



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE, BUENOS AIRES, ARGENTINA

**Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river,
Buenos Aires, Argentina**

Fernanda J Gaspari ^a *, Alfonso M Rodríguez Vagaría ^a, Gabriela E. Senisterra ^a,
Gerardo Denegri ^a, M. Isabel Delgado ^{a,b}, Sebastián Besteiro ^b.

^a Cátedra. Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,
Universidad Nacional de la Plata, Diagonal 113 N° 469, La Plata, Buenos Aires. Tel: 0054-221-
423-6616

^b CONICET

*Autor para correspondencia: fgaspari@agro.unlp.edu.ar.

PALABRAS CLAVES: Morfometría, Cuenca Hidrográfica, Sistema de información Geográfica

KEYWORDS: Morphometric, Watershed, Geographic information system

TÍTULO ABREVIADO: Morfometría de una cuenca serrana

ABSTRACT

The upper watershed of the Sauce Grande River supplies water to the hydraulic complex of the dike named Las Piedras, being a precious environmental service for the city of Bahia Blanca. A System of Payment for Environmental Services, as a basic strategy for territorial management and local development must be based on the water supply generated by the watershed. Analysis of morphometric and functional characteristics of a watershed, using parameters of shape, relief, and drainage, is basic for a hydrologic modelization, in order to establish the movement and capture of rainwater. The aim of this work was to make a morphometric characterization of the Upper Watershed of the Sauce Grande River. The methodology was based on the establishment and analysis of morphometric parameters, using a Geographic Information System and spreadsheets, obtained from a digital terrain model and satellite images. The area of the watershed was of 1502.6 km², the axial longitude of 41.6 km, with a mean width of 36.1 km. The shape factor of 0.87 indicates an elongated shape, and the Gravellius coefficient of 2.8 indicates an oblong rectangular shape. The river length is 58336 m, with a mean slope of 0.0048 m.m⁻¹. The drainage density is 0.2 km.km⁻², with a sinuosity coefficient of 1.42. The concentration time is 11.8 hs. The adimensional hypsometric curve corresponds to a watershed with a high level of development. All the parameters ease water flow quantification in the watershed.

RESUMEN

La Cuenca Alta del Río Sauce Grande abastece el complejo hidráulico Embalse - Dique Las Piedras, comportándose como servicio ambiental primordial para el consumo hídrico de Bahía Blanca. La formulación de un Sistema de Pago por Servicios Ambientales, como estrategia básica de ordenamiento territorial y desarrollo local debe centrarse en la oferta de agua generada por la cuenca. El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia. El objetivo fue caracterizar morfométricamente la cuenca Alta del Río Sauce Grande. La metodología aplicada se basó en establecer y analizar los parámetros morfométricos mediante el uso de Sistemas

de Información Geográfica y planillas de cálculo, a partir de un modelo digital del terreno e imágenes satelitales. Los resultados alcanzados definieron que la cuenca posee un área de 1502.6 km². La longitud axial es de 41.6 km con un ancho promedio de 36.1 km. El Factor de forma (0.87) indica que posee forma alargada, siendo rectangular oblonga según el coeficiente de compacidad de Gravelius (2.8). La longitud del cauce principal es 58336 m con pendiente media de 0.0048 m.m⁻¹. La densidad de drenaje es 0.27 km.km⁻² y su coeficiente de sinuosidad 1.42. El tiempo de concentración es 11.8 hs. La curva hipsométrica adimensional corresponde a una cuenca con un avanzado grado de desarrollo. Todos estos parámetros facilitan la cuantificación del caudal líquido en la cuenca.

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento. Esta transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Gaspari *et al.*, 2009).

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento es fácilmente intuible cualitativamente, estribando la dificultad en expresar estas influencias mediante parámetros sencillos. Sin embargo, es posible definir cierto número de índices, susceptibles de servir, al menos de referencia, en la

clasificación de cuencas y de facilitar los estudios de semejanza (López Cadenas de Llano, 1998).

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales.

