

Geomorfología fluvial de la cuenca del arroyo El Negro, Buenos Aires, Argentina

Verónica Gil*

Resumen

La cuenca del arroyo El Negro se localiza en el oeste del partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires. Esta cuenca de 206 km² se caracteriza por presentar crecidas súbitas de baja frecuencia generadas por lluvias torrenciales. Estos episodios afectan a la población que se encuentra en la cuenca inferior en su confluencia con el río Sauce Grande. Por ello, el objetivo de este trabajo es estudiar la geomorfología fluvial en la cuenca del arroyo El Negro.

Se calcularon los índices morfométricos relevantes al estudio de crecidas. Se elaboró el mapa hidrogeomorfológico de la cuenca. Se analizaron registros de precipitación y caudales para diferentes períodos. Los índices morfométricos determinaron la dinámica torrencial de la cuenca. Del análisis hidrogeomorfológico se destaca el dominio de dos grandes unidades, que poseen características hidrológicas diferentes e inciden en la infiltración y escurrimiento de la cuenca. Por otra parte, el estudio de caudales y precipitaciones permitió establecer la dependencia de las dos variables. Así, la distribución de los caudales a lo largo del año es reflejo de las lluvias en la cuenca del arroyo El Negro.

Palabras claves: geomorfología fluvial, mapa hidrogeomorfológico, morfometría, Sistema de Ventania

* Docente - Investigador. CER/UNS – CONICET. 12 de octubre y San Juan 4to piso. verogil@uns.edu.ar

Fluvial geomorphology of the El Negro stream basin, Buenos Aires, Argentina

Abstract

The aim of this work is to analyze fluvial geomorphology in the El Negro stream. The basin, with 206 km², is located in the South of Buenos Aires Province, Argentina. It is characterized by low frequency flash floods generated by heavy rainfall. These flash floods affect the people who live in Sierra de la Ventana village. Knowledge of fluvial dynamics is necessary in order to improve planning policies.

Morphometric rates have been calculated and a hydrogeomorphological map of the basin has been developed. Rainfall and flow records have been analyzed in different periods. According to this, morphometric rates establish the flash flood dynamics of the basin. The hydrogeomorphological analysis highlights two major units with different hydrological characteristics. This affects infiltration and runoff processes in the basin. On the other hand, rainfall and flow analysis allowed to establish the interdependence of these two variables. Thus, flow distribution throughout the year reflects rainfall in the basin of El Negro stream.

Key Words: fluvial geomorphology, hydrogeomorphological map, morphometry, Ventania System

Introducción

La variabilidad climática en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires es acentuada debido a la natural sucesión de períodos muy húmedos y muy secos. En el primer caso se producen inundaciones por desbordes de ríos o por crecimiento del sistema lagunar y en los períodos secos la escasez de agua produce bajos o nulos rendimientos en las cosechas, dificultades de abastecimiento de agua potable y se incrementan los procesos de desertificación. Estas problemáticas recurrentes afectan el desarrollo económico en general ya que la población tiene poca capacidad de recuperación ante este tipo de eventos (Camarasa Belmonte, 1995). De esta manera el agua, en sus dos facetas, como recurso o como riesgo se vuelve el eje central a partir del cual giran muchos estudios y proyectos, tanto para su aprovechamiento como para su control.

La cuenca del arroyo El Negro presenta episodios extremos de crecidas (*flash flood*) que afectan a las poblaciones que viven en la margen de los arroyos y ríos (Gil, 2010). La planificación es incipiente y la gestión del riesgo muy localizada, lo cual agrava la vulnerabilidad de la sociedad involucrada. Asimismo, los estudios de base son escasos y los que existen se refieren a problemáticas puntuales y domina el enfoque geológico (Rabassa, 1982; Bidart, 1987; González Uriarte *et al.*, 1988; Bonorino, 1991; Von Gosen *et al.*, 1991; Albouy, 1994; Zabala y Quattrocchio, 2001; Demoulin *et al.*, 2005). Por ello, el objetivo de este trabajo es estudiar la geomorfología fluvial de la cuenca del arroyo El Negro.

La geomorfología fluvial (o hidrogeomorfología) tiene un papel relevante en la génesis y propagación de las crecidas y avenidas fluviales, así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes. Se ocupa de estudiar e interpretar las formas de la superficie terrestre de origen fluvial, dicho en otros términos, se interesa por el sistema morfogenético fluvial (Diez Herrero, 2001; Moya *et al.*, 1998; Marchetti, 2000). Este sistema comprende las formas y procesos del modelado que se determinan a partir de la acción del agua superficial principalmente la encauzada. Esta última constituye el principal agente del modelado. Los agentes del modelado, en general contribuyen a una progresiva erosión y aplanamiento del relieve preexistente. Las investigaciones que aborden temas fluviales deben hacerlo desde una perspectiva integrada, esto es, considerando sus elementos en el análisis y realizando síntesis con las relaciones. El abordaje desde la perspectiva de sistemas morfogenéticos pareciera ser el más indicado ya que no sólo toma en cuenta las variables naturales sino también las antropogénicas (Diez Herrero, 2001; Marchetti, 2000).

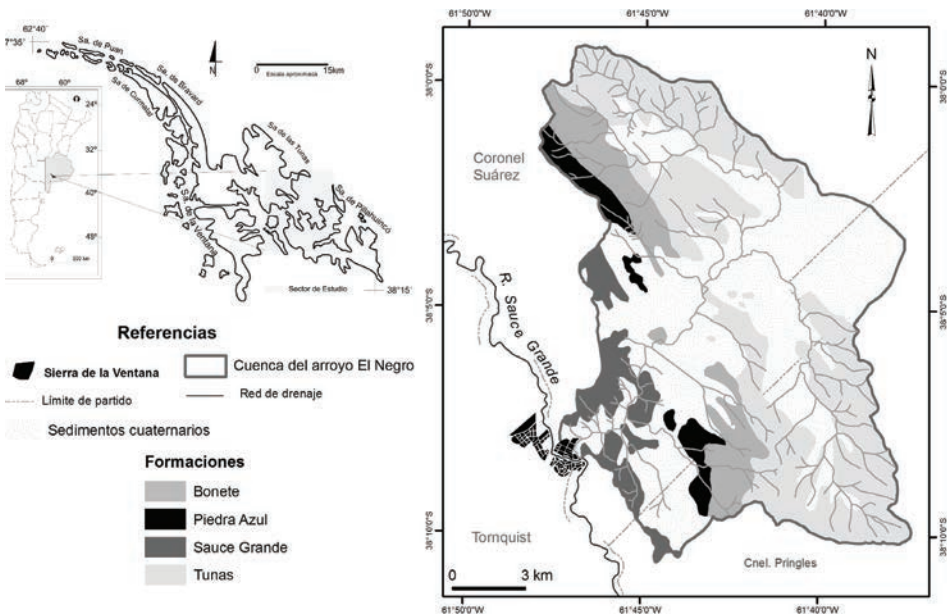
Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del arroyo El Negro tributaria del río Sauce Grande. Tiene una superficie de 207 km² y el curso principal presenta un desnivel de 322 m entre el punto más alto y su desembocadura en el río Sauce

