

Caracterización del patrón hidromorfológico del Arroyo de la Ventana en su tramo medio alto (Buenos Aires, Argentina)

Hydromorphological pattern in middle upper segment of the Arroyo Ventana (Buenos Aires, Argentina)

Belén García Martínez¹, Verónica Gil²,
María Elizabeth Carbone³ y Carlos Posada Simeón⁴

RESUMEN

En este trabajo se determina el patrón fluvial del Arroyo de la Ventana a través de las características hidrogeomorfológicas del tramo medio alto del curso fluvial. Se generó un Modelo Digital del Terreno (MDT) de la cuenca media-alta del curso en base a los datos de las curvas de nivel de la carta topográfica de Tornquist, a escala 1:50.000. La cartografía geomorfológica del curso fue realizada a partir de la información del vuelo fotogramétrico del año 1981 a escala 1:20.000. Asimismo se realizó un relevamiento *in situ* de tres secciones transversales del cauce. Se identificaron dos patrones fluviales diferenciados: tipo trenzado, en el tramo alto del curso y otro de tipo meandriforme en el tramo medio. La dinámica fluvial actual del curso muestra una tendencia general a la incisión en el tramo analizado.

PALABRAS CLAVE: *Braided*; meandriforme; dinámica fluvial; MDT.

¹ Profesora – Investigadora del Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, mbelen@us.es.

² Profesora Adjunta – Investigadora, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur-CONICET, geografavg@gmail.com.

³ Asistente de Docencia – Investigador, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur-CONICET, ecarbone@criba.edu.ar.

⁴ Profesor – Investigador, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, posada@us.es.

ABSTRACT

The fluvial pattern of the Ventana creek is determined, through hydrological and geomorphologic features in the middle upper segment of the watercourse. A Digital Terrain Model of the middle and upper basin of the course was generated based on the contours of the 1:50,000 Tornquist topographic map. The geomorphological mapping of the course was made from photogrammetric flight (1981) at 1:20,000. Three cross sections of the channel were surveyed. Two different river patterns were identified: a braided type, in the upper segment of the course, and another meandering type in the middle segment of the course. Current river dynamics shows a tendency of incision in the course.

KEY WORDS: Braided; meandering; fluvial dynamics; DTM.

INTRODUCCIÓN

En el estudio de los sistemas fluviales han sido numerosos los intentos clasificatorios de los ríos sobre criterios geomorfológicos. Son consideradas referentes las clasificaciones de Leopold and Wolman (1957) en la definición de cauces rectos, trenzados y meandriformes, y la tipificación de Schumm (1963, 1977) basada en la estabilidad del canal, la carga sedimentaria y las dimensiones del canal. A partir de entonces, han sido numerosas las aportaciones referentes, no sólo a la mera diferenciación de la morfología de los cauces, sino también a la importancia de sus procesos, sus características sedimentológicas, morfométricas, hidrológicas y las condiciones medioambientales que condicionan su evolución (Schumm, 1963; Miall, 1977; Rust, 1978; Brice, 1984; Morisawa, 1985; Rosgen, 1994).

Sin embargo, los ríos han sido clasificados tradicionalmente en función de caracteres específicamente hidrológicos y biológicos, quedando relegados a un segundo plano los cauces, tanto su génesis como su dinámica natural (Horacio y Ollero, 2011). Pese a ello, el conocimiento de la dinámica natural de los sistemas fluviales debe situarse a la cabeza de la ordenación y del tratamiento de la problemática ambiental. En Europa, el interés por clasificar y tipificar los ríos ha ido aumentando en los últimos años, vinculado a la elaboración de planes de ordenamiento, programas de conservación o normativas sobre cauces y riberas, para su gestión y/o actuación (Directiva Marco de Agua, 2000/60/CE); siendo la valoración hidrogemorfológica, en la actualidad, uno de los puntos claves para la determinación del estado natural de los sistemas fluviales y para la búsqueda de soluciones.

El gran número de variables que afectan a la dinámica fluvial, así como los numerosos procesos que actúan tanto sobre el cauce, como sobre las laderas

de la cuenca, confiere a los ríos la complejidad de un sistema estructurado. Para su estudio desempeña un papel fundamental la escala, no sólo temporal sino también espacial. Así se puso de manifiesto desde los primeros estudios integrados del medio fluvial (Schumm, 1977; Morisawa, 1973) donde ya se establecen diversas escalas temporales (*Cyclic time*, *Modern time* and *Steady time*) a la hora de abordar las causas principales en la evolución del sistema. De este modo, para un rango temporal corto (decenas de años), ha de tenerse en cuenta incluso la propia morfología del cauce por cuanto ésta se modifica como respuesta tanto a la descarga de agua y sedimento, como a las características del flujo que por él circulan. A nivel espacial igualmente es necesario no perder de vista la escala y posición dentro del sistema.

Los trabajos sobre tipificaciones fluviales son escasos, aunque se destacan los realizados para la cuenca del Ebro (Prat y Munné, 1999; Ollero *et al.*, 2003; Díaz y Ollero, 2005; Horacio y Ollero, 2011). Por su parte, los trabajos realizados sobre este tema en la zona de estudio se ciñen a los efectuados en la cuenca alta del río Sauce Grande (Gil y Campo de Ferreras, 2006). En este caso, la caracterización se efectúa desde una perspectiva morfológica, sobre la base metodológica propuesta por Thorne (1998) y supone la base para posteriores estudios geomorfológicos orientados a mejorar la gestión de los ríos de la cuenca alta del río Sauce Grande. En lo que respecta al río Sauce Chico, en cuya cuenca se inserta el Arroyo de la Ventana, se destacan los trabajos hidrogeomorfológicos (Torrero y Campo, 2008) e hidrográficos a nivel de cuenca (Torrero, 2009), en los que se pone de manifiesto la necesidad de abordar la problemática ambiental de los sistemas fluviales a escala de cuenca vertiente.