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

En la actualidad, herramientas metodológicas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la interpretación de imágenes satelitales, permiten realizar la caracterización espacio temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari *et al*, 2009).

Este análisis es un primer paso para la formulación de un Sistema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), como estrategia básica de ordenamiento territorial y desarrollo local, debido a que el PSA debe centrarse en la oferta de agua generada por la cuenca, dependiente de las características morfométricas intrínsecas de la misma.

El objetivo del trabajo fue caracterizar morfométricamente la cuenca Alta del Río Sauce Grande.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial compuesta de una gran diversidad de componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí.

Los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica serrana, desempeñan un papel fundamental en el estudio y comportamiento en los componentes del ciclo hidrológico, asimismo, algunos parámetros son requeridos como datos de entrada en la mayoría de los modelos hidrológicos para el análisis de las características morfológicas y funcionales, para un potencial ordenamiento territorial.

El marco espacial del presente estudio fue la Cuenca alta del Río Sauce Grande, situada en el sudoeste bonaerense, Argentina (Figura 1). La misma abastece el complejo hidráulico Embalse - Dique Las Piedras, comportándose como servicio ambiental primordial para el consumo hídrico de Bahía Blanca.

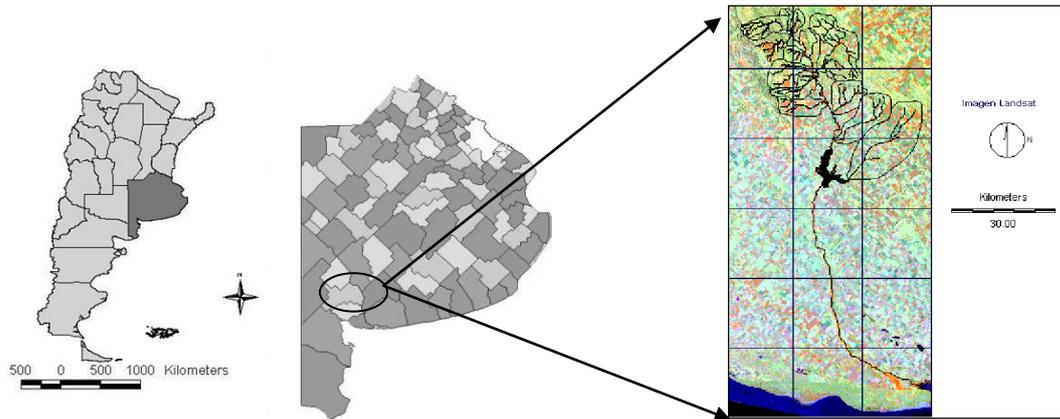


Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca Alta del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Figure 1. Location map of the Upper Watershed of the Sauce Grande River, Buenos Aires Province, Argentina.

La Cuenca Alta del Río Sauce Grande (CARSG) se encuentra ubicada en el sistema serrano de Ventania (Provincia de Buenos Aires). Presenta dos unidades geomorfológicas importantes. La primera corresponde al cordón de Ventania y Pillahuinco con pendientes pronunciadas en la zona de divisoria de aguas. En esa zona se observan cárcavas de carácter torrencial que dan lugar a la formación de la mayoría de los afluentes, algunos permanentes y otros temporarios, que discurren en pequeños y profundos cañadones sobre las pendientes más pronunciadas. La segunda unidad geomorfológica corresponde a la llanura aluvial del río, compuesta principalmente por material sedimentario moderno con un espesor variable y pendientes más moderadas, es de destacar la presencia de barrancas cuyas paredes verticales y alturas variables (entre 3 y 8 m) encajonan y controlan el cauce del río (Luque *et al.*, 1979).