Grande. Allí se encuentra la localidad de Sierra de la Ventana, uno de los principales centros turísticos del sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 1).

Esta subcuenca discurre sobre los faldeos occidentales del cordón Las Tunas y Pillahuincó pertenecientes al Sistema de Ventania. La columna estratigráfica de las rocas aflorantes en la cuenca pertenece al Grupo Pillahuincó ó III Ciclo sedimentario (Andreis *et al.*, 1989). El Grupo comprende la sucesión sedimentaria más joven del sistema (Carbónico superior-Pérmico) afectada por plegamiento. Su composición es variada según la formación que se considere (diamictitas, conglomerados, pelitas y areniscas). El Grupo se compone de la Formación Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y las Tunas y sobreyace al Grupo Ventana en relación pseudoconcordante (Andreis y Japas, 1996; Andreis *et al.*, 1996) (Fig. 1). Las estructuras que predominan son los pliegues (de varios órdenes), se encuentran fracturas de pequeño rechazo y roturas de charnela ligadas al plegamiento, ejes anticlinales y sinclinales, fracturas, red de diaclasas (Sellés Martínez, 2001).

Figura 1
Localización de la cuenca del arroyo el Negro. A. Formaciones geológicas que afloran en la cuenca de estudio



Fuente: elaboración propia.

Estas características litológicas y estructurales caracterizan las rocas metamórficas aflorantes en la cuenca. Las mismas actúan ante los agentes del modelado como rocas cristalinas y se encuentran en el sector de nacimiento de los cursos que componen la red de drenaje. El resto de la cuenca está caracterizada

por depósitos sedimentarios cuaternarios que generan diferentes unidades geomorfológicas. Las más extensas son las bajadas y las acumulaciones aluviales (Gil, 2010)

Materiales y métodos

Se utilizó cartografía topográfica oficial a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (actual Instituto Geográfico Nacional), fotos aéreas del año 1981 a escala 1:20.000 y se actualizó la información a partir de trabajo de campo. Para la caracterización de los caudales se cuenta con datos históricos (1938-1946) pertenecientes al Anuario Hidrológico, de la Dirección General de Agua y Energía Eléctrica (1946/47) y datos actuales (2004-2007) proporcionados por la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires. Se clasificó jerárquicamente la red de drenaje según el método de Strahler (1964). Se calcularon los índices morfométricos más acordes al estudio de la dinámica hídrica de la cuenca basándose principalmente en Senciales González (1999) y Marchetti (2000). La escala de trabajo fue 1:50.000 para el trazado de la red de drenaje y el cálculo de los índices. Se realizaron modificaciones en la cantidad y extensión de los cauces a partir de la integración de la cartografía con las fotografías aéreas y el trabajo de campo. Esta información se introdujo en un Sistema de Información Geográfica donde se integraron todas las variables analizadas. En el mismo, se realizó el cálculo de las pendientes con la extensiónn *Spatial Analyst del ArcGIS 9.1*. La función *Slope* (pendiente) examina el desnivel que existe entre cada celda y las ocho más próximas de un archivo raster, por lo tanto la pendiente se calcula como la máxima tasa de cambio de la elevación por unidad de distancia para cada una de las subcuencas (Fernández García, 2007).

Para la determinación de grupos hidrológicos de suelos se utilizó el mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:500.000) y la clasificación del Natural Resources Conservation Service (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Para la elaboración de la cartografía hidrogeomorfológica se utilizó la metodología propuesta por Peña Monné (1997) y las áreas de referencia fueron tomadas del mapa geomorfológico de la cuenca realizado por Gil (2010). Para medir la infiltración se utilizó el infiltrómetro de doble anillo, este instrumento mide la infiltración vertical en un tiempo determinado. El empleo de esta técnica permite inferir, además de la velocidad de infiltración promedio, la potencialidad de escurrimiento que posee la unidad de muestreo. Debido a las características del instrumental los afloramientos no fueron muestreados mediante esta técnica. Para determinar infiltración se procedió al cálculo de densidad de diaclasamiento en parcelas modelo.