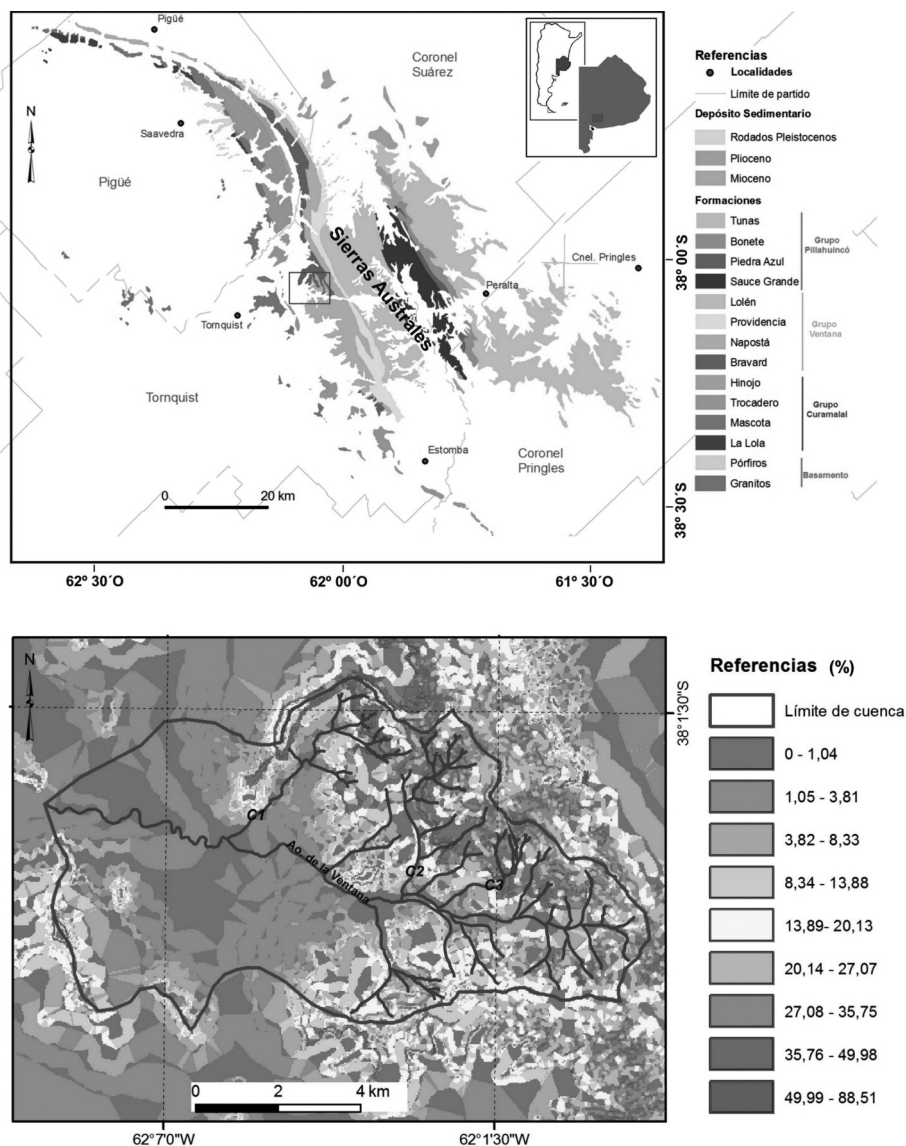
Por lo expuesto, el objetivo principal de este trabajo es contribuir a la tipificación de los principales ríos que discurren por la fachada occidental de las Sierras Australes, con la definición del patrón fluvial del Arroyo de la Ventana, afluente del río Sauce Chico. En este caso, los aspectos geomorfológicos controlados han sido: la pendiente del cauce principal y sus principales afluentes, la morfología del trazado y los procesos fluviales actuales predominantes.

ÁREA DE ESTUDIO

El arroyo de la Ventana pertenece a la cuenca alta del río Sauce Chico, una de las cuencas principales del suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Posee una cuenca de 50,75 km² y su red de drenaje se desarrolla sobre las laderas occidentales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. El cauce principal (arroyo de la Ventana) se dispone en sentido Este-Oeste y

FIGURA 1

LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL ARROYO DE LA VENTANA.
FORMACIONES GEOLÓGICAS (ARRIBA). MAPA DE PENDIENTES EN
PORCENTAJES (ABAJO)



Fuente: *Carta topográfica de Tornquist*, escala 1:50.000 (Instituto Geográfico Nacional, Argentina).

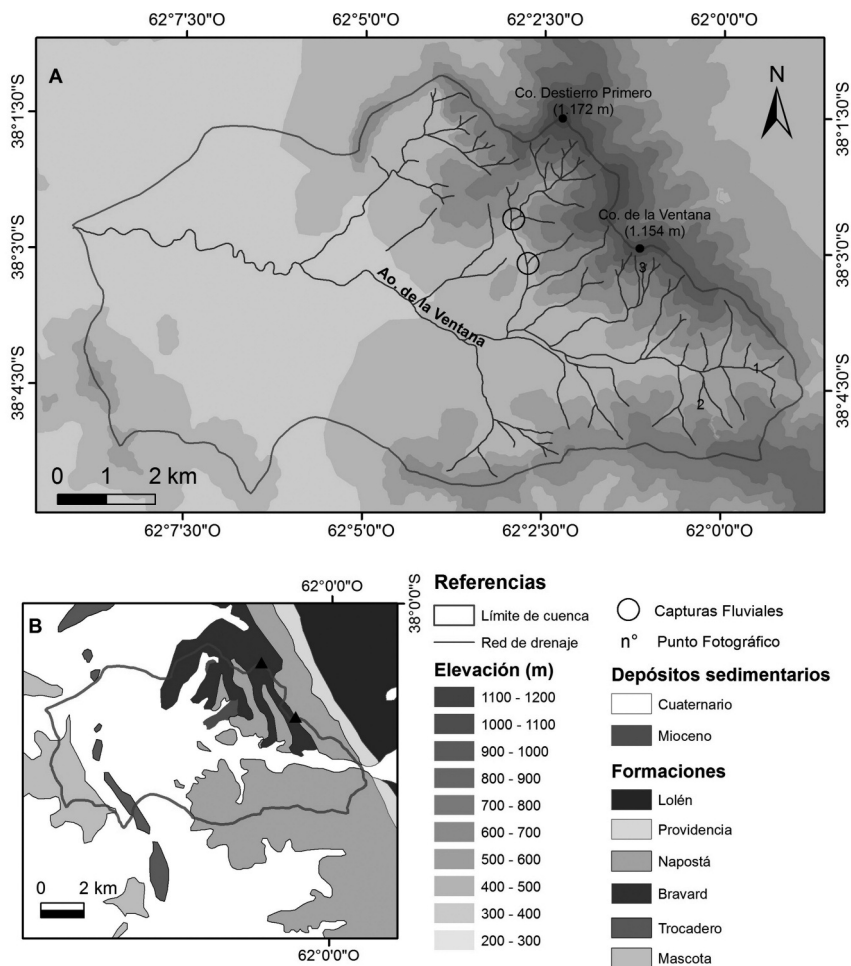
Estudios Geográficos, Vol. LXXVII, 281, pp. 521-541, julio-diciembre 2016

ISSN: 0014-1496, eISSN: 1988-8546, doi: 10.3989/estgeogr.201617

con una pendiente media de 3,6% se mantiene a una altura de 450 m aproximadamente (figura 1). Recibe afluentes por ambas márgenes, los de la derecha son más abundantes y nacen a alturas que varían entre los 1.000 y 800 m mientras que los que drenan el margen izquierdo lo hacen entre los 750 y 600 m (figura 2 a).

FIGURA 2

- A) CONFIGURACIÓN ALTITUDINAL Y RED DE DRENaje DE LA CUENCA.
B) FORMACIONES GEOLÓGICAS PRESENTES EN LA CUENCA



Fuente: vuelo fotogramétrico de la zona, del año 1981, a escala 1:20.000.

