

ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS Y MORFODINÁMICOS DEL ARROYO EL CANO (CÓRDOBA) EN LA ÚLTIMA CENTURIA: FACTORES DE CONTROL, CAUSAS E IMPLICANCIAS AMBIENTALES

Leandro MAGNANTE¹, Susana DEGIOVANNI¹ y Nelso DOFFO¹

¹ Dpto de Geología- Fac. Cs. Exac. Fco-Qcas y Nat.- Universidad Nacional de Río Cuarto (CP 5800). Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
E-mail: leandromagnante@hotmail.com

RESUMEN

El arroyo El Cano, afluente del Teguá, drena la vertiente oriental de la Sierra de Comechingones y planicie pampeana adyacente (Córdoba), donde la presión antrópica es creciente. En este trabajo se analizan sus variaciones morfológicas-morfodinámicas en la última centuria, los factores de control, las causas e implicancias ambientales. La metodología incluyó: mapeo geológico-geomorfológico e hidrográfico; análisis histórico evolutivo del canal; monitoreo de geoindicadores morfológicos y sedimentológicos y zonificación del canal según su comportamiento. El clima regional es templado-subhúmedo, la precipitación media anual varía entre 830-950 mm, y exhibe una tendencia ascendente en las últimas décadas. Geológicamente el área está conformada por megabloques de basamento, cubiertos en la zona extraserrana por secuencias cuaternarias, eólicas y fluviales (paleored de drenaje de edad pleistocena), diferencialmente diagenizadas. El arroyo es permanente en la sierra y efímero en la llanura (caudal= 0,08 a 200 m³/s, estiaje y crecidas, respectivamente). El canal es rectilíneo (sinuosidad=1,02-1,22), el gradiente varía entre 0,4 - 0,72% y la relación ancho-profundidad entre 1 y 30. En el lecho dominan materiales areno-gravosos mal seleccionados y, en tramos, secuencias cementadas. Integrando esta información surge que: 1) el arroyo El Cano se integró a la cuenca del Teguá a fines de la década del '50-inicio del '60, por erosión retrocedente, desbordes y extensión del canal; 2) la distribución espacial de estos procesos estuvo controlada por la estructura y la paleored pleistocena, mientras que su ritmo y morfologías resultantes, por la litología; 3) el clima es la principal causa de integración (crecidas extraordinarias/años más húmedos), potenciado por actividades humanas; 4) la red aún está desajustada, reconociéndose cinco segmentos de diferente comportamiento morfodinámico.

Palabras clave: *Sistemas fluviales, integración, morfodinámica, problemas ambientales, Córdoba*

ABSTRACT

Morphological and morphodynamic changes analysis in the last century at the El Cano stream (Córdoba Province): Control factors, causes and environmental implications

El Cano stream, main tributary of Teguá stream, drains the eastern slope of Sierras de Comechingones and the adjacent pampean plain, where the pressure of human land use is growing. In this paper its morphological-geomorphological changes in the last century, control factors, causes and environmental consequences, are analyzed. The methodological approach to carry out this study included geological-geomorphological and hydrographic mapping; evolutionary historical analysis of the channel; morphological and sedimentological geoindicators monitoring; and channel zoning according its behavior. The regional climate is temperate subhumid, the mean precipitation is 830-950 mm and shows an upward trend in last decades. The area has morphology blocks, covered by Quaternary sequences and differentially diagenized aeolian and fluvial sediments (a Pleistocene paleo-drainage network). The stream has permanent regime in the mountain area and ephemeral in the plain (flow discharge = 0.08 to 200 m³/s). The channel is straight (sinuosity between 1,02 and 1,22), the gradient ranges from 0,4 to 0,72% and the width-depth ratio ranges between 1 and 30. Bed sediments are mainly poorly selected sand and gravel, and cemented sediments along some segments. Research showed that: 1) El Cano stream joined Teguá basin in the 60's decade, because of backward erosion, overflows and channel extension. 2) The spatial distribution of these processes was controlled by the structure and Pleistocene paleo-drainage network, while rate and resulting morphologies were controlled by the lithology; 3) Climate is the main cause of integration (extraordinary floods in rainy years) enhanced by human activities; 4) the drainage network is still in adjustment and five morphodynamic segments are recognized.

Keywords: *Fluvial systems, integration, morphodynamic, environmental problems, Córdoba*

INTRODUCCIÓN

En general los sistemas fluviales muestran en sus variables de control. Los cambios una alta sensibilidad frente a variaciones morfológicas de los canales aluviales (an-

cho, profundidad, gradiente, sinuosidad, etc.), dependen principalmente de las variaciones de la descarga y suministro de sedimentos (Schumm 1969, 1977 y 1985, entre otros). En particular, durante el siglo XX, y de modo creciente, la sociedad ha ido comprendiendo el funcionamiento de estos sistemas a la vez que fue percibiendo la incidencia que los cambios ambientales, vinculados a causas naturales (clima, procesos geológicos) y diferentes estilos de desarrollo, tienen sobre el funcionamiento de la mayoría de los cursos de agua y, cómo esto repercute sobre la calidad de vida de la población. Esta continua concientización respecto a la dinámica de estos sistemas y del rol activo del hombre en estos procesos transformadores, se ve reflejado en la producción científico-técnica de las últimas décadas, que evidencia un marcado incremento de trabajos que atestiguan los diferentes modos y tiempos de respuesta, sensibilidad y comportamiento de los cursos de agua ante perturbaciones en las variables de control (Schumm 1969; Downs y Gregory 1993; Davies y Sutherland 1983; Friedman *et al.* 1998; Gregory 2006; Hafez 2002; Surian y Cisotto 2007; Macklin y Lewin 2008; Gell *et al.* 2009; Conesa García, 2008; Delcaillau *et al.* 2011; Petrovski y Timár 2010; Pereira Magalhães *et al.* 2011; Pati *et al.* 2011) y una paulatina incorporación de nuevos métodos en geomorfología fluvial que incluyen monitoreo de geoindicadores (Gouzee *et al.* 1995, Mohr 1998; Berger 1996; Osterkamp y Schumm 1996; Lawler 2005; Brasington *et al.* 2003), estandarización-tipificación cuali-cuantitativa de canales según su comportamiento morfodinámico (Sear y Newson 2003; Schmitt *et al.* 2007) y modelación hidrológica, hidrosedimentológica y morfodinámica (Brooks y McDonnell 2000; Thorndycraf *et al.* 2008; Gregory *et al.* 2008; García *et al.* 2010; entre otros).

Argentina, también ha participado de este crecimiento en el conocimiento y modo de abordaje de los distintos aspectos relacionados a los sistemas fluviales y en el manejo ambiental de estos complejos y sensibles geosistemas. A las pioneras contribuciones consistentes en descripciones

cuali-cuantitativas de índole topográfica, de regímenes hidrológicos y pendientes hidráulicas del cauce de ríos particulares del país efectuadas por Repossini (1912), Soldano (1947), Mazza (1962), le suceden en el mismo sentido el “Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina” de Giraut y Ludueña (2002) y, más recientemente, la Estadística Hidrológica de la República Argentina, editada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2004 y 2009), que presenta series discontinuas de caudales de diferentes ríos del país. Por su parte existen numerosos trabajos específicos sobre geomorfología fluvial que incluyen análisis cuali-cuantitativos, en algunos casos modelación numérica, de aspectos morfodinámicos, morfoevolutivos, hidrológicos, sedimentológicos y geoambientales de ríos y arroyos de diferentes ambientes geográficos de nuestro país, entre los que se destacan Ramonell y Montagnini (2000), Ramonell y Amsler (2001), Amsler *et al.* (2005), Luna y Suvi-res (2008), Busnelli (2012), Aguilera *et al.* (2006), Paoli y Schreider (2000), Basile *et al.* (2007), Ramonell *et al.* (2009, 2011, 2012), Corral *et al.* (2005 y 2007), Vornetti y Seoane (2010), Stenta *et al.* 2010, Neder (2009), Bosisio (2011), Toledo (2012), entre otros.

En la llanura loésica del Sur de Córdoba, la mayoría de los cursos de agua se encuentran en vías de ajuste, en respuesta a factores naturales y antrópicos, y por consiguiente son frecuentes los problemas ambientales asociados (Blarasin *et al.* 1994 y 2005; Cantero *et al.* 1998; Degiovanni *et al.* 2004, 2009, 2010; Doffo *et al.* 2011). Particularmente, merece destacarse el arroyo Tegua, que presenta marcados procesos de erosión en su cuenca media e incremento de caudales líquidos y sólidos en las áreas de descarga. En la última centuria, este curso ha causado en varias oportunidades severas afectaciones a infraestructura vial (rutas nacionales 158 y 36), así como también inundación y sedimentación en campos productivos. El arroyo El Cano, uno de sus afluentes principales, posee una marcada torrencialidad e inestabilidad en el sector extraserrano

y, a pesar de su régimen temporario, es el responsable de los mayores aportes de agua y sedimentos al arroyo Tegua.

Considerando que la evolución histórica y el estado actual de un sistema fluvial permiten definir tendencias de cambios ambientales, el objetivo de este trabajo es efectuar un análisis de las variaciones morfológicas y morfodinámicas del arroyo El Cano en la última centuria, definiendo la ocurrencia espacio-temporal de los procesos de ajuste, las variables de control, las causas e implicancias ambientales.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

Ubicación del área

La cuenca del arroyo El Cano (351,7 km²) drena la vertiente oriental de las Sierras de Comechingones y la depresión intermontana de La Cruz- Gigena, Dpto. Río Cuarto, Córdoba, y está situada entre los 32° 32' y 32° 42' S y los 64° 15' y 64° 45' O (Fig. 1).