Resultados

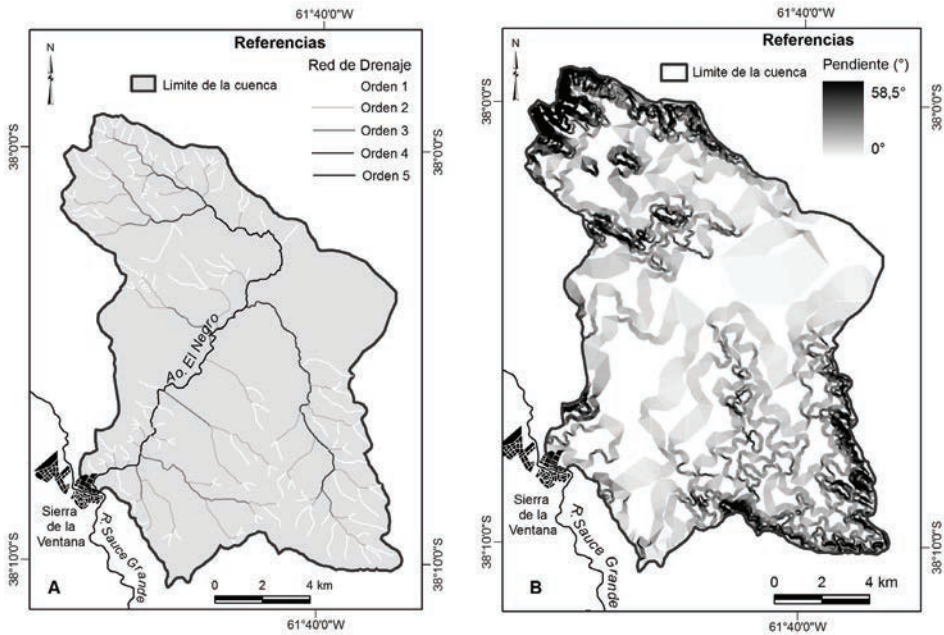
Morfometría fluvial

Según Camarasa Belmonte (1995) las cuencas fluviales están integradas por superficies complejas cuyas propiedades pueden ser descriptas numéricamente. Strahler (1974) se refiere a morfometría fluvial como la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial. La importancia de definir tales características es que proporcionan información aplicable al conocimiento de la dinámica fluvial, análisis de la génesis y evolución de una avenida y a la determinación de procesos erosivos. El estudio morfométrico permite relacionar las dimensiones de la cuenca con los procesos fluviales que en las mismas se producen y proporciona información tanto geológica como hidrológica de relevancia que puede ser aplicada posteriormente al estudio de la dinámica (Strahler, 1974; Baker *et al.*, 1988, Romero Díaz, 1989; Camarasa Belmonte, 1995; Senciales González, 1999; Diez Herrero, 2001).

Una vez trazada la red de drenaje y establecido el orden jerárquico para cada uno de los cauces de la cuenca del arroyo El Negro, se obtuvo un orden 5 de jerarquía máximo. Asimismo, a partir de la disposición de los cursos de agua se puede observar que la red en general presenta un trazado subdendrítico (Fig. 2a). Esta tipología se destaca por la presencia de sectores con trazados condicionados por la litología. La relación de bifurcación (R_b) es un índice básico en el análisis morfométrico. Este tiene relación con la forma y el comportamiento hidrológico de una cuenca, de tal manera que los valores bajos (< 4) suelen corresponder a cuencas redondeadas, de menor pendiente por lo cual, en teoría, podrían darse las más bruscas crecidas, tras un tiempo de concentración largo. Por el contrario, altas relaciones de bifurcación (> 7) indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes. En general, los valores cercanos a 2 revelan áreas de escaso relieve, valores entre 3 y 5 corresponden a áreas de montaña sin demasiado control estructural y valores superiores a 5 indican fuerte dependencia de la estructura (Romero Díaz, 1989; Senciales González, 1999). La cuenca del arroyo El Negro presenta una R_b media de 3,56 (Tabla I). Si se analizan las R_b entre órdenes sucesivos los valores se mantienen homogéneos y no se alejan mucho de la media. El caso del cambio entre el orden 2 y 3 (4,5) indica un cambio de litología (rocas metamórficas - sedimentos cuaternarios).

Figura 2

A. Red de drenaje y orden jerárquico para la cuenca del arroyo El Negro.
B. Pendiente (°) en la cuenca del arroyo El Negro



Fuente: Elaboración propia.

Tabla I

Orden Jerárquico y relación de bifurcación para la cuenca del arroyo El Negro

Datos	ORDEN					TOTAL
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{ro}	4 ^{to}	5 ^{to}	
N_u	154	45	10	3	1	213
Razon de bifurcación R_{bi}	3,42	4,50	3,33	3,00	--	3,56

Fuente: elaboración propia

El área de la cuenca es el parámetro de medición directa más destacado en el estudio de las cuencas, ya que cuantifica su tamaño y se utiliza en la elaboración de varios índices. Siguiendo el criterio de investigadores como Chow *et al.* (1994) se pueden definir como cuencas pequeñas aquellas con áreas menores a 250 km² y cuencas grandes las que poseen áreas mayores a los 2.500 km². La cuenca de estudio presenta una superficie de 207 km² considerada dentro de las cuencas pequeñas. El área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas

pequeñas que en cuencas grandes. De todas maneras el aporte de caudal al curso principal generalmente es mayor al aumentar la superficie drenada ya que puede coleccionar mayor cantidad de agua precipitada.

La relación de elongación (R_e) se relaciona con la forma de la cuenca. Fue elaborado por Schumm (1956) y consiste en la razón entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal que la drena (Sala y Gay, 1981). Esta es la fórmula de uso más extendido debido a su mejor correlación con la hidrología de la cuenca. En el caso de la cuenca del arroyo El Negro la R_e es de 0,6. Los valores de R_e inferiores a 1, implican formas alargadas, o sea, cuando más alejado de 1 sea el valor mayor será la elongación. Las cuencas elongadas presentan un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas (Jardí, 1985; Senciales González, 1999).

Por otra parte, el relieve en la cuenca de recepción (altitud, pendiente y orientación) condiciona la génesis y tipología de las crecidas. La pendiente media de una cuenca es un factor importante para el análisis del efecto que tiene sobre el agua que cae, su velocidad y la erosión que esta produce. La cuenca de estudio posee un desnivel máximo de 322 m entre el punto más alto (572 m) y el punto más bajo (250 m). La pendiente media es de $3,9^\circ$ presentando un valor máximo de $58,46^\circ$, un valor mínimo de 0° y un desvío de $5,5^\circ$ del valor medio (Fig. 2b). Los valores mayores corresponden a sectores serranos ubicados en las cabeceras de las mismas donde se realiza un cambio brusco de pendiente cuando se pasa al sector de piedemonte. Debido a la configuración morfológica de la cuenca es necesario complementar el valor medio de pendiente con datos extremos ya que el tiempo de concentración de las aguas precipitadas tenderá a tener dos velocidades dependiendo del área en que discurra lo cual determinará velocidades diferentes en la concentración en el curso principal.