Las unidades cartográficas de suelos de la cuenca están clasificadas en los dominios edáficos 1, 2 y 3, según la Carta de Suelo de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires descrita por el Atlas de Suelos del INTA (INTA, 1989). Las mismas están directamente relacionadas con el uso del suelo superficial. Están desarrolladas sobre material loésico que ha cubierto totalmente el faldeo de las sierras. Algunos suelos han evolucionado sobre sedimentos arenosos, apoyado sobre tosca. Las pendientes y senos entre lomas están ocupadas por Argiudoles típicos inclinados, en las partes distales del pedemonte, con predominio de pastizales naturales. Donde el relieve se atenúa, se hallan Argiudoles típicos de familia fina, someros con uso del suelo ganadero-agrícola. En la parte superior de las lomas, donde la tosca está más cercana a la superficie, se desarrollan Hapludoles petrocálcicos, con ganadería extensiva. En las vías de escurrimiento que nacen en los faldeos y luego ingresan en otras unidades geomorfológicas se hallan Haplustoles típico, éntico y lítico, donde la actividad principal se expresa con una combinación de agricultura y ganadería (Gaspari, 2002).

El análisis de las características morfológicas y funcionales de la cuenca Alta del Río Sauce Grande, se basó en establecer y analizar los parámetros morfométricos de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) Idrisi Andes ® (Eastman, 2006) y planillas de cálculo. Además se enriqueció el trabajo con un análisis general topográfico de la dinámica fluvial que es el proceso por el que la acción de los ríos modifica de alguna manera el relieve terrestre y el propio trazado de los ríos. Es un concepto fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas continentales.

El material de base utilizado fue cartografía topográfica, cartas imágenes del Instituto Geográfico Militar (1996), imágenes satelitales y el modelo digital de elevación del

Misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) en formato ascii, disponible bajo entorno Google Earth ©, el cual representa el modelo digital de elevación de más alta resolución de la superficie terrestre disponible en la web. Este mapa fue convertido y recortado al área de estudio.

La red de drenaje fue creada por digitalización en pantalla a partir de una composición de las bandas 1, 2 y 3 obtenidas por el satélite Landsat 5, 226/086 y 087 con fecha 26 de marzo de 2003, con apoyo de imágenes actuales disponibles en Google Earth ©.

Considerando que, desde el punto de vista hidrológico se define cuenca hidrográfica como el territorio que ocupa el río principal y sus afluentes, cuyos límites son definidos por la topografía del terreno a partir de las divisorias de aguas, esta delimitación se realizó por divisoria de aguas sobre cartografía topográfica. Posteriormente se corroboró con un procesamiento automático con SIG sobre el modelo de elevación digital SRTM.

El cauce o lecho de un río es el canal natural por el que circulan las aguas generadas dentro de la cuenca hidrográfica. En un análisis integrador de la superficie de la CARSG con su cauce (laderas), intervienen dos conceptos: perfil transversal de la cuenca, que representa el perfil que indicaría el fondo del cauce y la divisoria topográfica hacia ambos lados, indicando una depresión cóncava con la parte más profunda donde circula la corriente del río; y perfil longitudinal, que indica el thalweg desde la divisoria de agua hasta su desembocadura, en el dique Paso de Las Piedras. El perfil longitudinal describe la forma en el que éste varía su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que refleja la pendiente de cada tramo, determinada por las condiciones impuestas por el tramo aguas arriba. La representación gráfica expresa la capacidad erosiva del río por medio de la relación entre la distancia recorrida desde su

nacimiento y la altura relativa de cada punto de dicho perfil. Cabe mencionar que el perfil longitudinal y el mapa topográficos son descripciones continuas de la superficie.

La gráfica de ambos perfiles se realizó a partir de la digitalización en pantalla de una polilínea, que contiene sus límites sobre el modelo de elevación digital, con SIG. En el caso del perfil transversal se realizaron tres cortes caracterizando las grandes morfologías que presenta la cuenca.

Otros indicadores destinados a determinar la influencia de la forma de la cuenca de captación en el movimiento y captación del agua de lluvia se engloban en los parámetros de forme, relieve y de la red de drenaje (López Cadenas del Llano, 1998).

Parámetros de Forma

Perímetro (P) (km): Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas topográficas.

Longitud Axial (La) (km): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca.

Área (A) (km²): Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas. Su unidad de medida es kilómetro cuadrado.