Clima

El clima en la región es templado subhúmedo y las precipitaciones muestran una marcada estacionalidad (aprox. 70% corresponde a primavera y verano). Analizadas tres series pluviométricas, de diferente extensión temporal, ubicadas en el área de estudio y zonas aledañas (Fig. 2), se obtienen valores de precipitación media anual (PMA) de 940 mm (Baranosky: 1989-2009), 958 mm (Los Chañares: 1941-2007) y 840 mm (Moldes: 1896-2003), observándose en todas una alternancia de ciclos secos (1896-1911, 1935-1953, 1969-1977 y 1995-1997), con valores de lluvias que alcanzan los 400 mm, y otros muy húmedos (1912-1933, 1953-1968 y 1977-2004), cuyas precipitaciones suelen superar los 1200 mm.

Contexto geológico

En la cuenca alta del arroyo El Cano dominan rocas metamórficas precámbricas, compuestas por migmatitas y esquistos milonitizados del Complejo Monte Guazú y, secundariamente, por mármoles intercalados con ortoanfibolitas del Complejo Calamuchita (Fagianó 2007). En

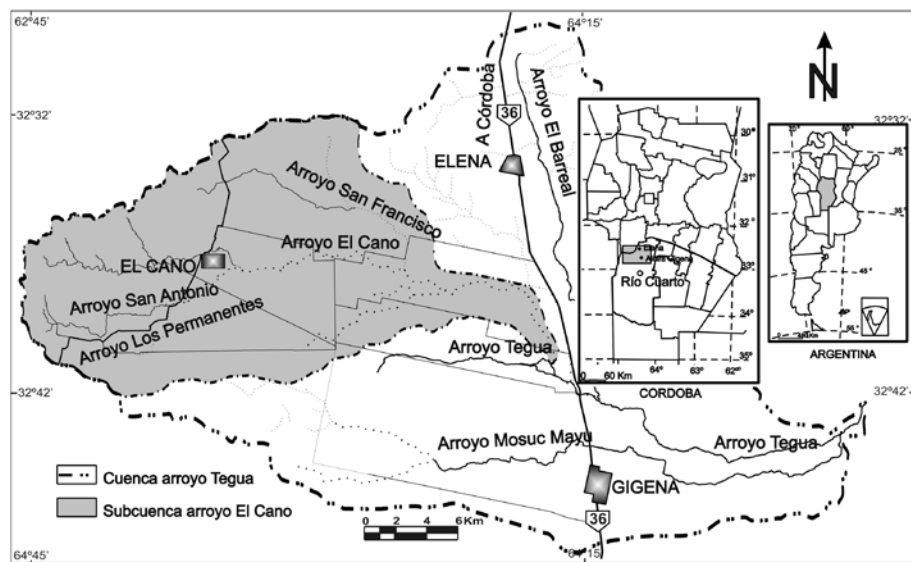


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

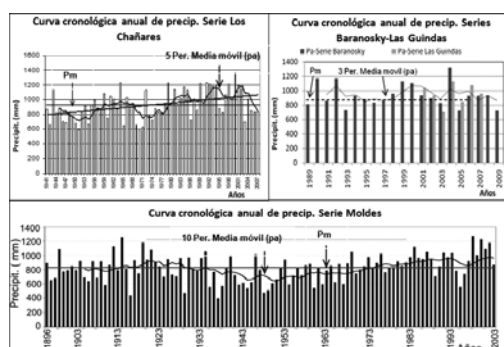


Figura 2: Curva cronológica anual de precipitaciones: Series Los Chañares (1941-2007), Baranosky (1989-2009) - Las Guindas (2001-2007) y Moldes (1896-2003). Pa: precipitación anual; Pm: precipitación media; Per: periodo.

la cuenca media y baja se exponen sedimentos cuaternarios caracterizados en la región por Cantú (1992). La secuencia se inicia con depósitos limo-arcillosos rojizos con gravillas dispersas, laminadas y en parte fuertemente cementadas (Formación Pampeano, de edad Pleistoceno medio a superior), le suceden sedimentos fluviales de alta energía, parcialmente diagénizados (Formación Chocancharava, de edad Pleistoceno superior), compuesta por clastos de origen ígneo-metamórfico, a los que se asocian otros provenientes de la Formación Pampeano. Sobre estos niveles se depositan materiales poco cohesivos de origen eólico, de gran extensión areal, como los sedimentos loésicos de las Formaciones La Invernada (Pleistoceno superior) y Laguna Oscura (Holoceno medio) y, localizadamente, secuencias palustres, aluviales y coluviales, correlacionables con las anteriores o pertenecientes

a la Formación Arroyo Las Lajas (Holoceno inferior). Completan la estratigrafía sedimentos históricos-actuales asociados principalmente a las fajas fluviales.

Toda el área presenta fuerte control estructural asociado a cuatro familias de fallas principales (Cantú y Degiovanni 1997), entre las que se destacan las submeridionales que controlan la localización de los principales sitios de confluencia de la red de drenaje, el diseño de canal a nivel de tramos y definen los bloques mayores de la depresión intermontana La Cruz-Gigena (Fig. 3). Trabajos recientes (Sagripanti *et al.* 2009; Gallo 2011) muestran evidencias de actividad neotectónica en la región.

Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos más relevantes del área extraserrana (Fig. 3) se vinculan a la presencia de bloques diferencialmente ascendidos, cubiertos por

secuencias cenozoicas de variado espesor, y a la preservación de una paleored de drenaje pleistocena (Cantú y Degiovanni 1997), cubierta por depósitos eólicos posteriores, que generan un relieve fuertemente ondulado. De este modo la mayor parte del área conforma una llanura fluvio-eólica, sobre la que se está instalando el sistema de drenaje actual. Las fajas fluviales, en general, tienen poca expresión areal, destacándose algunos tramos medios del arroyo El Cano, de canal más sinuoso y las zonas de desborde y descarga de este curso y el arroyo San Francisco.

Hidrología superficial

La cuenca posee forma elongada, patrón de drenaje rectangular/angular y está constituida por tres subcuencas principales: San Antonio (A), El Cano (B) y San Francisco (C) con 75,4 - 55,6 y 100,5 Km², respectivamente (Fig. 4 a y b). Estos tributarios tienen régimen permanente en el ambiente serrano y pedemontano, siendo el arroyo El Cano el que presenta mayor caudal de base (0,084 m³/s, estación de aforo 6, Fig. 4 a). En la zona de llanura el régimen es efímero y los cursos adquieren relación influente y/o indiferente con respecto al acuífero, dado el espesor de la zona no saturada, el cual está fuertemente condicionado por la morfología de bloques que caracteriza a esta cuenca. En general, en los altos estructurales el nivel freático está profundo y los cursos son influentes/indiferentes, mientras que, en las áreas deprimidas está poco profundo o aflorante, y los arroyos son efuentes, tal como se menciona en los trabajos hidrogeológicos realizados por Blarasin (2003) y Blarasin y Cabrera (2005), en la depresión intermontana la Cruz-Gigena. Estos autores indican que la profundidad del nivel freático disminuye marcadamente desde el pedemonte de las Sas. de Comechingones hacia el Este, al pie de las Sas. de Las Peñas, adoptando en esa dirección valores del orden de 60-100 m, en los altos que actúan como divisorias principales, 20-10 m en los ejes de los valles, llegando a aflorar en la depresión del Barrial (Degiovanni y Cantu 1997). En su tramo inferior el arroyo El Cano recupera su ca-

rácter permanente previo a la confluencia con el arroyo Tegua. En este sector, situado en el borde oriental de la depresión intermontana, el nivel freático está poco profundo (aprox. 5-7 m), aflorando en la base del canal. Aquí también debe destacarse la importancia del control estructural (falla Chucul- Alto de Gigena, Cantú y Degiovanni 1997) no sólo sobre la traza del canal, sino sobre el comportamiento del acuífero.

En la Figura 4 b se presentan los datos de áreas y densidad de drenaje de las principales subcuencas. Como puede observarse, los arroyos El Cano (B) y San Antonio (A), exhiben altos porcentajes de área desarrolladas en el sector serrano (90% y 60%, respectivamente) lo cual les otorga alta relevancia en el comportamiento hidrológico de la cuenca. En el área serrana, se midieron los mayores valores de densidad de drenaje de la cuenca ($Dd= 2,3$ y $1,9$ de los arroyos El Cano y San Antonio, respectivamente) vinculados a la litología presente y su grado de fracturación, mientras que en la llanura fluvio-eólica, la Dd varía entre $0,3$ y $1,17$. La litología y mayores pendientes del sector serrano, definen la torrencialidad del colector principal, el cual presenta hidrogramas de crecida conspicuos (Fig. 4 c), con valores de tiempo al pico de aproximadamente 2,5 horas y curva de recesión de 8-12 horas (Mag-nante 2010).

Uso del suelo

En todo el sector extraserrano el uso de suelo es mixto, con predominio de agricultura, especialmente de soja y maíz. A partir de la década del 70' se incrementa la mecanización, el uso de agroquímicos y los métodos de labranza convencional fueron paulatinamente reemplazados por la siembra directa, proceso que se intensificó a mediados de los 90', con resultados controvertidos en relación a sus efectos sobre la erosión (Becker 2005; Cantero *et al.* 1998). Subordinadamente se realiza ganadería de bovinos y cría intensiva de porcinos.