La cuenca se desarrolla sobre afloramientos que son evidencia de una importante cuenca sedimentaria del Paleozoico. Los mismos se disponen en bandas arqueadas donde la más antigua se encuentra al Oeste y la más moderna al Este. En el sector de las nacientes los arroyos discurren sobre la Fm. Bravard y la Fm. Napostá (Gil *et al.*, 2009). La primera posee de 200 a 250 m de espesor y está integrada por areniscas de grano grueso hasta conglomerático. Intercalados se encuentran lentes y bancos delgados de conglomerados de 2 a 3 m de espesor. La segunda formación sigue directamente a la de Bravard y está integrada por areniscas cuarcíticas muy homogéneas de grano fino a muy fino, compactas, macizas y densas (Harrington, 1947) (figura 2b).

El cauce principal discurre sobre depósitos cuaternarios que pertenecen a dos ambientes diferenciados. Los depósitos de origen pedemontano, coluvial y eólico se encuentran en ambientes interfluviales. Mientras que los ambientes fluviales están representados por depósitos aluviales y de movimiento en masa. Ambas secuencias están integradas por depósitos de carbonatos que en ocasiones separaran los estratos (Rabassa, 1989).

El contexto morfoestructural general del área según Días (1988) está integrado por amplios pliegues primarios replegados en otros de orden superior. El sector estudiado configura estructuralmente un amplio anticlinorio, con su eje dispuesto al este del Cerro Ventana, rumbo general N 30°O y flanco oriental más inclinado. El intenso diaclasamiento (sistemas transversales, longitudinales, de cizalla y de alivio de carga) es un rasgo muy importante de estas rocas. La fracturación presente es de tres tipos: la originada junto con el plegamiento, las pequeñas fallas subverticales de tipo gravitacional de pocos centímetros de rechazo y la transversal a los ejes de los pliegues. A este último tipo corresponde la falla Abra de la Ventana que se ubica paralela al escurrimiento del arroyo de la Ventana (figura 3).

En la actualidad, el clima característico de la región es de transición, entre clima semiárido y subhúmedo donde la variabilidad interanual de las lluvias es la característica principal del suroeste bonaerense, en el que se inserta la zona de estudio. Se registra una alternancia anual de años con valores sobre y por debajo del promedio (739,1 mm), con máximos de 1.100 mm y mínimos de 300 mm. Las precipitaciones presentan dos máximos durante el año, una en otoño y otra en primavera, generándose episodios de precipitaciones torrenciales (entre 100 y 300 mm/día), aunque de baja frecuencia; mientras que el verano es generalmente seco (Gil, 2009). La temperatura media anual es de 14,4 °C, con el valor mínimo en julio 8 °C. En los meses de verano, entre diciembre y marzo, los valores son superiores a 20 °C con un máximo en enero de 21,5 °C.

El área de estudio incluye el tramo de Captación (tramo alto) y el de Transferencia (tramo medio) definidos genéricamente por Schumm (1977) en función de los procesos morfogenéticos dominantes y los factores que controlan la dinámica fluvial. Cabe destacar que en la zona de captación o producción, son los procesos de ladera y progresión del *talweg* los que fundamentalmente controlan la morfogénesis, considerándose la vegetación natural, el clima y la antropización de los interfluvios o de los *talwegs*, los factores que controlan de una manera más directa la dinámica fluvial. Mientras tanto, en la zona de transferencia, son sin embargo, los procesos de acumulación/incisión los de mayor relevancia, estableciéndose una acomodación del cauce a las condiciones hidrogeomorfológicas derivadas de las zonas de producción y de las variaciones del nivel de base, en la zona de sedimentación. Junto a ello, los efectos introducidos por la confluencia de colectores (aporte de sólido y líquido) son decisivos en los momentos de máxima energía, esto es, durante las crecidas (García Martínez y Baena, 2008). Todo ello repercutirá en la formación de terrazas fluviales y llanuras de inundación.

METODOLOGÍA

Se generó un Modelo Digital del Terreno (MDT) de la cuenca media-alta del Arroyo de la Ventana en base a los datos de las curvas de nivel de la carta topográfica de Tornquist, a escala 1:50.000 (Instituto Geográfico Nacional, Argentina). Además se elaboró cartografía geomorfológica del fondo de valle del Arroyo de la Ventana a partir de la fotointerpretación del vuelo fotogramétrico de la zona, del año 1981, a escala 1:20.000. La identificación en ella de diversas morfologías aluviales, como son los cauces activos, paleocauces, cauces de crecida, llanura de inundación y niveles de terrazas, entre otras, ha permitido identificar el estilo del trazado que desarrolla el Arroyo de la Ventana a lo largo de su tramo medio-alto.

Se realizaron tres campañas a la cuenca media-alta del Arroyo de la Ventana, durante los años 2010 y 2011, en las que se procedió al levantamiento de tres secciones transversales al cauce principal. Una de ellas aguas abajo de la confluencia del colector 1 y el resto aguas arriba de dicho colector. En estos perfiles se identifican los elementos hidrogeomorfológicos: canal, cauce ordinario, barrancas, canales de crecida, depósitos, altura de la lámina de agua en *bankfull*, altura de la lámina de agua en crecida extraordinaria y vegetación natural o de introducción antrópica. Ello ha permitido complementar la información hidrogeomorfológica en la definición del trazado y su evolución

actual. Asimismo toda la información se integró en un SIG. El programa específico utilizado es *Arc GIS 9.1* con licencia *ArcView* y las extensiones *Analyst Tools*, *3D Analyst Tools* y *Spatial Analyst Tools*.

RESULTADOS

Rasgos morfométricos de la subcuenca del Arroyo de la Ventana

La subcuenca del Arroyo de la Ventana, con un área de 50,75 km², está drenada por una red fluvial bien estructurada aún cuando se detectan algunos afluentes arreicos, desconectados de la red principal (figura 2a). Se identifica algunos signos de capturas fluviales en el colector 2 que vendría a marcar la evolución de la red hacia su configuración actual. Este fenómeno, por el cual la parte superior de un curso de agua se convierte en afluente de otro, se debe con frecuencia a la erosión regresiva de la cabecera en éste último (Foucault y Raoult, 1985), generando un cambio de orientación de las vaguadas reconocible en el codo de aproximadamente 90° y que a nivel morfológico, se manifiesta en la presencia de paleovalles colgados respecto a la red fluvial actual.

Esta red es considerada subdendrítica de orden 4, con una relación de bifurcación (R_b) media de 4.2, una relación de longitud (R_l) 2.31 y una relación de elongación (R_e) de 0.7 (Gil *et al.*, 2009). En general, se trata de una cuenca bien jerarquizada, dado que a lo largo de su trazado presenta relaciones de bifurcación (R_{b1-2} : 3.27; R_{b2-3} : 4.40; R_{b3-4} : 5) homogéneas (Senciales González, 1999; Gil *et al.*, 2009). Por su parte, R_e inferiores a 1 implican formas alargadas de áreas de montaña y escarpadas (Jardí, 1985; Senciales González, 1999). En el caso del Arroyo de la Ventana la R_e de 0.7 está vinculado a la resistencia que presentan las areniscas cuarcíticas que componen la Fm. Napostá (Gil *et al.*, 2009).

