) en los bañados del Saladillo. Córdoba, Argentina. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 150 p., Río Cuarto.
- Gergel, S., Dixon, M. y Turner, M. 2002. Consequences of Human-Altered Floods: Levees, Floods, and Floodplain Forests along the Wisconsin River. *Ecological Applications*, 16 (6): 1755-1770.
- Gourment, R., Beullac, B., Degoutte, G., Patouillard, S. y Maurin, J. 2016. Levees, Diversion Canals or Flood Expansion Areas?. 3rd European Conference on Flood Risk Management 7: 1-7, Lyon.
- Gregory, K. 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79: 172-191.
- Heine, R. y Pinter, N. 2012. Levee effects upon flood levels: an empirical assessment. *Hydrological Process*, 26: 3225–3240.
- Heitmuller, F. 2014. Channel adjustments to historical disturbances along the lower Brazos and Sabine Rivers, south-central USA. *Geomorphology* 204: 382-398.
- Kröhling, D. y Carignano, C. 2014. La estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios. En: Martino, R. y Guerreschi, A. (eds.), Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: 673-724, Córdoba.
- Leakey, R., Renfrew, C., Walters, C., Plumley, J., Jacobsen, T., Grayson, A. y Gurney, O. 2000. Historia de las Civilizaciones Antiguas 1. Egipto, Oriente Próximo. En Cotterell, A. (ed.), *Crítica*, 416 p. Madrid.
- Leopold, L.B. y Maddock, T. 1953. Hydraulic geometry of streams channels and some physiographic implications. U.S. Geological Survey Professional Paper 252, p. 55.
- Leopold, L. y Wolman, M. 1960. River meanders. *Geological Society of America Bulletin*, 71:769-794.
- Leopold, L., Wolman, M. y Miller, J. 1964. Fluvial processes in geomorphology. W. H. Freeman and Company, 522p., San Francisco.
- Miall, A. 1996. The geology of fluvial deposits. *Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, 575 p., New York.
- Nosetto, M., Paez, R., Ballesteros, S. y Jobbagy, E. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206: 60-70.
- Pagot, M., Hillman, G., Pozzi-Piacenza, C., Gysels, P., Patalano, A. y Rodríguez, A. 2014. Elevación máxima del agua en la laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(4): 2007-2422.
- Pinotti, L., Coniglio, J., D'Eramo, F., Demartis, M., Otamendi, J., Fagiano, M. y Zambroni, N. 2014. El magmatismo devónico: Geología del batolito de Cerro Aspero. En: Martino, R. y Guerreschi, A. (eds.), Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: 255-277, Córdoba.
- Quirós, R., Boveri, M., Petracchi, C., Renella, A., Rosso, J., Sosnovsky, A. y Von Bernard, H. 2005. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. *Eutrofização na América do Sul: Causas, consequências e tecnologias de gestão*. Rede EUTROSUL, PROSUL, (1):1-15, São Carlos.
- Santinelli, M., Doffo, N., Degiovanni, S., Echevarria K. y Andreazzini, J. 2020. Cambios morfohidrológicos, inducidos por intervenciones antrópicas, en los sistemas lagunares de los bañados del Saladillo, Córdoba (Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77 (1): 4-19.
- SSRH, 2009. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Estadística hidrológica 2008/2009. Tomo I, 571 p.
- Testa Tacchino, A., Díaz, E., Baldissone, C., Cristanchi, M., Pagot, M., Tarrab, L., Herrero, H., Corral, M., Laboranti, C. y Rodríguez, A. 2014. Hidráulica del Río Pilcomayo en el tramo entre Villamontes y Misión La Paz: Caracterización y Restricciones. 26° Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Actas 3: 103-108, Santiago Chile.
- Testa Tacchino, A., Vargas, C., Corral, M., Pagot, M. y Rodríguez, A. 2016. Determinación del caudal que activa el desborde denominado El Chañaral sobre el Río Pilcomayo. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Universidad Nacional de Córdoba 3 (2): 201-208.
- Tobin, G. 1995. The Levee Love Affair: A Stormy Relationship? 1. *JAWRA*

- Journal of the American Water Resources Association 31: 359-367.
- Ulla, J. 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 (inédita) 159 p., Río Cuarto.
- Videla Mensegue, H., Avedano, L., Degioanni, A. y Caviglia, J. 2017. Change of soil use and water balance in southern Córdoba (Argentina). 7° World Congress on Conservation Agriculture - 25° Congreso Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (1): 1, Rosario.