En relación a la red de drenaje, se han llevado a cabo intervenciones directas e indirectas. Entre las primeras, las principales

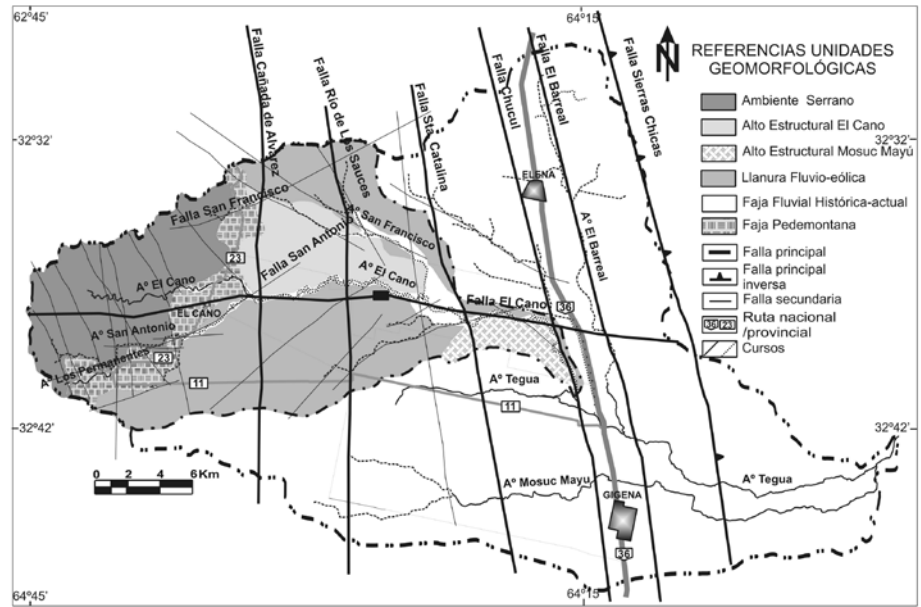


Figura 3: Mapa geológico-geomorfológico de la cuenca del arroyo El Cano.

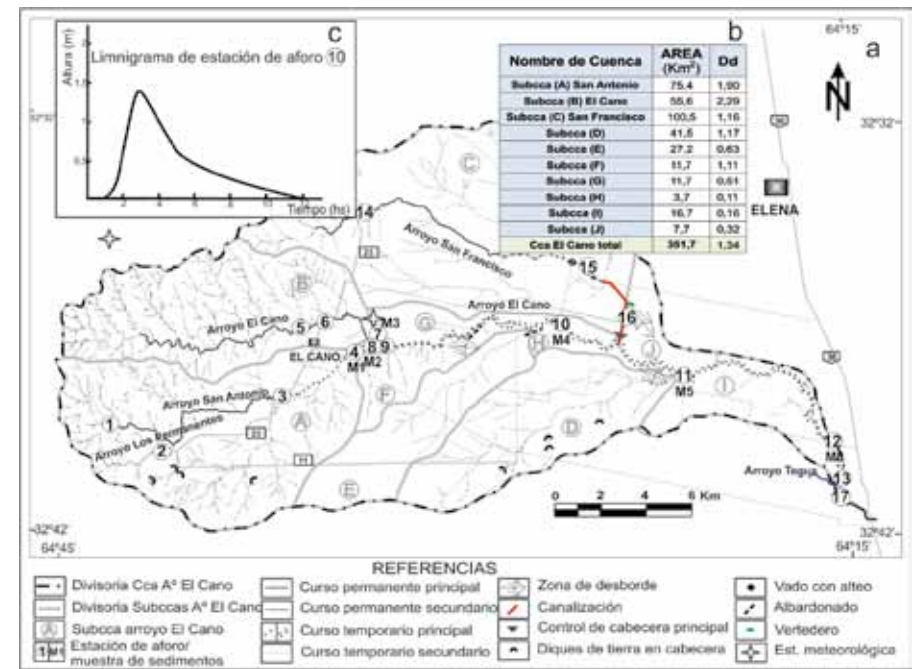


Figura 4: a) Mapa Hidrográfico cuenca arroyo El Cano; b) Tabla de área y densidad de drenaje (Dd) de las principales subcuencas; c) Limnigrama de crecida del arroyo El Cano en cuenca media.

se realizaron sobre el arroyo San Francisco (Fig. 4 a), con el objetivo de disminuir los desbordes y controlar procesos de erosión en su tramo final, e incluyen canalización (2400 m de longitud), alteo, vertedero y obra de control de cabecera en su confluencia con el arroyo El Cano. Asociado a los sitios de desborde de este último se construyeron tramos de albardones.

Entre las intervenciones indirectas se destacan diques de tierra en cabeceras de cárcavas, labranza en curvas de nivel, además de la siembra directa ya mencionada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos propuestos se recopilaron antecedentes, especial-

mente cartográficos y de registros hidrometeorológicos y se realizaron encuestas a pobladores, con el propósito de recabar información sobre episodios de crecida históricos y sus efectos geomorfológicos (ubicación y magnitud de procesos de erosión, desbordes, sedimentación). Se efectuó un análisis temporal comparativo de la red de drenaje, observando variaciones morfométricas (longitud y diseño en planta) y morfodinámicas (áreas de desbordes, erosión, sedimentación), utilizando mapas antiguos de Brackebuch (1883), Ríos y Achaval (1906), Catastro de la provincia de Córdoba (1938), hojas topográficas del IGN año 1998 (esc. 1:50.000); fotografías aéreas 1970 (esc. 1:20.000) y 1989 (esc. 1:60.000); e imágenes satelitales C_BERS 2008 y Google Earth más recientes.

A partir de estos materiales cartográficos y teniendo en cuenta los antecedentes geológicos-geomorfológicos e hidrográficos del área, se definieron tramos de control en el colector principal donde se midieron: a) indicadores morfológicos: (S) sinuosidad (1970, 1989 y 2008), (A/P) relación ancho/profundidad y (G) gradiente; b) *morfodinámicos*: erosión lateral y vertical, desbordes, sedimentación; y c) sedimentológicos: parámetros texturales de la carga de fondo. Algunos de estos indicadores se obtuvieron sólo en gabinete (S, G), otros incluyeron relevamiento de campo (A/P, procesos activos, muestreo de sedimentos) y, los sedimentológicos además, tratamiento en laboratorio.

Con la información obtenida se propone una zonificación morfodinámica del canal actual, que destaca los procesos dominantes (incisión, ensanchamiento, divagación, transporte y sedimentación), su grado de estabilidad y tendencia de cambio.

RESULTADOS

Evolución de la cuenca de drenaje en la última centuria

Como la mayoría de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba (Blarasin *et al.* 1994, Degiovanni 2008, Degiovanni *et al.* 2009, Doffo *et al.* 2010) la cuenca del arroyo El Cano ha experimentado modificaciones muy notorias en la última centuria.

El estadio más antiguo documentado (Brackebuch 1883, Ríos y Achaval 1906) corresponde a fines del siglo XIX e inicios del XX, donde la cuenca del arroyo El Cano estaba desconectada geomorfológicamente de la cuenca del Tégua, aunque probablemente, ya se vinculaban durante las crecidas importantes. El arroyo El Cano y el San Francisco, descargaban en el sector central de la depresión intermontana La Cruz-Gigena, en una zona deprimida con cuerpos lagunares y de bañados, que Ríos y Achaval (1906) denominan Laguna Blanca (Fig. 5). El arroyo Los Permanentes, aún no era afluente del San Antonio y derramaba en la zona pedemontana hacia el ESE. En el Mapa de la Dirección General de Catastro de Córdoba de 1938, la red posee características similares a las descriptas.

A partir de la década del 70' se registraron los mayores cambios, localizados fundamentalmente en el área indicada en la Figura 6, donde se muestra un mapa hidrográfico simplificado de la cuenca del arroyo Tégua. Tal como puede observarse en las fotografías aéreas del año 1970 (Fig. 7 a) las subcuencas serranas del arroyo El Cano están conectadas morfológica e hidrológicamente con el arroyo Tégua, a través de un colector principal bien definido. El arroyo San Francisco, continúa descargando en el área deprimida anterior, pero la Laguna Blanca, ya no aparece como tal. El arroyo El Cano exhibe un canal único donde alternan tramos rectilíneos, más angostos, con otros más sinuosos y anchos, como el segmento correspondiente a la antigua zona de descarga.

El proceso de integración registrado puede interpretarse como la intersección espacial de dos mecanismos (Bull 1997): a) migración de frentes de erosión retrocedente disparados desde el arroyo Tégua, receptor principal y cota de referencia de todo el sistema, que provocan incremento hacia aguas arriba de la longitud del canal, y b) *desbordes y extensión del canal* desde las zonas de descarga de los arroyos El Cano y San Francisco hacia aguas abajo. Estos procesos son coincidentes con los ciclos húmedos ya mencionados, donde se registraron crecidas de magnitud, como la del

año 1955.

Las fotografías aéreas de 1989 (Fig. 7 b) muestran la conexión canalizada del tramo final del arroyo San Francisco con el arroyo El Cano, sin embargo aún se observan evidencias de desbordes en la antigua zona de descarga y en el tramo conducido. En general, en esta etapa, dominan procesos erosivos en todas las subcuencas de llanura con un notorio incremento de la densidad de drenaje a través de la extensión y coalescencia de cabeceras de pequeños canales/cárcavas (Bull 1997). Estos mecanismos se desarrollaron siguiendo los rasgos de la paleored pleistocena, donde se instalaron canales únicos de régimen efímero. El arroyo El Cano posee en este estadio un único canal, de ancho más homogéneo, con tendencia al aumento de la longitud de onda de los meandros y a la incisión.