El perfil longitudinal del cauce principal del arroyo Ventana, muy lejos de la curva exponencial cóncava que reflejaría un perfil de equilibrio (Chang, 1988), presenta una morfometría más de tipo lineal (figura 4), con una pendiente media general de 3.12%. Esta curva refleja un perfil joven, escasamente evolucionado y de fuerte pendiente en su parte inicial. Los afluentes de mayor relevancia morfosedimentaria confluyen por su margen derecha. Las pendientes medias son más elevadas, con valores de 12,2% para el colector 2, 18,3% para el colector 3 y 7,7% para el colector 1 (figura 1).

Los colectores 2 y 3 presentan perfiles longitudinales con cabeceras muy abruptas insertas en la serranía y tramos medios de morfología general convexa o convexa-cóncava-convexa, que reflejaría cierta dependencia litológica

FIGURA 3
MORFOESTRUCTURAS DE LA CUENCA DEL ARROYO DE LA VENTANA.

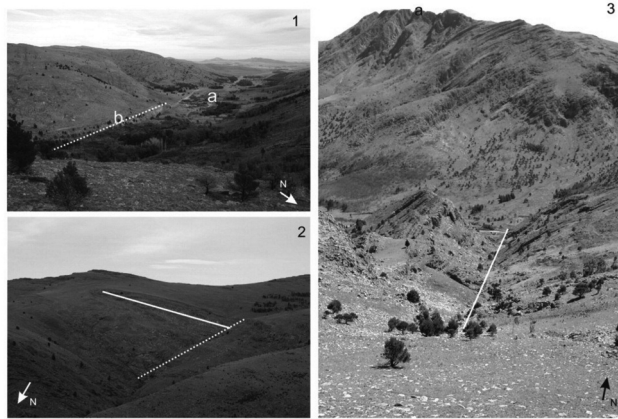
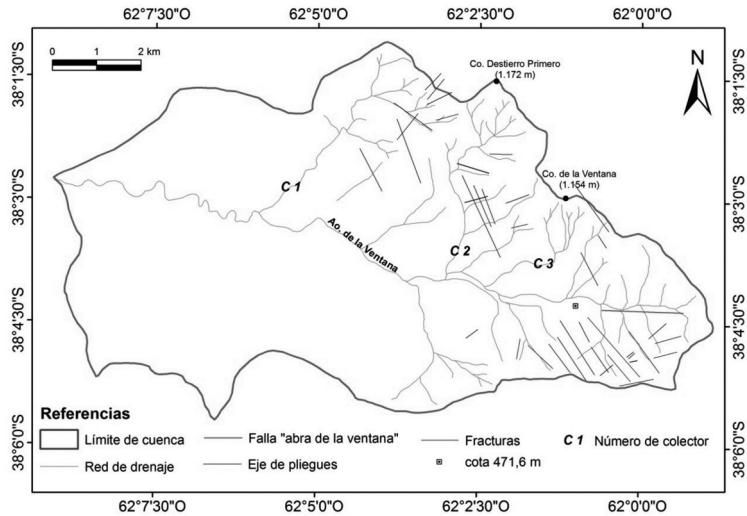


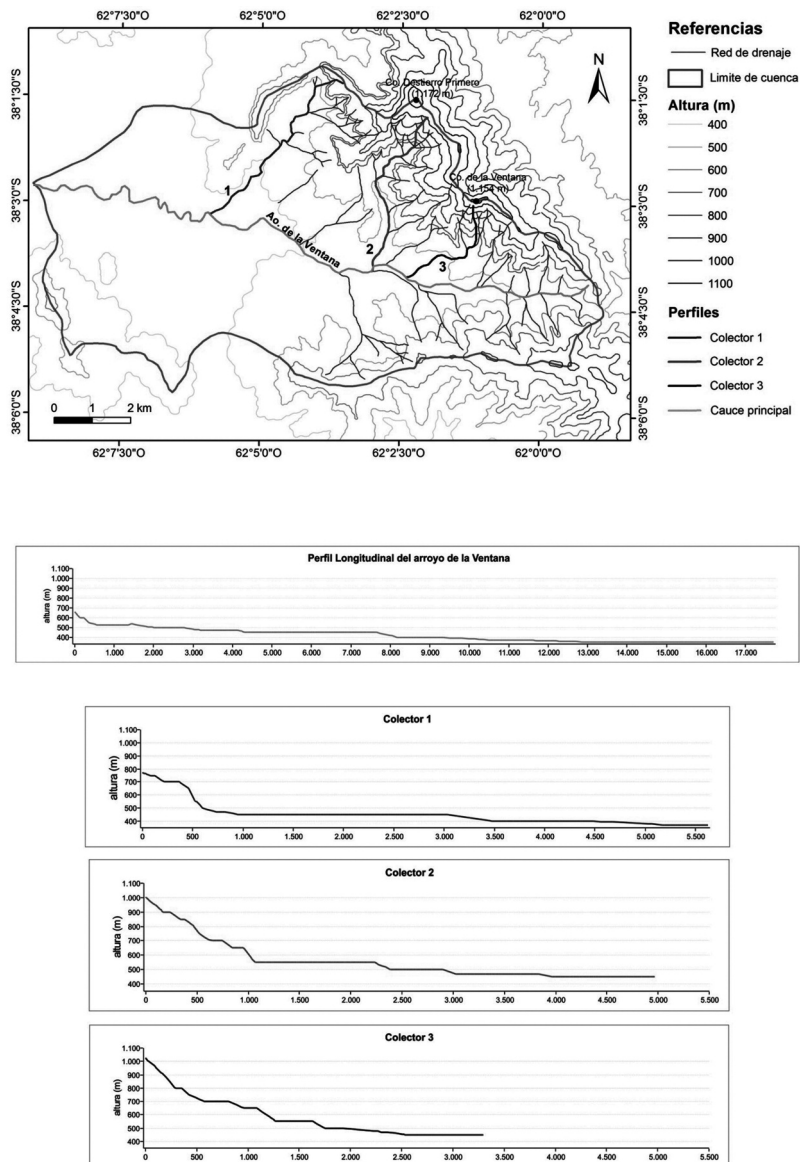
Foto1: a. Arroyo de la Ventana; b. Falla Abra de la Ventana

Foto2: línea punteada. Fracturas; línea continua. Ejes de pliegues

Foto3: a. Cerro de la Ventana; línea continua. Ejes de pliegues

Fuente: Carta topográfica de Tornquist, escala 1:50.000 (Instituto Geográfico Nacional, Argentina).