Ancho promedio (Ap) (km): Es la relación entre la superficie de la cuenca con **La**.

Longitud del cauce principal (L_n) (km): Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca

Factor de forma (IF): Este factor adimensional que indica como se regula la concentración del escurrimiento superficial. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial o longitud del río hasta su punto más alto (Jardí, 1985; López Cadenas de Llano, 1998).

Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Cuando IF es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada. La cuenca con IF bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, que con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, estará sujeta a crecientes de menor magnitud. Una cuenca de forma triangular, con dos vértices en las cabeceras, afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada, provocará crecidas más significativas.

Coefficiente de compacidad de Gravelius (K_c): El límite define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente, teniendo influencia sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987). El K_c es adimensional y permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representar esta característica (Gaspari, 2002).

Para explicar el K_c de una cuenca, se ha propuesto su comparación con una cuenca ideal de forma circular, con sus tributarios dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (López Cadenas de Llano, 1998). Se expresa como una relación entre P (perímetro (km)) y A (superficie (km^2)), por medio de la Ecuación 1.

$$Kc = P / (2 \sqrt{I \times A}) \quad (\text{Ecuación 1})$$

El Kc está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca. Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma: $Kc = 1,00$ representa una cuenca redonda; 1,25, oval redonda; 1,50 oblonga; e igual o mayor a 1,75 cuenca rectangular-oblonga. Su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca. A medida que su Kc tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas.

Parámetros De Relieve

Curva hipsométrica adimensional (CHA). Expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de dos ejes donde la ordenada es la Altura relativa (h/H) y la abscisa es Área relativa (a/A), donde h : Intervalo entre curvas de nivel (m), H : Desnivel total de la cuenca (m), A : Superficie total de la cuenca (ha) y a : Área entre curvas de nivel (ha). Su forma es sigmoidal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja. El grado de sinuosidad es muy variable, igual que la pendiente en el punto de inflexión. Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, puede

relacionarse con controles tectónicos o litológicos particulares (Racca, 2007). La CHA se determinó con apoyo en el modelo digital de elevación con SIG.

Pendiente media de la cuenca (PM): El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, está muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente (López Cadenas de Llano, 1998). Para determinar la pendiente media de la cuenca se utilizó el mapa topográfico y el modelo digital de elevación, cuyo procedimiento se expresa en la Ecuación 2.

$$PM = 100 [(H \times L)/A] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo PM: Pendiente media (%); D: Equidistancia entre curvas medidas (km); L: Longitud de las curvas de nivel (km); A: Superficie (km²).

Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), se clasificó la cuenca en pendientes, con SIG sobre el modelo digital de elevación y el SRTM, según los diferentes tipos de relieve, considerándose muy plano a un relieve menor del 0.5 %; plano a 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % relieve accidentado; 20 a 50% muy fuerte; escarpado cuando se distribuye entre 50 y 75 %, y mayor al 75 % se corresponde a un relieve muy escarpado. A partir de estos rangos se realizó un mapa de tipo de relieve.

Coefficiente de rugosidad (Ra): Es la relación existente entre el desnivel de la cuenca (H) y su densidad de drenaje (Dd). Es adimensional (López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari *et al.*, 2009).

Orientación de ladera: Llamas (1993) expresa que es la dirección geográfica con respecto al norte geográfico, según la resultante de la pendiente general de las laderas de la cuenca. Su análisis se realizó en un mapa que indica la orientación con SIG sobre el modelo digital de elevación.

Parámetros de Drenaje

Densidad de drenaje (Dd): Está definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma (López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998). Dd caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, por medio del grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari, 2002). Cabe mencionar que se denomina red hidrográfica a la totalidad drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluye el escurrimiento superficial.

La densidad de drenaje (Dd) fue establecida por Horton según el cociente entre la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (Ln) y el área total de la cuenca (A) (López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari *et al.*, 2009).

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca

frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento.