Si bien los mayores cambios se vinculan al marcado ciclo húmedo que se inició a fines de la década del 70' (crecida extraordinaria año 1982), también en este período se incrementó notoriamente la presión de uso de la tierra con una fuerte mecanización en la labranza convencional y, consecuentemente los escurrimientos líquidos y sólidos que llegan a los colectores principales.

Durante los últimos 30 años la red continúa integrándose (Fig. 7 c y d), los procesos erosivos son más evidentes en las principales subcuencas de llanura, con aumento general del ancho del canal principal, más notorio en cuenca media y baja, y variaciones marcadas en la longitud de onda de los meandros y su tasa de migración. Nuevamente la dinámica responde principalmente al factor climático mediante la alternancia de ciclos secos (1995-1997 y 2008-2009) y húmedos (1998-2004 y 2006-2007) que incluyen eventos de crecidas muy manifiestos en los años 1992, 1998, 2002, 2004 y 2007. En relación al uso del suelo, si bien en la última década se ha extendido la siembra directa, sus efectos positivos sobre la erosión de suelos sólo se percibieron durante los primeros años de aplicación. Posteriormente y tal como lo indican los trabajos de Becker (2005), la compactación generada por

esta técnica se tradujo en un incremento de los escurrimientos superficiales. Por otro lado las intervenciones directas en la red de drenaje (trasvases de cuencas rurales y canalizaciones, principalmente) en la cuenca media baja de los arroyos Tegua y San Francisco, potencian los procesos de reactivación.

Análisis morfológico y sedimentológico del canal

Diseño en planta del canal: el arroyo El Cano en su tramo extraserrano tiene una sinuosidad (S) de 1,11; por lo tanto se trata de un canal rectilíneo o de muy baja sinuosidad. Analizado más detalladamente, el canal exhibe tramos muy rectilíneos 3, 4 y 5 ($S=1,02-1,07$; Fig. 8) y otros más sinuosos 1 y 2 ($S=1,18-1,22$; Fig. 8), donde se desarrollan meandros. Estos en general son irregulares, asimétricos, con longitud de onda variable (150 - 900 m) al igual que su amplitud (100 - 300 m). En su dinámica predominan los procesos de rotación y extensión por sobre la traslación. Las rectificaciones en general se vinculan a mecanismos de avulsión y capturas a partir de cárcavas que, por erosión retrocedente, conectan dos ondas sucesivas (Bull 1997). Considerando su variabilidad temporal (1970-1989-2011), S disminuyó en los tramos 1 y 5, donde el gradiente es mayor y el canal está incidido en materiales cohesivos (Fm Pampeano y/o Fm Chocancarava) que controlan la migración lateral. En el tramo 3, los rasgos de avulsión reconocidos podrían evidenciar un incremento en el suministro de sedimentos o disminución del transporte de materiales y, consecuentemente disminución de S . Por su parte, S aumentó en los tramos 2 y 4 donde el curso divagó erosionando materiales poco consolidados de las márgenes. **Perfil longitudinal:** el arroyo El Cano presenta un desnivel de 474 m en 50 kilómetros, su perfil longitudinal muestra un índice de concavidad (IC) de 0,36 y una pendiente general de 0,95%, pasando de 1,72% en el área serrana a 0,54% en la extraserrana. Según las variaciones de gradiente, este último tramo fue dividido en 5 segmentos que exhiben una marcada alternancia de valores superiores (0,55% - 0,59% -



Figura 5: Hidrografía del área de estudio según Ríos y Achaval (1906).

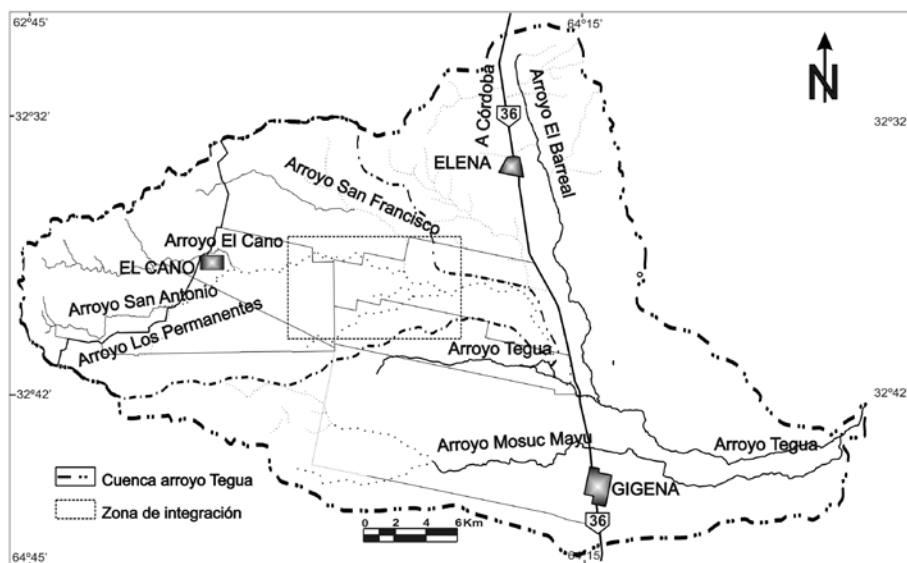


Figura 6: Mapa hidrográfico simplificado de la cuenca del arroyo Tegua donde se destaca la zona de integración con el arroyo El Cano.

0,72%) e inferiores (0,4% y 0,41%) a la media. Se reconocieron cabeceras de erosión retrocedente (saltos) en los segmentos de mayor gradiente (Fig. 9).

Sección transversal y relación ancho-profundidad (A/P): como se observa en la figura 10, la sección transversal muestra una leve tendencia al incremento de la relación A/P en dirección aguas abajo, con algunos tramos anómalos. En la zona pedemontana los valores de A/P son del orden de 8 - 10, en el tramo medio de 13 - 24, y en cuen-

ca baja, entre 30 y 35. En la confluencia del arroyo El Cano con el Tegua el valor de A/P es 1. Las anomalías medidas, se vinculan principalmente a la litología, se trata de sectores donde en el lecho y márgenes del canal se exponen los sedimentos diagenizados de la Formación Pampeano y, en menor grado, de la Formación Chocancarava. Las secciones de las estaciones 3, 5 y 14 deben su baja relación A/P a la presencia de basamento metamórfico en lecho y márgenes del canal, el cual

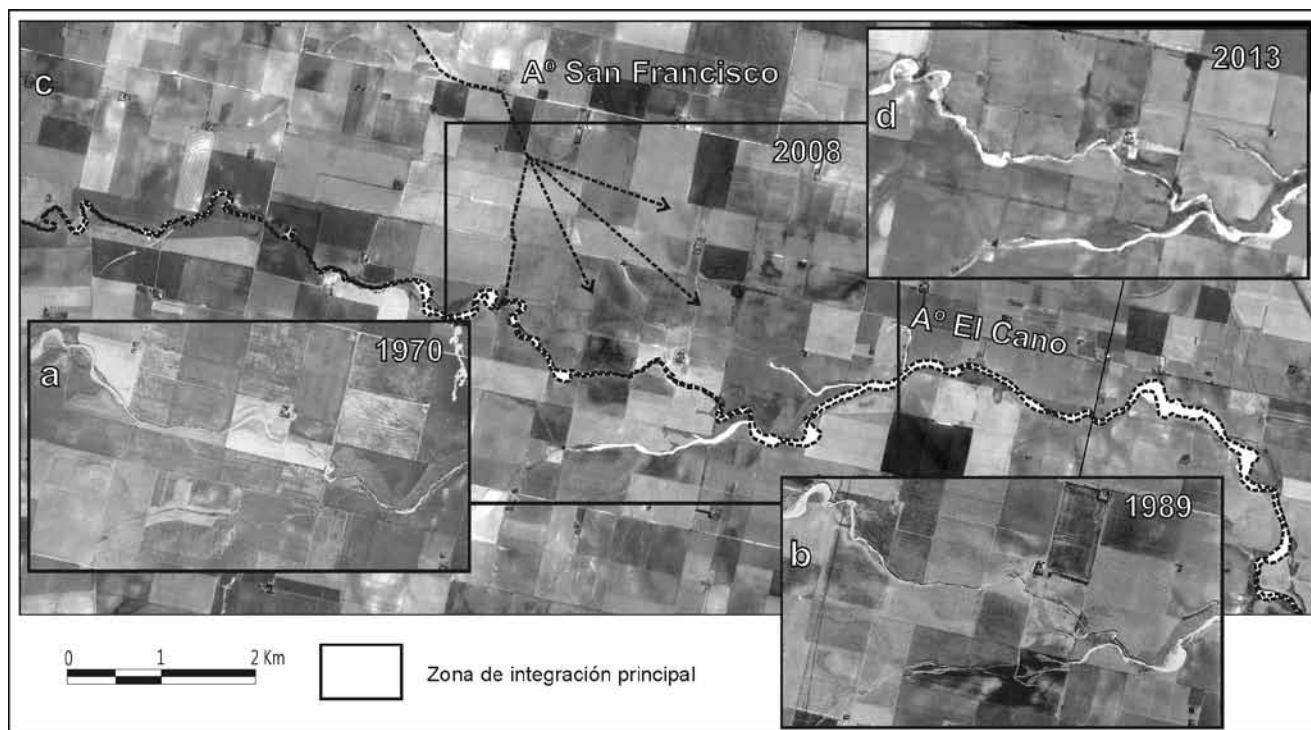


Figura 7: Diferentes estadios de la zona principal de integración de la red de drenaje del arroyo el Cano; a) 1970; b) 1989; c) 2008; d) 2013.

posee alta resistencia a la erosión (principalmente lateral). En cuenca media la Fm Chocancharava constituye el fondo del canal, mientras que la Fm La Invernada es la principal constituyente de las márgenes, lo que le confiere baja estabilidad a las mismas, elevándose la relación A/P a 24 en la estación 10. En cuenca baja los afloramientos de la Fm Pampeano tienen fuerte incidencia sobre las secciones transversales, constituyen la base del canal, por donde el curso divaga y erosiona las márgenes compuestas por los sedimentos poco consolidados de las Fm Chocancharava y La Invernada, alcanzando A/P valores superiores a 30 (estaciones 12 y 13). En la estación 17 la baja relación A/P se relaciona procesos de incisión reciente sobre los materiales fuertemente cementados de la Fm Pampeano.