FIGURA 4
PERFIL LONGITUDINAL DEL ARROYO DE LA VENTANA Y SUS PRINCIPALES
AFLUENTES



Fuente: elaboración en base a datos de campaña en terreno.

al atravesar las areniscas cuarcíticas de la formación de Napostá, mientras que el colector 1 posee una diferencia altudinal menor, el sector correspondiente a las sierras se caracteriza por una morfología convexa mientras que el resto del perfil es casi recto. Los primeros colectores mencionados (2 y 3) evidencian pendientes más abruptas, asociadas a áreas de montaña, éstos presentan una gran capacidad sedimentaria que se observa en el desarrollo de morfologías en abanico que generan en el contacto con el fondo de valle. Por su parte, el colector 1, de menor pendiente longitudinal refleja ya otro tipo de dinámica más acorde con el área que drena. Se trata de un colector con cauces bien definidos en la llanura y caudal permanente gran parte del año. La carga que transporta es de tipo mixto y su menor pendiente longitudinal hace que divague débilmente por la llanura (figura 4).

Características geomorfológicas del trazado fluvial del Arroyo de la Ventana

La cartografía geomorfológica realizada a partir de las fotografías aéreas de la zona, refleja dos patrones fluviales diferenciados en el Arroyo de la Ventana (figuras 5 y 6).

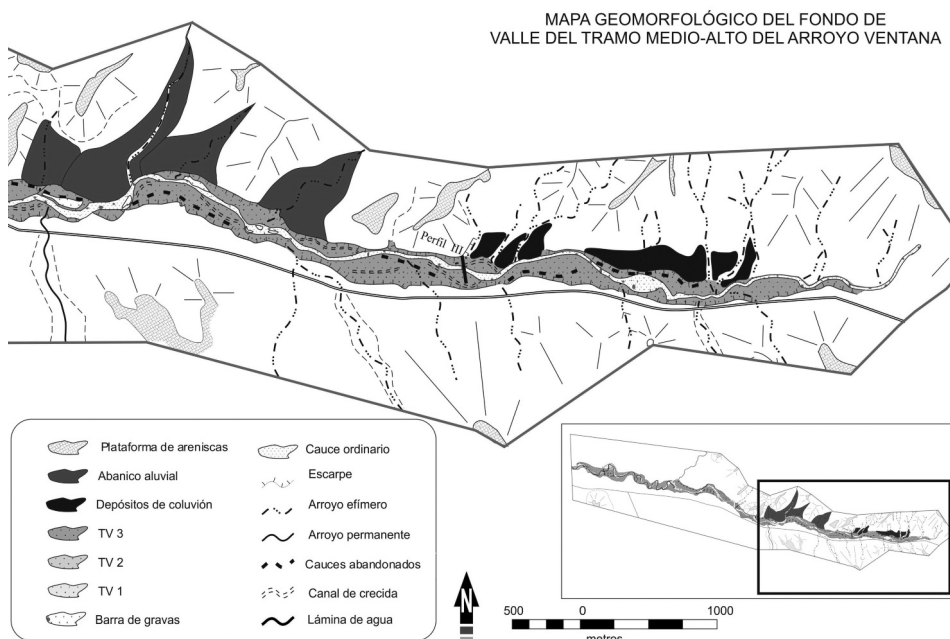
a) *Trenzado o Braided*

Desde su nacimiento hasta la confluencia del colector 1 (figuras 5 y 6), este arroyo se desarrolla en un contexto fisiográfico de valle de fondo plano, al que confluye, por la derecha, una serie de abanicos aluviales que irían colmatando progresivamente el valle. El desarrollo de estos abanicos en la ladera norte de la cuenca está vinculado al abandono del fuerte control serrano al entrar en conexión con el fondo de valle, acompañado de un cambio brusco de pendiente y la consiguiente pérdida de capacidad de transporte de los colectores a los que se asocian.

Morfológicamente estos abanicos presentan una configuración semicircular en planta, con dimensiones variables, que oscilan entre 400 y 480 m de eje menor. Los abanicos que se encuentran aguas arriba del colector 3 son de menor desarrollo y actualmente están incididos por arroyos efímeros (Mijares, 1999) escasamente jerarquizados y con predominio de bloques en el fondo de los mismos. Los asociados a los colectores 2 y 3 son de mayores dimensiones, están drenados por una red de drenaje bien encauzada, lineal, con canal único, con pendientes longitudinales entre 12% y 18% y bien jerarquizada,

FIGURA 5

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA DEL FONDO DE VALLE DEL ARROYO DE LA VENTANA EN EL SECTOR DE LA CABECERA



Fuente: vuelo fotogramétrico de la zona (1981) a escala 1:20.000.

aún cuando la red de su cuenca sea dispersa, efímera y con canales múltiples. Esta configuración morfohidrológica y la ausencia de vegetación hace pensar en abanicos funcionales, en períodos de precipitaciones torrenciales, y con una gran capacidad para movilizar gran cantidad de materiales.

En este sector, el fondo de valle tiene una anchura máxima de 300 m y mínima de 160 m y se encuentra recorrida por una corriente de múltiples canales, en el que destaca un cauce activo ancho, poco profundo y sin definición de taludes. Junto a este cauce activo se detecta numerosos canales y paleocauces parcialmente inactivos, intercalados por numerosas barras de gravas longitudinales y transversales, que recobrarán su funcionalidad en períodos húmedos. Este sistema de barras y canales, desprovisto de cualquier tipo de vegetación arbórea, se encuentra sensiblemente desplazado al norte, situándose en la base de la ladera.

Desde un punto de vista hidrológico, este sistema carece de un flujo permanente la mayor parte del año, recobrando tan sólo su funcionalidad morfohidrológica en momentos de máximos hidrológicos. Este hecho, junto con la ausencia total de vegetación de ribera refleja la gran capacidad energética de este sistema, vinculado a patrones climáticos de intensidad elevada y al funcionamiento de los abanicos aluviales con los que conecta que aportan gran cantidad de carga sedimentaria al cauce. Próximos a la confluencia del colector 1, este sistema habría evolucionado a un estilo más de tipo meandriforme. Esto se debe a la progresiva incisión de uno de los canales sobre el resto y por tanto, a la incorporación de material fino de desbordamiento a techo de la llanura, sepultando así progresivamente la antigua morfología trenzada.