En la tabla II se muestran los resultados obtenidos para las variables vinculadas a la intensidad fluvial. El índice de frecuencia (If) relaciona el número de cauces de primer orden con el área de la cuenca, se considera de utilidad para áreas de alta bifurcación donde el número de los cauces es muy elevado. De esta manera, señala la intensidad de los procesos iniciales de arroyada concentrada (Senciales González, 1999). Si bien se puede determinar mediante este índice cuáles son las cuencas que presentan mayores procesos de arroyada concentrada en sus cabeceras, se debe realizar su análisis conjuntamente con la densidad de drenaje (Dd). El valor medio de densidad de drenaje obtenido para la cuenca es de $1,14 \text{ km/km}^2$. Este valor es considerado como baja densidad de drenaje y textura gruesa por Gregory y Walling (1973), Morisawa (1985), Senciales González (1999) y Marchetti (2000). Los valores bajos están asociados a zonas de gran masividad litológica, así como a materiales muy permeables y con alta infiltración. Sin embargo, cuando se calcula este mismo índice teniendo en cuenta las diferencias litológicas existentes en la cuenca se obtienen valores de $0,46 \text{ km/}$

km² en áreas de cubierta sedimentaria cuaternaria y 1,56 km/km² en áreas donde los cursos discurren sobre afloramientos pertenecientes al Grupo Pillahuinco. Estos valores corroboran los resultados obtenidos por Rabassa (1982). El mismo establece valores de densidad de drenaje medios para cada litología. Asimismo correlaciona la influencia del porcentaje de roca base aflorante y Cenozoico con la densidad de drenaje. Las pequeñas variaciones en este parámetro, se deben a la mayor o menor presencia de determinadas formaciones litológicas, porosidad secundaria de las mismas y la pendiente.

Tabla II
Variables de intensidad fluvial para la cuenca del arroyo El Negro

Cuenca del arroyo El Negro	Variables de Intensidad Fluvial			
	Coefficiente de almacenamiento	Densidad de drenaje	Coefficiente de torrencialidad	Índice de frecuencia
	0,7	1,14	0,86	0,75

Fuente: elaboración propia

El coeficiente de almacenamiento (Ca) permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la cuenca durante las crecidas de caudal por lluvias. Cuando los valores tienden a la unidad, el agua precipitada tiende a ser almacenada en forma subterránea, por lo tanto habrá menor riesgo de erosión hídrica y menor disponibilidad de agua para la escorrentía superficial. En cambio, si los valores se alejan de la unidad aumenta el riesgo de erosión y la escorrentía superficial. Esto implica que ante crecidas importantes de caudal generadas por eventos de lluvias torrenciales la cuenca alcance con mayor rapidez el “caudal pico” en su desembocadura (Gil, 2010). Para la cuenca analizada este coeficiente es de 0,7. Por su parte, el coeficiente de torrencialidad (Ct = 0,86) que multiplica la Dd y el If permite obtener una aproximación al estudio de máximas crecidas ya que está relacionado con la capacidad de descarga de una cuenca. Existe una clara correlación entre la densidad de drenaje y este coeficiente, por lo cual se puede afirmar que a mayor Dd, mayor será la torrencialidad de la cuenca (Senciales González, 1999). Asimismo, a mayor cantidad de cursos de primer orden y menor superficie de la cuenca mayor será este valor.

Precipitación y caudales

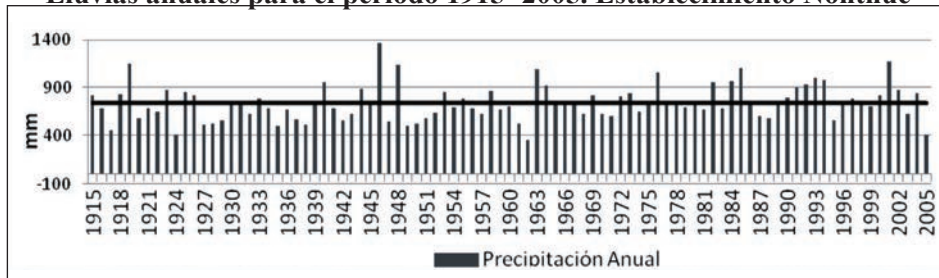
La variabilidad interanual de las lluvias es la característica principal del Suroeste de Buenos Aires y la cuenca del arroyo El Negro no escapa a esta generalización. Asimismo, varían espacialmente y la presencia del cordón serrano genera un aumento de las precipitaciones en los faldeos más expuestos a los vientos. Este aumento es del orden de los 110 mm en casos extremos (Zapperi *et al.*, 2007). Para caracterizar las precipitaciones que tienen influencia en la distribución de los

caudales en la cuenca del arroyo El Negro se utilizaron los datos registrados en el establecimiento Nonthue principalmente. La media para los 91 años considerados fue de 739,1 mm. Cabe destacar para esta serie de datos que la amplitud entre los máximos y mínimos anuales es de 1.009,5 mm. En la figura 3 se observa la alternancia anual de años con valores sobre y por debajo de la media.

Las precipitaciones medias mensuales para el establecimiento Nonthue presentan un régimen regular, cuyos mayores registros se producen entre octubre y abril, con un máximo de 99,9 mm en marzo y otro de 78,1 mm en octubre y coincidiendo con las estaciones de otoño y primavera. Los meses de invierno son los más secos, con el mínimo en agosto (32,2 mm). La distribución mensual es muy similar a otros registros cercanos al área de estudio aunque el período considerado por esta estación sea menor. Para poder remarcar la irregularidad de las precipitaciones mensuales a lo largo del año Gil (2010; 2011) consideró junto con las medias mensuales los valores máximos y mínimos para cada uno de los meses en el período 1915 - 2005 (Tabla III). Las precipitaciones máximas presentan dos máximos destacados, octubre y marzo.