Caracterización de la carga de fondo: en general todas las muestras están pobremente seleccionadas, con granulometrías dominantes que varían entre arenas gravosas (M3 y M6), arenas gruesas (M4 y M5) y gravas arenosas (M1 y M2); aumentando levemente la cantidad de materiales finos hacia aguas abajo y disminuyendo la competencia. Las muestras presentan

una moda con un phi 0 dominante en las estaciones de cuenca media-alta (M1, M2 y M3), y una moda en el phi 1 en las estaciones de cuenca media-baja (M4 y M5) y baja (M6) del arroyo El Cano (Fig. 11). Se distingue un dominio de histogramas casi simétricos correspondientes a las estaciones 11 (M5) y 12 (M6); ubicadas en cuenca media-baja y baja del arroyo El Cano respectivamente y bajo grado de selección, de todas las muestras.

El dominio general de arenas gruesas-gravas de composición ígnea-metamórfica en todo el tramo extraserrano se vincula fundamentalmente a los afloramientos de la Fm Chocancharava (psefitas y psamitas con variado grado de cementación), en el fondo y márgenes del canal. Hacia la cuenca baja se incorporan clastos de tosca provenientes de la erosión de la Formación Pampeano. Los materiales más finos son aportados por la Formación La Invernada y Laguna Oscura componente principal de las márgenes de cursos en cuenca media-baja e interfluvios de toda la cuenca. El régimen efímero de los cursos principales en el área extraserrana, sumado a la proximidad del área fuente, explica el bajo grado de selección que presentan los

materiales que componen la carga de fondo a lo largo de toda la cuenca.

Zonificación final y tendencias de cambio

Se definieron cinco segmentos de diferente comportamiento morfodinámico (Fig. 12):

Segmento (1): en el primer tramo, correspondiente al arroyo San Antonio, el canal presenta un gradiente de 0,54%, sinuosidad moderada, la cual aumentó entre los años 70' y 89', y con ello la longitud del curso en el tramo medio. El desarrollo de vegetación en las márgenes y llanura de inundación, contribuyó a estabilizar el curso y las terrazas, manteniendo secciones con relación A/P intermedia, aunque en su tramo final, condicionamientos estructurales (falla Cañada de Álvarez) y litológicos, favorecieron la incisión vertical y con ello la disminución de la relación A/P. Aguas abajo de la confluencia entre los arroyos San Antonio y El Cano, entre las fallas de Cañada de Álvarez y Río de Los Sauces el canal es moderadamente estable. El aporte de caudales de estos cursos y la elevada pendiente (0,55%), indicaría un dominio de la erosión y el

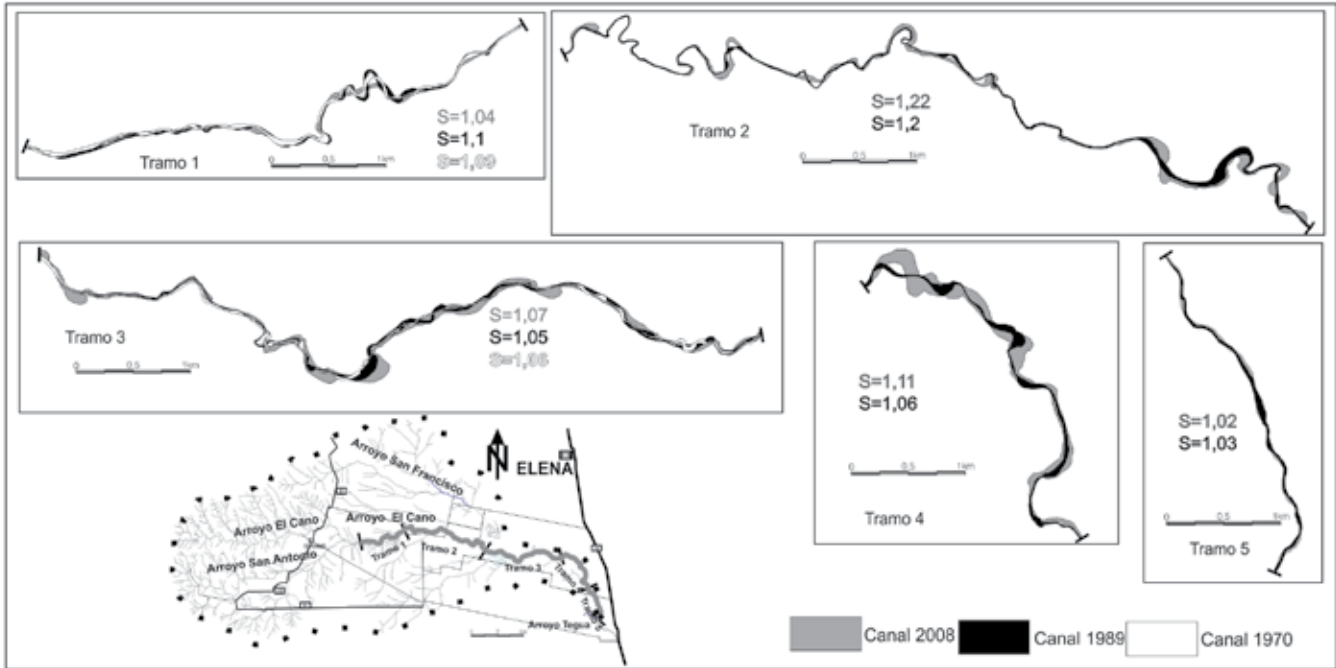


Figura 8: Variación temporal de la sinuosidad del canal en distintos tramos del arroyo El Cano.

transporte, a su vez la escasa sinuosidad del segmento revela una baja migración lateral, debida también a la rectificación de meandros por desbordamiento.

Segmento (2): constituye un tramo moderadamente inestable, coincidente con la antigua zona de descarga en el bloque hundido del centro de la cuenca (antigua zona de la Laguna Blanca). Debido a ésto su pendiente es menor (0,4%) y la sedimentación es uno de los procesos dominantes, cuya consecuencia es la ocurrencia de fenómenos de desbordes en crecidas de magnitud. Además presenta sectores de divagación y ensanchamiento, alta relación A/P, a causa de la baja consolidación de los materiales que constituyen sus márgenes.

Segmento (3): es una zona fundamentalmente erosiva, inestable y condicionada por la influencia hidrológica del arroyo San Francisco (100,5 km²) y la descarga del colector de la principal subcuenca de llanura (D). La pendiente se incrementa en relación al segmento precedente y predomina la incisión vertical, exponiendo la Fm Pampeano en el lecho del canal. La sinuosidad del segmento se mantuvo baja a través del tiempo, mientras que el ajuste del ancho, por el mayor caudal (incorporación de caudales del arroyo San Fran-

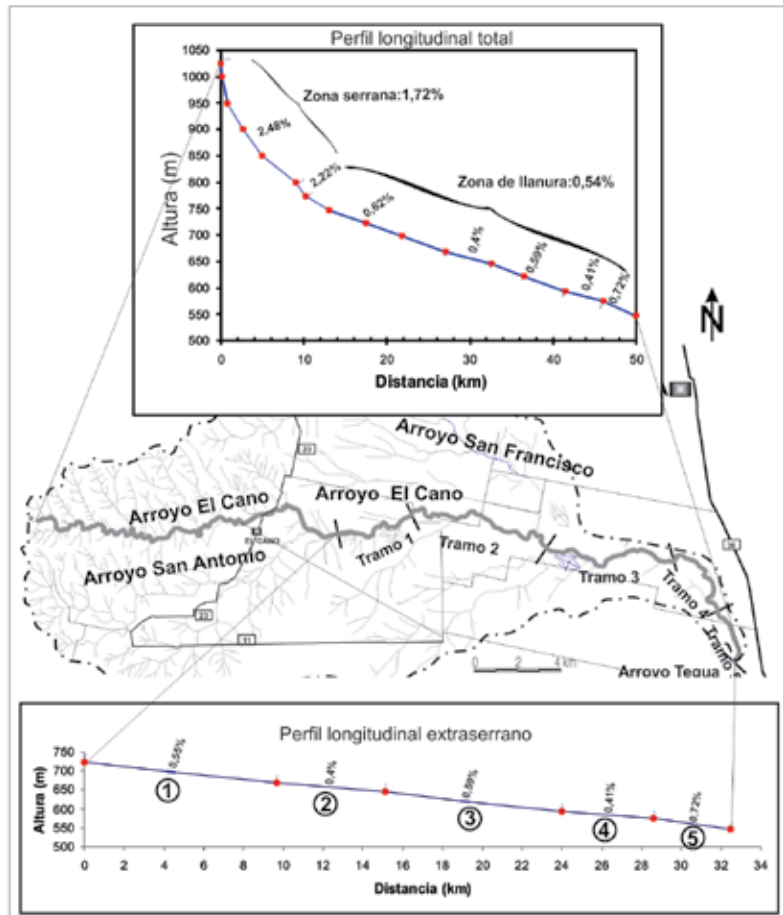


Figura 9: Perfil longitudinal del arroyo El Cano, con detalle del segmento extraserrano.