b) Meandriforme

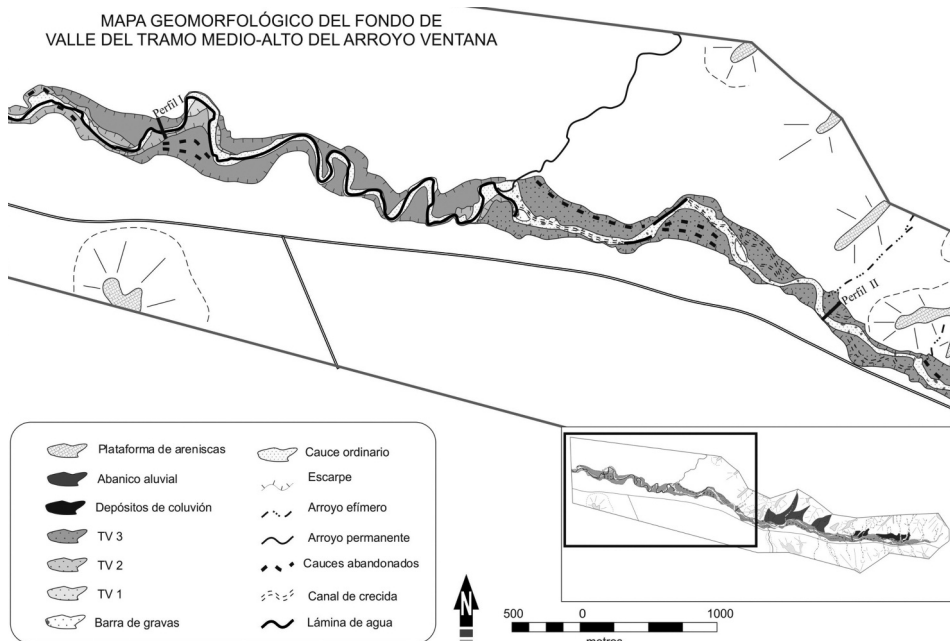
Aguas abajo de la confluencia del colector 1 y hasta su nivel de base (río Sauce Chico), el patrón fluvial que se detecta en el Arroyo de la Ventana es claramente de estilo meandriforme (figura 6). Con una escasa pendiente longitudinal ($< 1\%$) y un fondo de valle amplio, este tramo refleja una cierta independencia estructural de la sierra. En este contexto, la divagación lateral del Arroyo de la Ventana desarrolla una llanura aluvial máxima, de algo más de 2 km de anchura. Recorriendo esta llanura, se identifica un único cauce de flujo permanente, aunque en ocasiones sin continuidad espacial, más estrecho y perfectamente definido en ella por taludes de hasta 2 m de altura. En él se reconocen algunas barras longitudinales al cauce y semilunares o *point-bars* en las márgenes convexas de aquellos meandros de mayor desarrollo lateral. El material que transporta es de tipo mixto, gravas redondeadas y arena gruesa, como carga de fondo y limos en suspensión.

En la configuración de su banda activa, se detecta hasta dos niveles de terraza (TV1 y TV2) generalizados en todo el tramo, y hasta tres niveles, si lo vinculamos a desplazamientos laterales locales, en las márgenes convexas de los meandros de mayor desarrollo espacial. Acompañan a este cauce principal numerosos cauces abandonados situados en la terraza TV1 y que quedan parcialmente tapizados como consecuencia de su reactivación en épocas de crecida y la consiguiente entrada de material fino en la llanura. Asimismo, se evidencia una escasa vegetación de ribera, tan sólo apreciable en algunos enclaves muy puntuales del tramo.

Morfométricamente posee un trazado sinuoso (1.67), por encima de lo que Schumm (1977) definió para los cauces sinuosos o meandriformes. En este

FIGURA 6

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA DE LA LLANURA ALUVIAL DEL ARROYO DE LA VENTANA (SECTOR TRANSFERENCIA)



Fuente: elaboración propia en base al vuelo fotogramétrico de la zona (1981) a escala 1:20.000.

sector el arroyo genera curvaturas de diversos tamaños: por un lado, dibuja un tipo de meandros de longitudes de onda axial de entre 350-400 m y amplitudes de onda que oscilan entre los 180 y 320 m. Son por tanto, meandros de amplios radios de curvatura y escasa elongación. Junto a ellos, conviven otro tipo de meandros más elongados, con longitudes de onda axial que difícilmente superan los 140 m y que en algunos casos los arcos de meandros están próximos al estrangulamiento (*cut-neck*), distando entre ellos escasamente 6 m. Sus amplitudes de onda, de diferente rango, pueden oscilar desde 260 m hasta 420 m, mientras que sus radios de curvatura son de reducido tamaño. En estos casos, es común la deformación de estas curvaturas y con ello, el desarrollo *loops* secundarios.

Dinámica fluvial actual del Arroyo de la Ventana

Para el estudio de la dinámica fluvial actual del Arroyo de la Ventana se realizaron tres perfiles transversales (figura 7) *in situ*: uno en el tramo de estilo meandriforme y dos en el tramo *braided*; concretamente entre la confluencia de los colectores 1 y 2, el primero, y en la cabecera de la cuenca, el segundo y el tercero. En ellos se detallan los elementos hidrogeomorfológicos más relevantes de la dinámica fluvial: el cauce y sus márgenes, paleocauces, depósitos, vegetación natural o degradada, así como los niveles hidrológicos en la llanura (crecida ordinaria o *bankfull* y avenida u *overbank*).

a) Trazado meandriforme: Perfil I

El perfil I localizado en el tramo de cauce definido como meandriforme, aguas abajo de la confluencia del colector 1 (figura 7), en el tramo medio de la cuenca de estudio. En su llanura de inundación, de 71 m de ancho, se identifica un canal de fondo plano, de 18 m de ancho, flujo permanente de hasta 1 m de profundidad, taludes que alcanzan los 30 cm y ligeramente ondulado hacia la margen izquierda, en el que tiene lugar la zona de máximo ataque erosivo.

Este canal se inserta en un cauce ordinario de unos 30 m de ancho y definido por taludes, más abruptos en la margen izquierda (1.5 m); definiendo así el límite topográfico de crecida ordinaria o *bankfull*. Los depósitos encontrados, gravas y bloques en el canal, y limos y arcilla a techo de la llanura, se relacionan con episodios de crecidas extraordinarias, en los que aumenta la capacidad energética en el cauce ordinario, removilizando la carga grosera, e incorporando material fino a la llanura, una vez superado el estado de *bankfull*.

El escarpe del nivel de terraza TV2 lo constituye una barranca discontinua en ambas márgenes, y compuesta, de muro a techo por: conglomerados de clastos sub-redondeados de rocas cuarcíticas inmersos en una matriz limo arenosa, sobre los que se desarrolla un nivel compuesto por limos arenosos y arenas limosas masivas de espesor variable, en el que se observa guijarros dispersos, que culmina en un manto de carbonatos (compuesta principalmente por CO_3Ca). Esta unidad está cubierta por una capa de arena fina y limosa, bioturbada, de tono gris pardo, en la que se desarrolla el suelo actual (Rabassa, 1989; Quattrocchio *et al.*, 1994).