Figura 3

Lluvias anuales para el período 1915 -2005. Establecimiento Nonthue



Fuente: elaboración propia

Tabla III

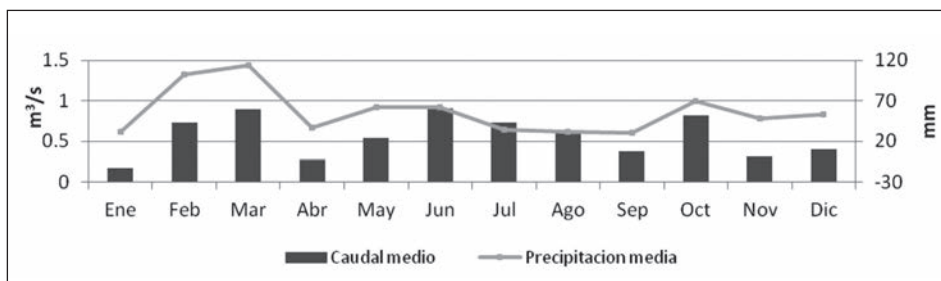
Valores medios, máximos y mínimos de precipitación mensual. Período 1915-2005. Establecimiento Nonthue

1915-2005	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	63,4	85,1	99,9	68,3	47,5	35,3	35,5	32,2	58,0	78,0	74,0	77,7
Máximo	211,2	259	294	286	213,5	145,5	158	128	259	364,5	240	276,7
Mínimo	3	0	5,5	1	0	0	0	1	3	2,5	5,5	6

Fuente: elaboración propia

La superficie aforada de la cuenca del arroyo El Negro es de 170 km². Del análisis de los datos históricos la cuenca presentó para el período 1938 – 1943 un módulo de 0,55 m³/s, un máximo valor medio de 3,25 m³/s y un mínimo valor medio de 0,05 m³/s. Los valores medios máximos se dan en junio (0,91 m³/s), marzo (0,9 m³/s) y octubre (0,82 m³/s). El año hidrológico comienza en enero y presenta tres fases hidrológicas coincidiendo con la distribución de la precipitación para ese período (Fig. 4).

Figura 4
Caudales medios mensuales del arroyo El Negro para el período 1938-1943

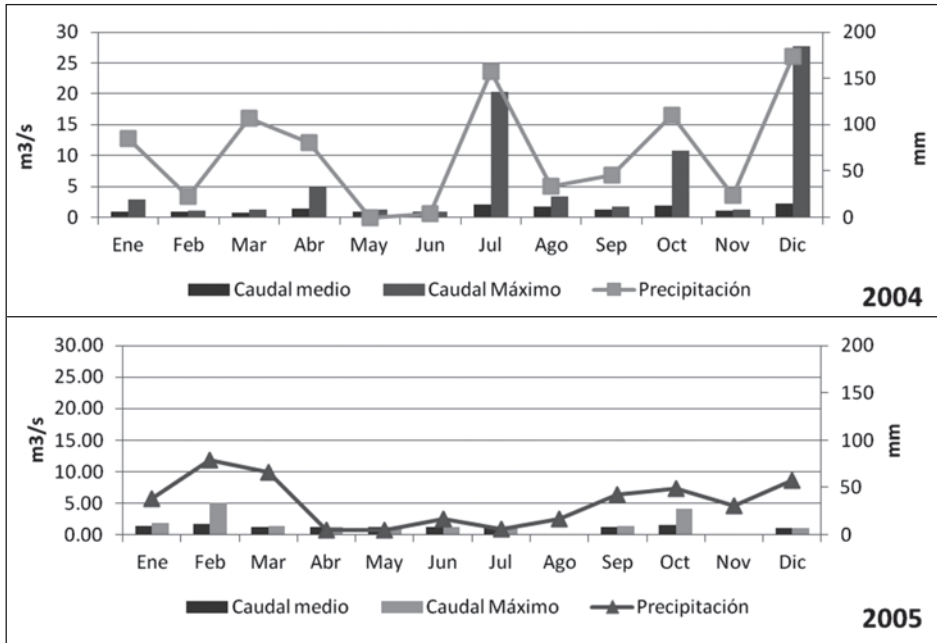


Fuente: elaboración propia

Datos más actuales proporcionados por la Autoridad del Agua permite comprobar que las condiciones medias establecidas en el párrafo anterior se conservan a lo largo de los años (Fig. 5). Asimismo, estos registros presentan un intervalo de medición de 1 hora con lo cual se puede comparar con los registros pluviométricos y establecer la correspondencia entre máximos valores medios y máximos de caudal y los medios de precipitación. De los cuatro años (2004 – 2007) analizados se presentan el 2004 y el 2005 donde se evidencia el ajuste de los caudales tanto mensuales como los máximos absolutos en relación con las precipitaciones mensuales (Fig. 5). En las mismas se puede observar la diferencia de los valores de precipitación de un año a otro y asimismo en el aumento de los caudales dependiendo de la cantidad de agua precipitada.

De este breve análisis se desprende que los caudales, tanto medios como máximos, dependen de la distribución de las precipitaciones. Es de esperarse en la cuenca una respuesta inmediata en la variación de los caudales ante eventos de precipitación. Asimismo, la media es un valor que permite caracterizar la marcha anual pero no representa los efectos puntuales de las precipitaciones extremas en los caudales. Estos valores máximos representan el carácter torrencial de la cuenca que queda enmascarado cuando se analizan los valores medios

Figura 5

Precipitaciones, caudales medios y máximos del arroyo El Negro (Año 2004 - 2005)