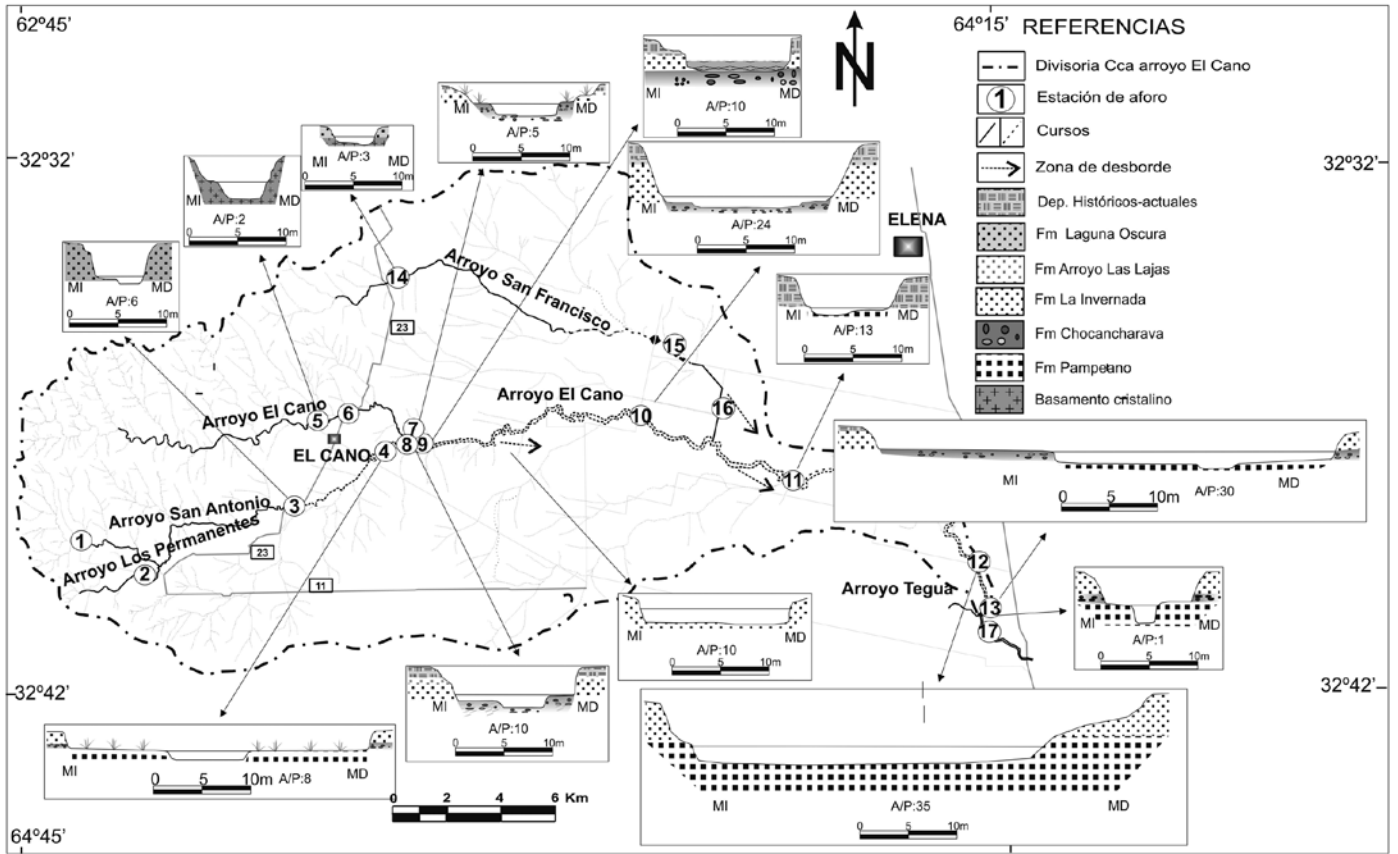


Figura 10: Variación espacial de la sección transversal del canal del arroyo El Cano.

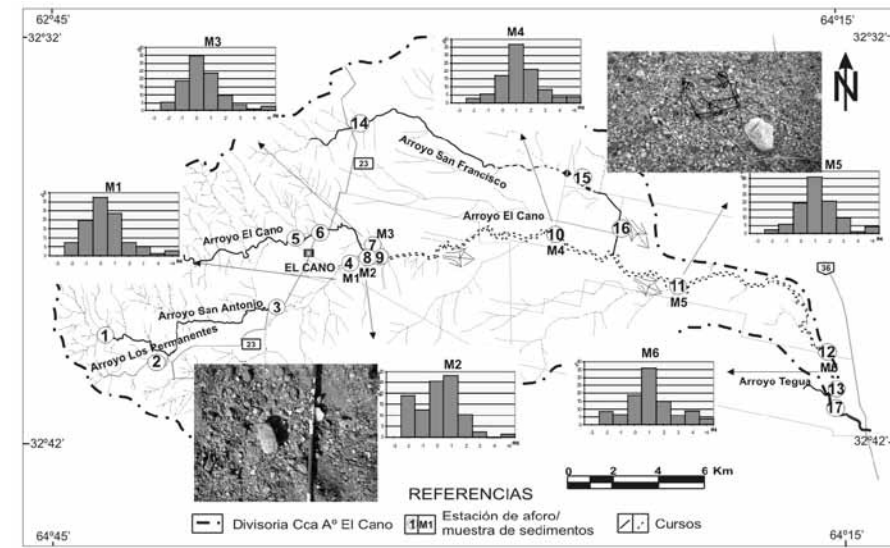


Figura 11: Caracterización y variación espacial de la carga de fondo del arroyo El Cano.

cisco y subcuenca de llanura) no tuvo mayores impedimentos debido a los materiales poco consolidados de las márgenes (Fm Chocancharava y La Invernada). *Segmento (4)*: se trata de un segmento ya reconocido en Ríos y Achaval, (1906), con

fuerte control estructural, que se presenta inestable con dominio de ensanchamiento y divagación, favorecido por la presencia de sedimentos deleznable en las márgenes, a pesar de que el lecho está constituido por la Fm Pampeano. La me-

nor pendiente favorece una dinámica de tipo agradacional.

Segmento (5): al igual que el anterior, se trata de un segmento antiguo, controlado estructuralmente, con evidencias de erosión, moderadamente inestable, que exhibe el valor de sinuosidad más bajo de (1,02) y la pendiente más alta (0,72%) de todos los tramos analizados. Como en el segmento (4), domina el ensanchamiento, expresado en altas relaciones A/P (30) sobre litologías similares; pero se diferencia de éste por la presencia de una onda de erosión retrocedente incidiendo en materiales de la Fm Pampeano.

CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

La cuenca del arroyo El Cano sufrió el principal proceso de integración morfohidrológica con la cuenca del arroyo Tegua en la primera mitad del siglo XX mediante dos mecanismos: a) migración de frentes de erosión retrocedente, dispa-