Pendiente media del cauce (J): Se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo (L) (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari, 2002). Se expresa en porcentaje.

Tiempo de concentración (tc): El tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto mas alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow *et al.*, 1994; Gaspari *et al.*, 2009). El tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987).

Kirpich (1940) desarrolló una ecuación empírica, a partir de información antecedente de siete cuencas rurales estadounidenses, con canales bien definidos y pendiente pronunciadas (3 a 10%) (Chow *et al.*, 1994). La Ecuación 3 muestra su expresión de cálculo.

$$T_c = (0.0078 \times L^{0.77}) / S^{0.385} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde Tc: tiempo de concentración (minutos); L: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (pies) y S: pendiente promedio de la cuenca (pies/pie)

La determinación del Tc en la CARSG se determinó por medio de la Ecuación 3.

Los índices descriptos basaron su determinación sobre datos básicos analizados con SIG, cuyo objetivo final fue la confección en gabinete de la base de datos digital morfológica de la cuenca, formando parte del procedimiento inicial para el diagnóstico morfométrico del proyecto de Pagos por Servicios Ambientales en la Cuenca Alta del Río Sauce Grande.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados morfométricos alcanzados en el análisis con SIG permitieron generar cartografía temática descriptiva en la CARSG.

En la Figura 2 se presenta el mapa digital de elevación cuya cota mínima es de 141 m snm y la máxima es de 1214 msnm. En su desembocadura se ubica el Dique Paso de Las Piedras, con una superficie de embalse de 53.3 km². Para el análisis morfométrico inicial se definieron los perfiles longitudinales y transversales, ubicados según la Figura 2.