Fuente: elaboración propia

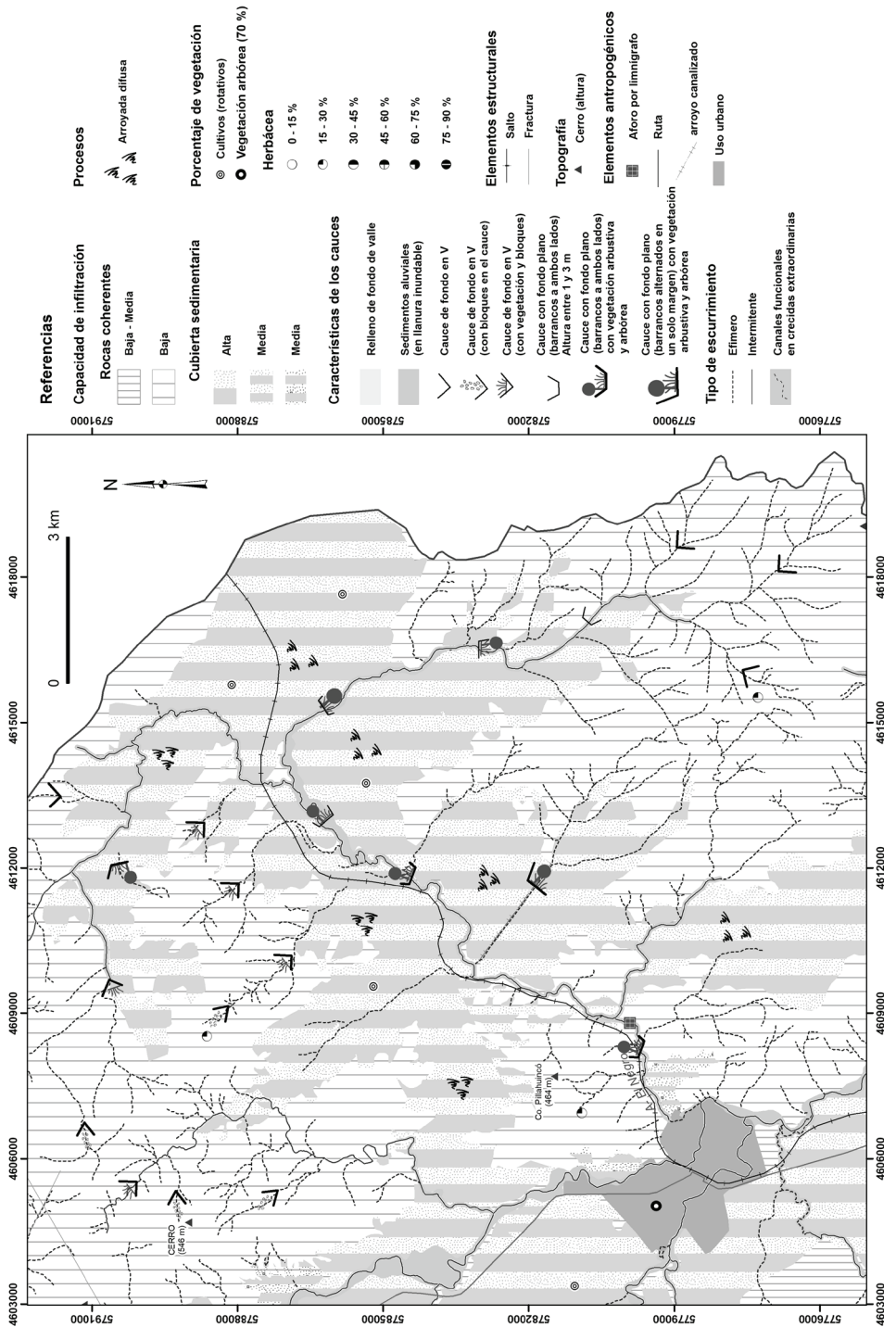
Hidrogeomorfología

La carta hidrogeomorfológica (Tricart, 1965; Capitanelli, 1998 y Mikkan, 2007) tiene como objetivo la representación de las condiciones ofrecidas al escurrimiento del agua en un espacio determinado. Se torna de esta manera en una herramienta indispensable para la interpretación visual y espacial del comportamiento hidrológico del espacio estudiado.

“Las características hidrológicas de los terrenos están determinadas por la capacidad de infiltración y retención de las formaciones superficiales. Ambas aparecen en relación directa con la litología, granulometría, espesor de la cubierta sedimentaria y vegetal y la pendiente.” (Capitanelli, 1998: 76). En el caso de análisis se hace referencia sólo a la infiltración, la cual incide, junto con otros factores, en el potencial de escurrimiento de los terrenos. Si bien existen ensayos de infiltración para la cuenca del río Sauce Grande (Luque, 2007) en el caso de estudio se realizaron muestreos de infiltración para cada una de las formas de relieve. Estos muestreos junto con la clasificación de los suelos según los grupos hidrológicos permiten realizar una mejor caracterización hidrológica de las áreas.

En la cuenca analizada se identificaron dos áreas diferentes (Fig. 6), una de rocas coherentes que coincide con los sectores serranos (afloramientos

Figura 6
Mapa hidrogeomorfológico de la cuenca del arroyo El Negro



Fuente: elaboración propia

pertencientes al Grupo Pillahuinco) y la otra que corresponde a sectores de piedemonte donde se observan diferentes espesores de la cubierta sedimentaria. En el área de rocas coherentes los suelos son muy someros y no supera los 27 cm y su textura es franco-arcillosa. Poseen en general una infiltración baja y esto está directamente relacionado con el diaclasamiento de la roca expuesta. Se determinaron valores promedio de diaclasamiento entre los 3,5 m/m² y los 8,2 m/m². Estos valores comparativamente son altos respecto de otros sectores analizados por Campo de Ferreras (1999) y similares a los analizados por Rossello y Massabie (1981) para las formaciones Lolén (Grupo Ventana) y Sauce Grande (Grupo Pillahuinco).

La cubierta sedimentaria comprende el sector de piedemonte y se la diferenció teniendo en cuenta su espesor. En estas áreas se desarrollan mayormente los suelos Hapludoles y Argiudoles típicos. Se distinguen áreas con más de 3 m de cubierta sedimentaria (coincidentes con las acumulaciones aluviales), áreas entre 1 y 3 m de espesor (coincidentes con acumulaciones aluviales, bajadas y conos aluviales) y áreas con menos de 1 m de espesor (coincidentes con el área de pedimentos). Se obtuvieron datos de infiltración del orden de los 0,25 cm/min a los 0,4 cm/min en zonas asignadas con baja infiltración y entre los 1 cm/min y los 1,6 cm/min en áreas asignadas con media capacidad de infiltración. Debido al método empleado las áreas cultivadas no fueron muestreadas por lo cual la capacidad de infiltración fue realizada sobre la base de la textura de los suelos y grupos hidrológicos. Por ello, la cubierta sedimentaria con espesor mayor de 3 m queda caracterizada con una infiltración alta. Una particularidad de las áreas de acumulaciones aluviales es que según el grupo hidrológico al que pertenecen si bien la capacidad de infiltración es alta una vez saturados drenan con facilidad el agua según su pendiente (Gil, 2010).