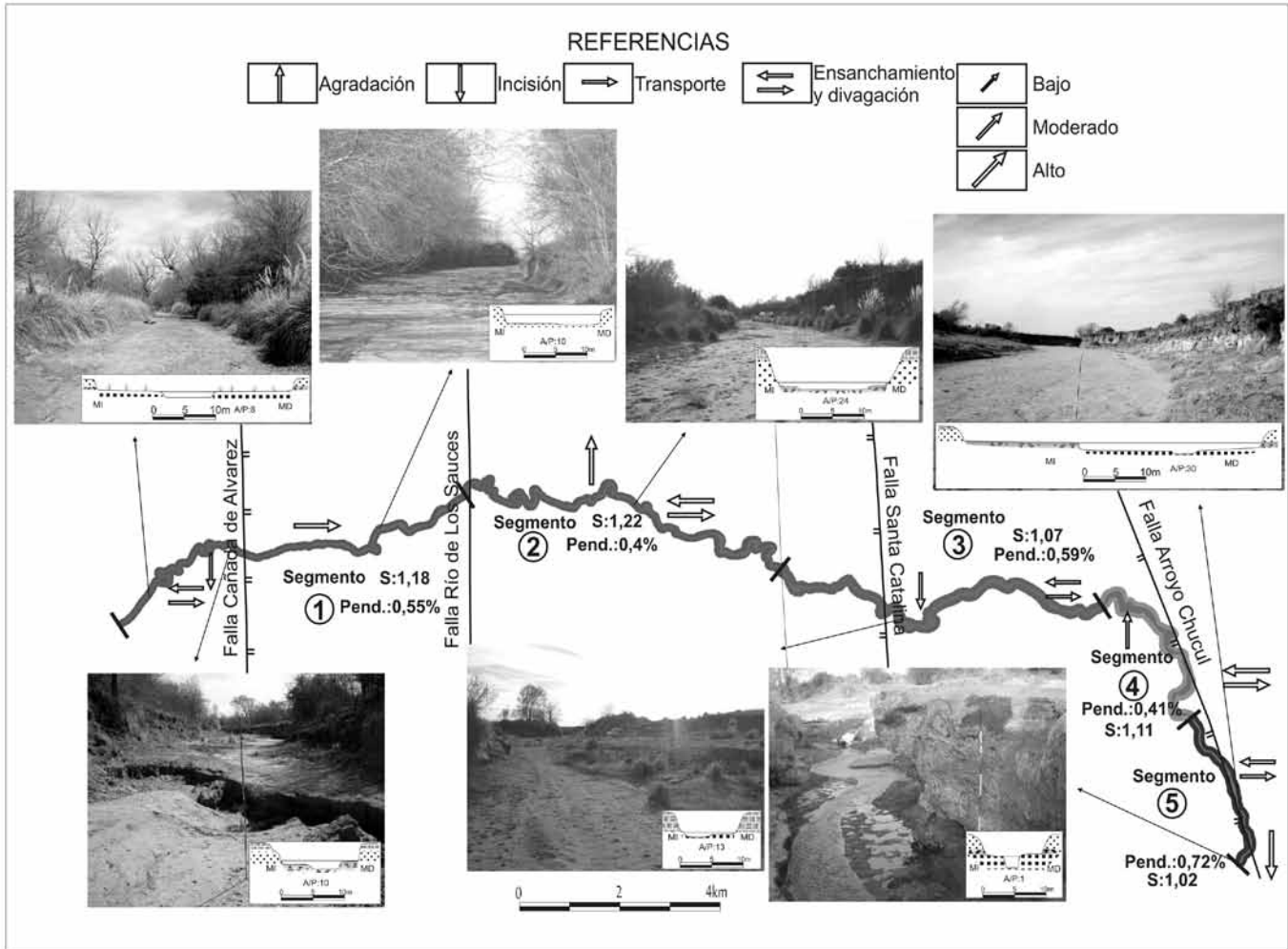


Figura 12: Mapa de zonificación morfodinámica. dos desde el arroyo Tegua y b) desbordes y extensión del canal desde las zonas de descarga de los cursos serranos hacia aguas abajo.

El clima desempeñó un rol fundamental en las distintas etapas de integración, en los ciclos húmedos donde las precipitaciones superan ampliamente a las medias, se destacan eventos de crecidas importantes (1955, 1982, 1992, 1998, 2004, 2007) de gran efectividad geomorfológica.

La geología del área actuó como condicionante significativo en la morfodinámica de la cuenca principalmente, por la presencia en llanura de un patrón estructural que originó los rasgos mayores del relieve. La litología cuaternaria regula el ritmo de los procesos modeladores y consecuentemente la morfología del canal en sus tres dimensiones. A su vez la paleored pleistocena, controló la distribución espacial de

la actual red.

La creciente presión del uso del territorio e intervenciones directas en la red de drenaje actuaron como potenciadores de la actividad erosiva en la última centuria, con fuerte influencia en la etapa de integración principal.

La cuenca del arroyo El Cano actualmente está en vías de ajuste y los indicadores que mejor reflejan esta situación son el perfil longitudinal, el diseño en planta, las variaciones granulométricas de la carga de fondo del colector principal y la baja densidad de drenaje de las subcuencas de llanura principales.

El bajo índice de concavidad (0,36) y la alternancia de tramos de alto y bajo gradiente en el sector extraserrano se interpretan como evidencias de desajuste. El alto gradiente del tramo 5 indica la posición de la onda de erosión retrocedente

principal, mientras que el bajo gradiente del tramo medio evidencia que aún mantiene tendencia agradativa en la antigua zona de descarga.

La baja sinuosidad del colector principal (1,11), y la presencia de tramos rectos incididos intercalados con sucesiones de meandros con tendencia a la avulsión, reflejan que aún no se ha alcanzado un estadio final de integración, en el cual los procesos de erosión, transporte y sedimentación dominarían en posiciones de cuenca alta, media y baja, respectivamente. El incremento de las fracciones gravosas hacia cuenca baja pone de manifiesto erosión y aportes locales en posiciones medias de la cuenca provenientes fundamentalmente de la Formación Chocancharava.

La integración de la red de drenaje no implicaría el cambio de régimen hidrológico

efímero a permanente del arroyo El Cano, al menos en la mayor parte del sector extraserrano, debido a la considerable profundidad del nivel freático, por lo que la evolución del canal continuará regida principalmente por eventos de tormenta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, que financió esta investigación, así como también a los revisores, quienes con sus aportes contribuyeron a la mejora de este manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguilera, N., Grillo, G. y Cerúsico, L. 2006. Comportamiento geomorfodinámico del cauce del Río Grande de Jujuy. Metodología Cartográfica. 3º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 467-477, Córdoba.
- Amisler, M.L.; Ramonell, C.G.; Toniolo, H. 2005. "Morphologic changes in the Paraná River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century". *Geomorphology* 70: 257-278.
- Basile, P. A., Riccardi, G.A., García, M y Stenta, H. 2007. Quasi-2D modeling of hydro-sedimentological processes in large lowland river-floodplain systems. Workshop on Morphodynamic Process in Large Lowland Rivers, Actas CD, Santa Fé.
- Becker, A. 2005. Evaluación de procesos de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana en el suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 457 p., Río Cuarto.
- Berger, A. 1996. The geoindicators concept and its application: an introduction. En Berger, A. and Iams, W. J. (eds.) *Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems: 1-14*, Rotterdam.
- Blarasin, M., Degiovanni, S., Cantu, M., Cabrera, A., Cisneros, J., Gonzalez y, G. y Cholacky, C. 1994. Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la Ruta Nacional 7, entre las ciudades de Laboulaye y Villa Mercedes, y la Ruta Nacional 8, entre Canals y Villa Mercedes. Convenio Universidad Nacional de Río Cuarto-Empresa Caminos del Oeste (inédito), Córdoba.
- 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 (inédita), 385 p., Río Cuarto.
- Blarasin, M. y Cabrera, A. 2005. Hidrogeoquímica del acuífero freático de Río Cuarto y su entorno rural: el fondo natural o línea de base de la calidad del agua. En: Blarasin, M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas, M. (eds.) *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba*. Universidad Nacional de Río Cuarto. 141-152 p. Río Cuarto
- Blarasin M., Degiovanni, S., Cabrera A. y Villegas M. (eds.) 2005. *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental*. 1º edición. Universidad Nacional de Río Cuarto, 240 p., Río Cuarto.
- Bosisio, A. C. 2011. Análisis de variables ambientales en una planicie aluvial con alta intrusión antrópica, en situación de una crecida extraordinaria. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional del Litoral (inédita), 131 p., Santa Fé.
- Brackebuch, L. 1883. Plano general de la provincia de Córdoba. Editorial Departamento Topográfico de la provincia de Córdoba.
- Brasington J., Langham J. y Rumsby, B. 2003. Methodological sensitivity of morphometric estimates of coarse fluvial sediment transport. *Geomorphology* 53: 299-316.
- Brooks, S. y McDonnell, R. 2000. Research advances in geocomputation for hydrological and geomorphological modeling towards the twenty-first century. *Hydrological Processes* 14: 1899-1908.
- Bull, W. 1997. Discontinuous ephemeral streams. *Geomorphology* 19: 227-276.
- Busnelli, J. 2012. Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial (Tucumán-Argentina). 5º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Acta 1: 119, Río Cuarto.
- Cantero, A., Cantú, M., Cisneros, J., Cantero, J., Blarasin, M., Becerra, V., González, J., Degiovanni, A., Gil de Prada, J., Degiovanni, S., Cholaky, C., Villegas, M., Cabrera A. y Eric, C., 1998. Las tierras y aguas del Sur de Córdoba: propuestas para un manejo sustentable. Universidad Nacional de Río Cuarto, 119 p., Río Cuarto.
- Cantú, M. 1992. Holoceno de la provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de la Republica Argentina. Tomo 1. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 p., Paraná.
- Cantú, M. y Degiovanni, S. 1997. Neotectonic activity in the La Cruz-Gigena depression, Córdoba, Argentina. 4º International Conference on Geomorphology. Supplementi di Geografia Física e Dinamica Quaternaria (3), Tomo 1: 142, Bologna.
- Conesa-García, C., López-Bermúdez, F. y García-Lorenzo, R. 2008. Bed stability variations after check dam construction in torrential channels (South-East Spain). *Journal Earth surface processes and landforms*. 32: 2165-2184.
- Corral, M., Hillman G., Pagot, M., Moya, G., Baldissoni, M., Rodríguez, A., Lopez, F., Hiruela, J., Martínez, R, Díaz, A., González, J., Bazán, G. y Muratore H. 2005. Influencia de la extracción de áridos en los ríos 2º y 4º de Córdoba. En Farias, H. D., Brea, J. D. y Cazeneuve, R. (eds.). En *RIOS 2005: Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos*. 2º Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Actas CD, 6 p., Neuquén.
- Corral, M., Baldissoni, M., Rodríguez, A., Díaz, A., y Lopez, F. 2007. Influencia de la extracción de áridos en Río Cuarto: Modelación y Mediciones. En *RIOS 2007: Principios y Aplicaciones en Hidráulica de Ríos*, Actas CD, 238-248 p., Córdoba.
- Davies, T. y Sutherland, A, 1983. Extremal Hypotheses for River Behavior. *Water Resources Research*, 19:141-148.
- Degiovanni, S., Villegas, M., Doffo, N. y Origlia, D. 2004. Erosión Fluvial. En: Gonzalez M. y Bejerman, N. (eds.) *Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo*. Estudio de casos. Publicación especial. N° 4: 172-216 p., Córdoba.
- Degiovanni, S., Doffo, N. y Villegas, M. 2009. Rejuvenecimiento de la red de drenaje del Sur de Córdoba como consecuencia del cambio climático durante la última centuria. En Sayago, J. y Collantes, M. (eds), *Geomorfología y Cambio Climático*, Universidad Nacional de Tucumán, 79-96 p., Tucumán.
- Degiovanni, S., Andreazzini, J., Villegas M., Eric C. y Doffo, N. 2010. Caracterización de la carga en suspensión de los arroyos del Sur de