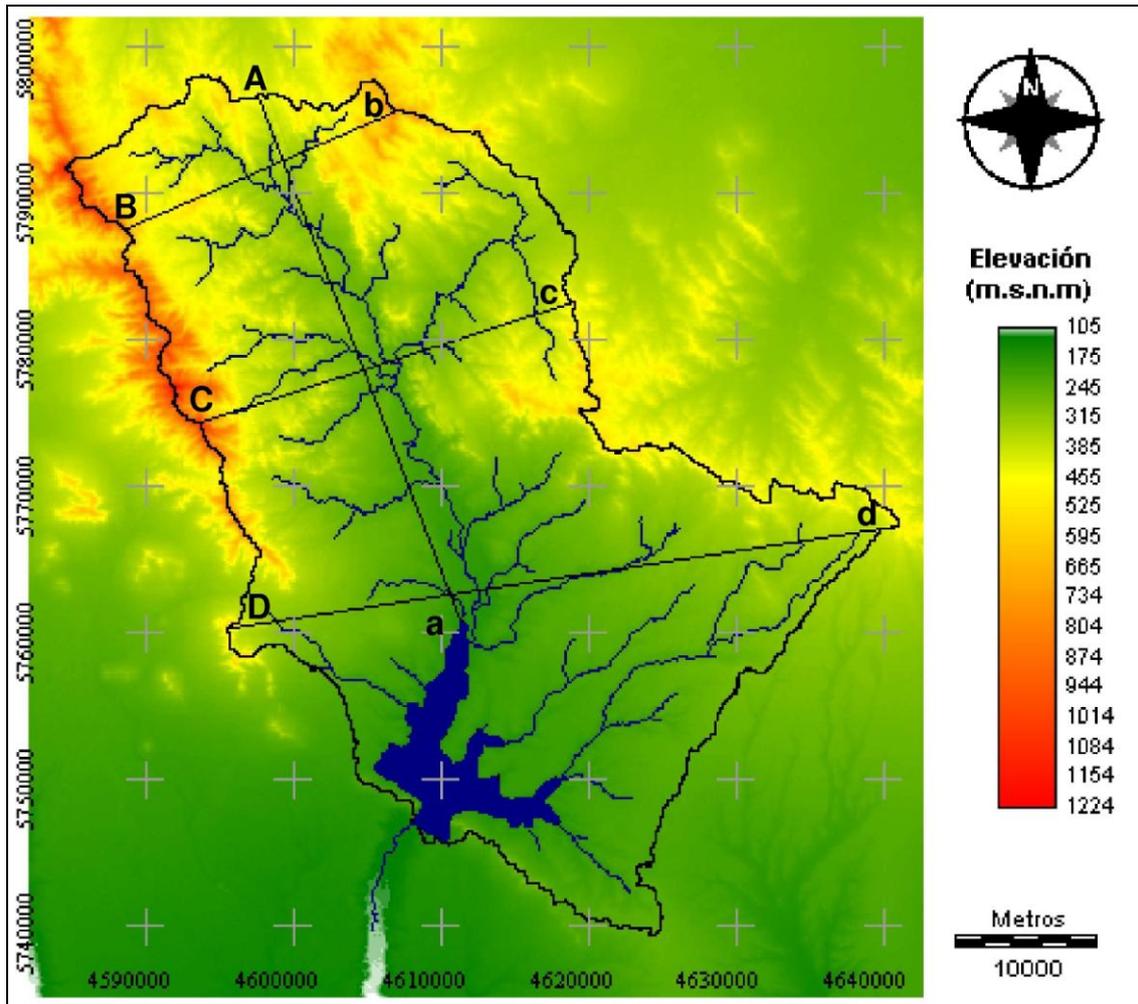


Figura 2. Cuenca y drenaje del Río Sauce Grande sobre un Modelo digital de elevaciones. Ubicación de los perfiles longitudinal (A-a) y transversales (B-b, C-c y D-d).

Figure 2. Watershed and drainage are of the Sauce Grande River, over a digital elevation model. Location of the longitudinal (A-a) and transversal profiles (B-b, C-c and D-d).

La Figura 3, representa la distribución altitudinal del perfil longitudinal (A-a) y de los tres transversales, ubicados B-b en la cabecera, el C-c en la parte media y el D-c en la parte baja de la cuenca. Con puntos se indica la ubicación de los cursos de agua que cortan los perfiles.