Estas barrancas se encuentran afectadas, en su parte media e inferior, por procesos erosivos basales de socavamiento que se profundizan con las crecidas extraordinarias que llegan a alcanzar una altura de la lámina de agua de 3.5 m

en la zona. Este proceso se acelera en aquellos sectores desprovistos de vegetación, mientras que, en aquellos donde encontramos vegetación arbórea y arbustiva, sus raíces se encuentran exhumadas. Asimismo, la localización en su margen izquierda de depósitos de grava, alejados del canal activo, infiere condiciones hidrodinámicas de canal de crecida, que recobrará su funcionalidad en crecidas ordinarias, al alcanzar el río su estado de bankfull; momento en el que el río alcanza un gran incremento energético con capacidad para removili-
zar la carga más grosera dentro de los límites de cauce ordinario.

b) Trazado braided: Perfiles II y III

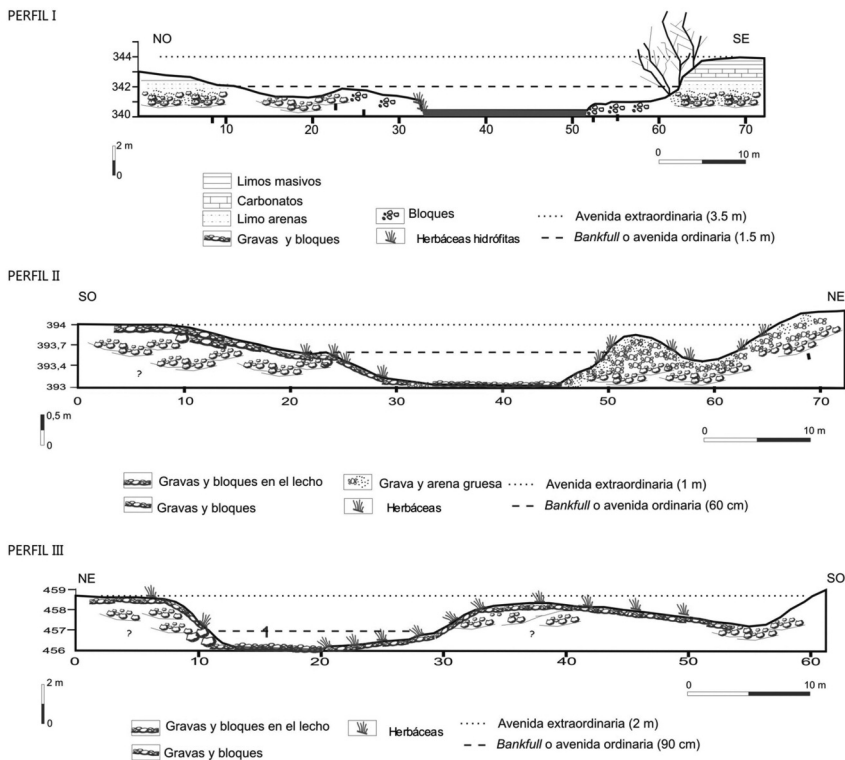
El segundo punto de control, el perfil II, se sitúa más próximo a la sierra, aguas arriba de la confluencia del colector 1, en el tramo alto de la cuenca del Arroyo de la Ventana (figura 7). Este es un ambiente morfodinámico diferente al anterior, donde predomina la carga de fondo. En la sección transversal levantada en este punto del arroyo, el cauce no presenta barrancas definidas en sus márgenes y su cauce, de más de 40 m de ancho, transporta abundante carga de fondo, dispuesta a modo de barras longitudinales e intercaladas por numerosos canales de crecida. En la figura 7 se puede observar el canal de crecida que queda fuera del nivel de bankfull, calculado en este sector en 60 cm de altura; lo que indica que este canal tan sólo recobrará su funcionalidad en momentos de crecida extraordinaria, cuando la lámina de agua supere el estado de bankfull. Es por ello, por lo que se aprecia a techo de estas barras marginales, depósitos más finos, fundamentalmente arenas.

Asimismo, se evidencia la funcionalidad de un canal de 13 m de anchura, ligeramente incidido respecto al resto y cuyo lecho está constituido por bloques y cantos rodados de dimensiones entre 70 y 100 cm de eje mayor, lo que vendría a indicar una mayor capacidad de carga y arrastre del Arroyo en este tramo. Durante máximos hidrológicos, este sistema de barras y canales recobrará su funcionalidad, transportando y distribuyendo la carga a lo largo del cauce activo, recobrando también su funcionalidad aquellos canales que quedaron sobreelevados y por lo que ya sólo circulará la carga más fina. La ausencia de vegetación arbórea y arbustiva en este sector, da buena muestra de la capacidad energética y modeladora de este sistema.

Por último, el perfil III, se localiza en el tramo más alto de la cuenca del Arroyo de la Ventana, próximo a su cabecera (figura 7). Del mismo se desprende un fondo de valle ondulado de más de 50 m de anchura con abundante carga grosera, bloques y clastos; con dimensiones del eje mayor entre 50

FIGURA 7

SECCIONES FLUVIALES DEL CAUCE ORDINARIO DEL ARROYO DE LA VENTANA



Fuente: elaboración en base a datos de los relevamientos *in situ*.

y 100 cm, y escasamente redondeados. Se identifica igualmente, un sistema trenzado, organizado en barras e intercalados por numerosos canales de crecida, limitado por los escarpes desarrollados en el sistema de abanicos aluviales que conecta con el valle por la margen derecha. Los barrancos que allí se labran presentan alturas inferiores a 2 m y están constituidos por bloques y gravas de cuarcitas subangulosas a angulosas, sin selección ni estratificación aparente y con una escasa consolidación. Este hecho hace que en crecidas, ordinarias y extraordinarias, el flujo de máxima energía ataque dicha margen e incorpore, de esta manera, nuevo material grueso al canal. Prácticamente todo el sistema, a excepción del canal activo en caudal ordinario, está vegetado con pastizal pampeano.

CONCLUSIONES

A partir de las variables geomorfológicas controladas en este estudio (pendiente, morfología del trazado y procesos fluviales) el Arroyo de la Ventana configura un patrón fluvial diferenciado de estilo trenzado o *braided*, en el tramo alto y de estilo meandriforme, en el tramo medio. El colector 1, de mayor recorrido y de menor pendiente longitudinal, al insertarse en su recorrido en los depósitos Cuaternarios del fondo de valle, contribuye a modificar las condiciones hidrosedimentarias del Arroyo de la Ventana, a juzgar por las facies limo-arcillosas detectadas en las barrancas. Todo ello determina que aguas abajo de la confluencia de este colector, el Arroyo de la Ventana presente una cierta tendencia general a la incisión que se traduce en un cauce más estrecho y perfectamente definido en la llanura mediante barrancas de más de 2m de altura. A nivel de trazado, el Arroyo se desplaza lateralmente generando meandros con cierta elongación y configurando, en el desarrollo de su banda activa, dos niveles de terrazas generalizadas en todo este tramo. La evolución lateral de algunos de estos meandros, hace posible que se puedan detectar un tercer nivel que estaría vinculado a estos desplazamientos muy locales.