Se diferenciaron 3 tipos de cauces, los cauces de fondo en v, los cauces de fondo plano con barrancos a ambos lados y cauces de fondo plano con barrancos alternados en las márgenes. Los cauces de fondo v se encuentran principalmente donde afloran las rocas del sistema serrano con elevada pendiente y corresponden a los cursos de jerarquía 1 y 2. Los mismos en algunos casos llegan a formar cañadones profundos y poseen una llanura inundable pequeña y a veces inexistente. Al llegar al piedemonte inciden el material sedimentario y excavan su cauce formando barrancos entre 0,5 y 2 m. Su fondo es plano y poseen barrancos alternados entre las márgenes (alcanzan en ocasiones los 5 m de alto). Esta profundización es relativamente reciente y deja descubierto depósitos conglomerádicos y arenosos finos que conforman las barrancas de los cursos y se le asigna edad Pleistoceno medio – Holoceno (Zabala y Quattroquio, 2001). La mayoría de los arroyos con fondo plano poseen dentro de sus cauces vegetación tanto arbustiva como arbórea. Los mismos discurren en forma sinuosa dentro de la misma llanura inundable.

Existen dos tipos de escurrimiento en esta cuenca: el efímero y el intermitente. Este está directamente relacionado con la cantidad de precipitaciones y con la

posición de las napas freáticas en las distintas épocas del año (Aparicio Mijares, 1999). La mayoría de los cursos de agua son efímeros, esto es que dependen de las precipitaciones. Mientras que los cursos principales que son intermitentes llevan agua durante todo el año, salvo en años donde se producen grandes sequías. En esos casos los mismos llegan a estar secos durante el tiempo que tarda la napa en saturarse nuevamente.

Aquí cabe destacar el comportamiento del agua en los interfluvios hasta llegar a encauzarse y formar un escurrimiento. Se distinguen zonas con escurrimiento difuso o laminar. Este escurrimiento, que se da como una fina lámina de agua que se desplaza por la superficie es fundamentalmente erosivo y arrastra el material fino en su paso. En los sectores donde el escurrimiento es por arroyamiento difuso, se utiliza la técnica de cultivos en terrazas, es decir, respetando las curvas de nivel, la cual es aconsejada para campos con pendiente, debido a la necesidad de retener agua para que no se produzca el lavado del suelo. Cuando esta técnica no es empleada o se realizan prácticas de pastoreo se producen sectores con formación de regueros y cárcavas.

Se estimó el grado de cobertura vegetal sobre la base de fotografías aéreas y trabajo de campo y se dividió la misma en porcentajes de cobertura. Se distinguieron, separados de esta clasificación, los sectores donde la vegetación arbórea introducida cubre un 70 % o más. Este es el caso de las áreas urbanizadas y la zona de cultivos ya que dependiendo del ciclo de cultivo están o no con cierto grado de cobertura. En general en las nacientes de los cursos coincidiendo con los sectores serranos se conserva la flora nativa, representada fundamentalmente por especies herbáceas. La unidad donde las comunidades vegetales se empobrecen coincide con la de mayor pendiente siendo nulo el desarrollo de la misma en la divisoria de aguas y zonas rocosas. A medida que se desciende en altura y sobre sectores con sedimentos modernos se aprecia una mayor cobertura.

Consideraciones finales

Todas las variables analizadas (geomorfológicas, hidrográficas, climáticas, morfométricas, suelo y vegetación) conforman el comportamiento hídrico dinámico de la cuenca y repercuten en la ocurrencia y magnitud de los eventos de avenidas, así como en las características de torrencialidad ante sucesos hidrometeorológicos extremos.

Los índices morfométricos (densidad de drenaje, coeficiente de torrencialidad, índice de frecuencia, relación de elongación) determinaron el carácter torrencial de la cuenca. Sin embargo, esta dinámica está matizada por el tamaño de la cuenca y los valores de pendiente. Del análisis hidrogeomorfológico se destaca el dominio de dos grandes unidades, los afloramientos rocosos y la cubierta sedimentaria, que poseen características hidrológicas diferentes e inciden en la infiltración y escurrimiento de

la cuenca. Asimismo, la carta hidrogeomorfológica como documento cartográfico es una herramienta de análisis para el peligro de crecidas. Por otra parte, el estudio de caudales y precipitaciones permitió establecer la dependencia de las dos variables. Así, la distribución de los caudales a lo largo del año es reflejo de las lluvias en la cuenca del arroyo El Negro. También, se determinó la variabilidad marcada de las precipitaciones presentando mínimos anuales de 354,5 mm y máximos anuales de 1.364 mm. Esto marca una amplitud de 1.009,5 mm. Asimismo se comprobó una marcada variabilidad mensual si bien la marcha anual de precipitaciones presenta dos máximos en otoño y primavera.

Bibliografía

ALBOUY, E. R., Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. Tesis (Doctorado en Geografía). Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología. 1994. 155 pp.

ANDREIS, R.; IÑIGUEZ, A.; LLUCH, J. y RODRÍGUEZ, S. Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires En: G. Chebli y Spalletti (Eds.). Cuencas Sedimentarias Argentinas. San Miguel de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, 1989. pp. 265-298.

ANDREIS, R. R. y JAPAS, M.S. Cuencas Sauce Grande y Colorado. En: Archangelsky (ed.) El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias, 1996. pp. 45-64.

ANDREIS, R. R., JAPAS, M. S. y RODRÍGUEZ, S. Excursión geológica n° 1: Sierras australes de Buenos Aires (Ventania). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de hidrocarburos. Buenos Aires. 1996. 32 pp

APARICIO MIJARES, F.J. Fundamentos de hidrología se superficie. Mexico, Ed. Limusa, 1999. 303 pp.

BAKER, V.R., CRAIG KOCHER, R. y PATTON, P.C. Flood Geomorphology. USA, Wiley-Interscience publication, 1988. 503 pp.

BIDART, S.M., Geomorphological map of the río Sauce Grande Basin, Buenos Aires province, Argentina. Bahía Blanca, Argentina, Universidad Nacional del Sur. 1987. 14 pp.

BONORINO, G.A., 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. *RAGA XLVI* (1- 2). pp. 93-102.

CAMARASA BELMONTE A.M. Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranca de Carraixet y Rambla del Poyo. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. España, Confederación Hidrográfica de Júcar. 1995. 252 pp.