- Córdoba. Implicancias morfodinámicas y ambientales. En Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (eds) 1° Congreso Internacional de Hidrología de Llanura. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura, 185-192 p., (CD), Azul.
- Delcaillau, B., Amrhar, M., Namous, M., Laville, E., Pedoja, K., Dugúe, O. 2011. Transpresional tectonics in the Marrakech High Atlas: insight by the geomorphic evolution of drainage basins. *Geomorphology* 122: 223-230.
- Dirección Nacional de Catastro. 1938. Dirección Provincial de Catastro, Mapa para riego del sur de la provincia de Córdoba.
- Doffo, N., Degiovanni, S. y Villegas, M. 2010. Evolución de redes de drenaje en áreas de llanura. El caso del arroyo Las Lajas, Córdoba, Argentina. *Cuadernos de CURIHAM* 16: 49-57, Rosario.
- Downs, P. y Gregory, K. 1993. The sensitivity of River Channels in the Landscape System. *The Professional Geographer* 47:167-175.
- Estadística Hidrológica de la República Argentina. 2004. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- Estadística Hidrológica de la República Argentina. 2009. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Obras Públicas. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 254 p.
- Fagiano, M. 2007. Geología y petrología del basamento cristalino de Las Albahacas, Sur de la Sierra de Comechingones. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 375 p., Río Cuarto.
- Friedman, J. M., Osterkamp, W., Scout, M. y Auble, G. 1998. Downstream effects of Dams on channel geometry and bottomland vegetation: regional patterns in the great planis. *Wetlands* 18: 619-633.
- Gallo, M. 2011. Estudio neotectónico de la falla Sierra Chica de Córdoba, en la sección Las Peñas-Los Cóndores. Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 103 p., Río Cuarto.
- García et al., 2010 Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura. 1° Congreso Internacional de Hidrología de Llanura, 185-192 p., (CD), Azul.
- Gell, P., Fluin, J., Tibby, J., Hancock, G., Harrison, J., Zawadzki, A., Haynes, D., Khanum, S., Little, F. y Walsch, B. 2009. Anthropogenic acceleration of sediment accretion in lowland floodplain wetlands, Murray-Darling Basin, Australia. *Geomorphology* 108: 122-126.
- Giraut, M.A. y Ludueña, S.G. 2002. "Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina". Subsecretaría de Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua. Sistema Nacional de Información Hídrica, (CD) Buenos Aires.
- Gouzee, N., Mazjijn, B. y S. Billharz, 1995 (eds). Indicators of sustainable development for decision-making. Report of the SCOPE Workshop, Ghent, Belgium, 9-11 January. Bruxelles: Federal Planning Office, 128 p., Brussels.
- Gregory, K.J. 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79:172-191.
- Gregory, K. J., Benito, G. y Downs, P. W. 2008. Applying fluvial geomorphology to river channel management: Background for progress toward a paleohydrology protocol. *Geomorphology* 98: 153-172.
- Hafez, Y. 2002. On the dynamic adjustments of stream channels. *Journal of Environmental hydrology. The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology* 10: 1-15.
- Lawler, D. M., 2005. The importance of high-resolution monitoring in erosion and deposition dynamics studies: examples from estuarine and fluvial systems. *Geomorphology* 64: 1-23.
- Luna, P. y Suvires, G. 2008. Unidades Geomórfológicas y su relación con las amenazas aluvionales, en una región árida del centro-oeste argentino. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 3:1151-1153, San Salvador de Jujuy.
- Macklin M. y J. Lewin, 2008. Alluvial responses to the changing Earth system. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms*. 33: 1374-1395.
- Magnante, L. 2010. Variaciones morfológicas y morfodinámicas del arroyo El Cano en la última centuria. Causas e implicancias ambientales. Trabajo Final de Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 121 p., Río Cuarto.
- Mazza, G., 1962. Recursos hidráulicos superficiales. Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Tomo 4 (1 y 2). CFI. 879 p., Buenos Aires.
- Mohr, L.B., 1998. Impact analysis for program evaluation. Brooks & Cole, Pacific Grove, 289 p., California.
- Neder, L. 2009. Evolución hidrológica de los cauces fluviales del piedemonte y llanura ondulada. Departamento Burruyacú, Tucumán, Argentina. En Fucks, E., Deschamps, C., Silva C. y Schnack E. (eds). 4° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. 12° Congreso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario. 2° Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas CD: 327-333, La Plata.
- Osterkamp, W.R. y Schumm, S.A. 1996. "Geoindicators for the river and river-valley monitoring". En Berger, A. and Iams, W. J. (eds.) *Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems*: 97-114, Rotterdam.
- Paoli, C. y Schreider, M. (Eds). 2000. El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral. T1: 307 p. y T2: 299 p.
- Pati, P., Parkash, B., Awasthi, A.K. y Acharya, V. 2011. Holocene tectono-geomorphic evolution of parts of the Upper and Middle Gangetic plains, India. *Geomorphology* 128: 148-170.
- Pereira Magalhães, A., Soares Cherem, L.F., Paula Barros, L.F., Barbosa dos Santos, G. 2011. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. *Geomorphology* 132: 187-194
- Petrovski, J. y Timár, G. 2010. Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity. *Geomorphology* 122: 223-230.
- Ramonell, C. G., y Montagnini, D. 2000. Particularidades del sedimento del lecho en ríos de origen andino y extra-andino de Argentina. Taller Regional sobre Tópicos Básicos y Aplicados de la Hidráulica Fluvial, Anales: 129-136. Santa Fe.
- Ramonell, C. G. y Amsler, M. L. 2001. Metamorphosis processes (1992-2000) of the Quinto River, Argentina. 3° International Symposium Environmental Hydraulics, Process, Actas (CD), 6 p., Phoenix.
- Ramonell, C., Montagnini, M., Cafaro, E., Gallego, M., Alarcón, J y Amsler, M. 2009. River morphodynamics in Argentina: A regional perspective. En Fucks, E., Deschamps, C.,

- Silva C. y Schnack E. (eds.). 4° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. 12° Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario. 2° Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas CD: 78, La Plata.
- Ramonell, C.G., Latrubesse, E.M. y Pereira, M.S. 2011. Procesos y ritmos de construcción actuales de la planicie aluvial del río Paraná Medio, geofomas resultantes. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas CD: 1247-1248, Neuquén.
- Ramonell, C., Kandus, P., Minotti, P., Borro, M. y Morandeira, N. 2012. Nueva interpretación geomorfológica del complejo fluviolitoral del río Paraná en su desembocadura. 5° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Acta 1: 125, Río Cuarto.
- Reposini, J.P. 1912. Memoria sobre el Río Paraná. 12° Congreso Internacional de Navegación, 151 p., Filadelfia.
- Ríos, J. y Achaval, F. 1906. Mapa Hidrográfico de la cuenca superior de los ríos Tercero y Cuarto. En Geografía de la provincia de Córdoba. Gobierno de Córdoba.
- Sagripanti, G., Villalba D., Bettiol, A. y Seitz, C. 2009. Sismicidad y paleosismicidad en la región sur de la provincia de Córdoba. Análisis del peligro y riesgo sísmico asociado. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. 23: 45-53.
- Schumm S. 1969. River Metamorphosis. ASCE J. Hydraulic Division, 95: 255-273.
- Schumm S. 1977. The Fluvial System. 338 p., Wiley, New York-London.
- Schumm S. 1985. Pattern of alluvial rivers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 13: 5-27.
- Sear, D. A. y Newson, M. D. 2003. Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standards and monitoring. The Science of the Total Environment, 310: 17-23.
- Schmitt L., Maire, G., Nobelis, P. y Humbert, J. 2007. Quantitative morphodynamic typology of rivers: a methodological study based on the French Upper Rhine basin. Journal Earth surface processes and landforms. 32: 12726-1746.
- Soldano, F.A. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial Argentina. Parte 1. 277 p., Buenos Aires.
- Surian, N. y Cisotto, A. 2007. Channel adjustments, bed load transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy. Journal of Earth Surface Processes and Landforms, 32: 1641-1656.
- Stenta, H., Zimmermann, E., Riccardi, G., Basile, P., Rentarías, J.P. y Scuderi, C. 2010. Comparación de la respuesta hidrológica en una cuenca de llanura mediante el uso del modelo HEC-HMS y el modelo de aproximación difusiva VMMHH 1.0. En Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (eds) 1° Congreso Internacional de Hidrología de Llanura. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura, Actas 2: 555-562. Azul.
- Thorndycraf, V., Benito G. y Gregory, K.J. 2008. Fluvial geomorphology: A perspective on current status and methods. Geomorphology 98: 2-12.
- Toledo, M. 2012. La pampa incisa. Registro sedimentario del inicio de la incisión actual: la secuencia Areco e implicancias geoarqueológicas. 5° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Acta 1: 38, Río Cuarto.
- Vornetti, A. y Seoane, R. 2010. Aplicación de modelos precipitación - caudal con distintas escalas de agregación espacial y su efecto en la estimación de crecidas. En: Varni, M., Entraigas, I. y Vives, L. (eds) 1° Congreso Internacional de Hidrología de Llanura. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura, Actas CD: 927-933. Azul.

Recibido: 18 de marzo, 2013

Aceptado: 25 de octubre, 2013