Este trazado meandriforme contrasta sobremanera con el que el Arroyo genera aguas arriba de la confluencia del colector 1. En este caso, la entrada abundante de material grosero movilizizado por los abanicos aluviales vinculados a los colectores 2 y 3 y los procedentes de los ubicados en la ladera norte de la cuenca alta del Arroyo; junto a una mayor pendiente general del Arroyo en este tramo, predispone un sistema de tipo *braided*, organizado en barras y canales que movilizarán la carga en momentos de máximos hidrológicos. La abundante carga, el tamaño de la misma y la ausencia de vegetación, da buena muestra de la gran capacidad energética de este sistema en momentos de concentración del flujo, generando crecidas que alcanzan una altura de la lámina de agua superior a 2m, tal y como se desprende de los datos hidrológicos tomados en campo en diferentes transversales.

A nivel geomorfológico general, se constata en todo el tramo medio-alto, dos niveles de terrazas, el nivel TV1, de mayor extensión espacial, es el nivel que marcaría la configuración de la llanura de inundación actual aguas abajo de la confluencia del colector 1 y que enlazaría con el fondo de valle del Arroyo en su tramo alto. Por su parte, el nivel TV2, implicaría una fase de incisión posterior en este sector del valle, no reconocible en el tramo alto de la cuenca del Arroyo de la Ventana.

Por último, la evolución de estos dos patrones fluviales pasa por una cierta tendencia a la incisión generalizada en todo el tramo. En el sistema *braided* di-

cha evolución, pareciera traducirse en una dinámica funcional selectiva de un canal sobre el resto. Esto hace que progresivamente vaya entrando una mayor cantidad de finos a techo, tapizando parcialmente las barras activas laterales del fondo de valle y los canales secundarios, que se desconectan del canal funcional. Sin embargo, la ausencia de vegetación en las márgenes y el nivel de la lámina de agua que se alcanza en la zona, definiría un sistema que sigue siendo muy dinámico, con una gran capacidad de removilización de carga en el tramo.

En el sector *meandriforme* se observa, igualmente, la entrada de finos a techo de la llanura, colmatando parcialmente morfologías de margen convexa y de antiguos paleocauces. Este hecho determina una mejor definición del cauce en la llanura, un cauce más estrecho y profundo. Se aprecian cambios locales asociados a desplazamientos laterales del cauce, concretamente de arcos de meandro que evolucionan aguas abajo, siguiendo la dirección general del valle. Por último, se aprecia un incremento de la vegetación en la ribera, lo que sin duda ayuda a definir el cauce funcional, a reducir la movilidad lateral y otorga estabilidad a las márgenes.

BIBLIOGRAFIA

- Brice, J. C. (1984): "Planform properties of meandering rivers", in C. M. Elliot (ed.), *River Meandering: proceedings of the Conference Rivers'83*, New Orleans, American Society of Civil Engineers, pp. 1-15.
- Chang, H. H. (1988): *Fluvial Processes in River Engineering*, New York, Ed. J. Wiley & Sons.
- Días, G. F. (1988): "Características estructurales del Abra de la Ventana y adyacencias. Sierras Australes de Buenos Aires", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLIII/4, pp. 482-492.
- Díaz, E. y Ollero, A. (2005): "Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro", *Geographica*, 44, pp. 23-45.
- Foucoul, A. y Raoult, J. F. (1985): *Diccionario de Geología*, Barcelona, Ed. Masson, 316 pp.
- García Martínez, B. y Baena Escudero, R. (2008): "El doble meandro abandonado del Guadalquivir en Cantillana (Sevilla): cambios de trazado y evolución geomorfológica", *Geographica*, 53, pp. 101-119.
- Gil, V. (2009): *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*, tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina, 262 pp.
- Gil, V., Gentili, J. O. y Campo, A. M. (2009): "Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina", *Papeles de Geografía*, 29-50, pp. 55-68.

- Gil, V. y Campo de Ferreras, A. (2006): "Procesos de Vertientes en el área del Abra de la Ventana. Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires", *Actas de las VI Jornadas Nacionales de Geografía Física*, Río Gallegos, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, pp. 59-65.
- Harrington, H. (1947): *Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, Provincia de Buenos Aires*, Buenos Aires, Servicio Nacional Minero Geológico.
- Horacio, J. y Ollero, A. (2011): "Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistemas de información geográfica (S.I.G.)", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, pp. 373-396.
- Jardí, M. (1985): "Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen", *Revista de Geografía*, XIX, pp. 41-68.
- Leopold, L. B. y Wolman, M. G. (1957): *River channel pattern: braided, meandering and straight*. U. S. Geological Survey Professional Paper 282 B, Washington, Government Printing Office, pp. 39-85.
- Miall, A. D. (1977): "Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary", in A. D. Miall (ed.), *Fluvial Sedimentology*, Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, pp. 597-604.
- Mijares, A. F. J. (1999): *Fundamentos de hidrología se superficie*, México, Ed. Limusa.
- Morisawa, M. E. (1973): *Fluvial Geomorphology*, London, Ed. G. Allen & Unwin, 314 pp.
- Morisawa, M. E. (1985): *Rivers. Form and processes*, London, Ed. Longman, 222 pp.
- Ollero, A., Echevarría, M. T., Sánchez Fabre, M. A., Auria, V., Ballarín, D. y Mora, D. (2003): "Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación a la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE)", *Geographica*, 44, pp. 7-25.
- Prat, N. y Munné, A. (1999): *Regionalización de la cuenca del Ebro*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Quattrocchio, M. E., Kostadinoff, J., Martínez, G. A. y Prieto, A. R. (1994): "Evidencias de neotectónica en el río Sauce Chico, Provincia de Buenos Aires", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLIX/3-4, pp. 297-305.
- Rabassa, J. (1989): "Geología de los depósitos del Pleistoceno Superior y Holoceno en las cabeceras del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires", en *Actas 1º Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Tandil, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, pp. 765-790.
- Rosgen, D. L. A. (1994): "Classification of natural Rivers", *Catena*, 22, pp.169-199.
- Rust, B. R. (1978): "A classification of alluvial channel systems", in A. D. Miall, (ed.), *Fluvial Sedimentology*, 5, pp. 187-198.
- Schumm, S. A. (1963): *A tentative classification of alluvial river channels*, Virginia, U. S. Geological Survey, 477 pp.
- Schumm, S. A. (1977): *The fluvial system*, New York, Ed. Wiley, 338 pp.
- Senciales González, J. M. (1999): *Redes fluviales: Metodología de análisis*, Málaga, Universidad de Málaga, Servicio de publicaciones e intercambio científico, 340 pp.

- Thorne, C. R. (1998): *Stream Reconnaissance Handbook*, New York, John Wiley & Sons Ltd, 133 pp.
- Torrero, M. P. (2009): *Río Sauce Chico: Estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable*, Buenos Aires, Dpto. Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Inédito.
- Torrero, M. P. y Campo, A. (2008): "Hidromorfología de la cuenca del río Sauce Chico, Argentina", *Revista Geográfica del Valparaíso*, 41, pp. 1-13.

Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2014.

Fecha de aceptación: 5 de agosto de 2015.