- CAMARASABELMONTE, A.M. Crecidas e inundaciones. En: Ayala-Carcedo F. J y Olcina Cantos, J. (Coord). *Riesgos Naturales*. España, Ariel, 2002, pp. 859 – 877.
- CAMPO DE FERRERAS, A. Hidrografía del río Quequén Grande. Tesis (Doctorado en Geografía). Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo 1999. 141 pp.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. y MAYS.L.W. Hidrología Aplicada. Bogotá, McGrawHill, 1994. 584 pp.
- CAPITANELLI, R. G., Geografía Física y Medio Ambiente: revalorización y enseñanza. Método y técnicas de trabajo. Mendoza, Ecogeo, 1998. 153 pp.
- DEMOULIN, A., ZARATE, M. y RABASSA, J., Long-term landscape development: a perspectiva from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 19. 2005. pp 193-204
- DÍEZ HERRERO, A., Geomorfología e Hidrología fluvial del río Albeche. Modelos SIG para la gestión de riberas. Memoria de tesis doctoral. Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 2001. 610 pp. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/tesis/geo/ucm-t25361.pdf>
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. Creación de nuevos mapas a partir de MDE. Aplicación de las funciones de análisis de superficies. En: Moreno Jiménez, A. *Sistemas y análisis de información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGis*. España, RA-MA, 2007. 908 pp.
- GIL, V. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de Crecidas. Tesis (Doctorado en Geografía). Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 2010. 269 p.
- GIL, V. Variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones. Cuenca Alta del río Sauce Grande, Sistema de Ventania. En: GAEA. *Actas Científicas CNG 72° Semana de Geografía*. Mar del Plata, GAEA, 2011. pp 127-139.
- GONZÁLEZ URIARTE, M.; CARBALLO, O.; ALDACOUR, H.; CALMELS, A. Geomorfología de la sierra de Bravard y su piedemonte (Provincia de Buenos Aires). *Segundas Jornadas geológicas bonaerenses. Actas*. Bahía Blanca. 1988. pp 173–185
- GREGORY, K.J. y WALLING, D.E. Drainage basin. Form and process: a geomorphological approach. Londres, Edward Arnold, 1973. 458 pp
- JARDÍ, M. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*. Volumen XIX. Barcelona, Universidad de Barcelona, 1985. pp. 41-68.
- LUQUE, J.A. La hidrología de las cuencas de los ríos Napostá y Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. Serie Hidrología y Riego. Bahía Blanca, EdiUns, 2007. 38 pp.
- MARCHETTI, M. Geomorfología Fluviale. Bologna, Pitagora Ed., 2000. 247 pp.

- MIKKAN, R.A., Geomorfología volcánica de la Reserva La Payunia, Malargüe, Mendoza. Argentina. Mendoza, Ed. de la Facultad de Filosofía y letras. 2007. 79 pp.
- MORISAWA, M.E. Rivers, form and processes. London, Longman, 1985. 222 pp.
- MOYA, M. E., GARZÓN, G. y ORTEGA, J. A., Depósitos de la avenida del arroyo Rivillas, Badajoz, noviembre de 1997. En: Gómez Ortiz, A. y Salvador Franch, F. (Eds.), *Investigaciones Recientes de la Geomorfología Española*. Barcelona. 1998. pp 229-136.
- PEÑA MONNE, J. L. Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Logroño, Geoforma Ed., 1997. 226 pp.
- RABASSA, J. Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. *RAGA XXXVII* (3). 1982. pp. 268-284
- ROMERO DIAZ, M.A. Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (cabecera del Guadalquivir). Estudio Hidrogeomorfológico. España, EXCMO, Ayuntamiento de Huéscar (Granada) y Universidad de Murcia. 1989. 285 pp.
- ROSELLO, E.A. y MASSABIE, A.C. Micro y mesoestructuras en las formaciones Lolén y Sauce Grande y sus implicancias tectónicas. Sierras Australes de Buenos Aires. *RAGA XXXVI* (3). 1981. pp. 272-285
- SALA, M. y GAY, R. Algunos datos morfométricas de la cuenca del Isábena. *Notes de Geografía Física*. N° 4. Barcelona, Department de geografia, Universitat de Barcelona. 1981. pp. 41 – 65.
- SCHUMM, S. A., Airphotos and water resources. 1964. En: Verstappen, H. Th. *Applied Geomorphology*. Tolouse, UNESCO. 1983. pp. 70-80.
- SCHUMM, S. A. The evolution of drainage system and slopes in badlands at Pearth Amboy, New Jersey. 1956. En: Senciales González, J. M. *Redes Fluviales, Metodología de Análisis*. España, Universidad de Málaga. 1999. 337 pp.
- SELLES MARTINEZ, J. y CARLETTO, C. Causas y periodicidad de las inundaciones en la Cuenca de las encadenadas del Oeste (Provincia de Buenos Aires.). *RAGA XLV*, (1 – 2). 1990. pp. 1-8
- SELLES MARTINEZ, J., Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Journal of Iberan Geology*, N° 27. 2001. pp. 43-69
- SENCIALES GONZÁLEZ, J. M. Redes Fluviales, Metodología de Análisis. España. Universidad de Málaga, 1999. 337 pp.
- STRAHLER, A. N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: Chow, V.T. Handbook of applied hidrology, New York: McGraw Hill. 39 – 73 pp
- STRAHLER, A. N. Geografía Física. Barcelona, Omega S.A, 1974. 767 pp.
- TRICART, J., 1965. La cartografía hidrogeomorfológica detallada y su interés para el estudio de los regímenes fluviales. Traducción del francés por Capitanelli.

Laboratorio de Geografía Física y de Cartografía, Centro de Geografía Aplicada. Universidad de Estrasburgo. 30 pp.

VON GOSEN, W., BUGGISCH, W. y KRUMM, S. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires province, Argentina). *Tectonophysics*, 185..1991. pp 335-356.

ZAPPERI, P., CASADO, A., GIL, V. y CAMPO, A. Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste Bonaerense. En: *Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, 2007. pp 63-68

ZABALA, C. y QUATTROCCHIO, M., Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. *RAGA*, 56 (1), 2001. pp. 25-37

Fecha de recepción: 13 de diciembre de 2011

Fecha de aceptación: 13 de marzo de 2012