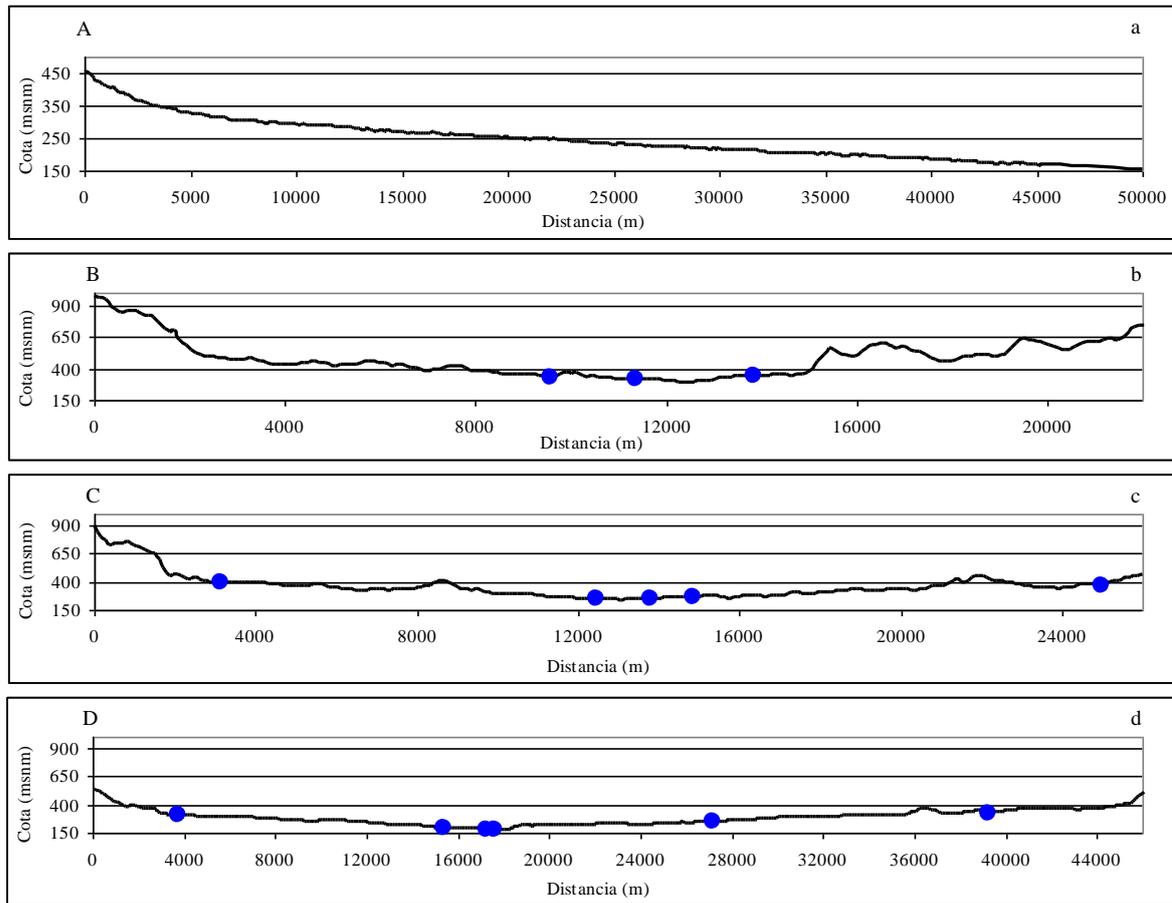


Figura 3. Perfiles longitudinal y transversales en la CARSG.

Figure 3. Longitudinal and transversal profiles in the Upper Watershed of the Sauce Grande River.

Los resultados morfométricos alcanzados para la Cuenca Alta del Río Sauce Grande se presentan en la Tabla 1.

Del análisis la Tabla 1 se establece que la cuenca presenta una forma oval - oblonga a rectangular oblonga, que presupone que es poco susceptible a las crecidas, cuyas aguas escurren en general por un solo curso principal (IF – Kc).

Identificador	Resultado
Perímetro (P) (km)	382.5
Longitud Axial (La) (km)	41.6
Área (A) (km ²)	1502.6
Ancho promedio (Ap) (km)	36.1
Longitud del cauce principal (m)	58336
Factor de forma (IF)	0.87
Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)	2.8
Coeficiente de rugosidad (Ra)	1.05
Densidad de drenaje (Dd) (km.km ⁻²)	0.27
Pendiente media del cauce (J) (m/m)	0.0048
Tiempo de concentración (tc) (hs)	11.8

Tabla 1. Identificadores de la morfología de CARSG.

Table 1. Morphometric characterization of the Upper Watershed of the Sauce Grande River.

Continuando con la interpretación de la Tabla 1, el coeficiente de rugosidad, Ra, establece que la cuenca presenta una baja relación entre el desnivel y la densidad de drenaje, generando una alta rugosidad. Los cursos de agua permanentes y transitorios de mayor envergadura, favorecidos por el factor topográfico y el coeficiente de rugosidad de la cabecera generan actividad torrencial durante tormentas de alta intensidad en la cabecera. En la parte baja de la cuenca la rugosidad disminuye favoreciendo la disminución de la torrencialidad de las aguas.

La densidad de drenaje natural (Dd), por el cual fluyen las aguas en la cuenca, es relativamente baja, en relación a la superficie de la cuenca (A), generando posibles áreas de acumulación de escorrentía temporal en épocas de alta intensidad de precipitación, en forma intermitentes en la zona de derrame.

La caracterización morfológica de la cuenca permitió identificar la influencia del relieve y morfología sobre su respuesta en un evento aislado al caracterizar el tiempo de concentración (t_c), siendo éste de corta duración.

La curva hipsométrica adimensional para la CARSG se representa en la Figura 4 en comparación con tres curvas hipsométricas correspondientes a cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos (Strahler, 1952; Strahler, 1957; Racca, 2007). La curva superior refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior es típica de una cuenca sedimentaria. La curva hipsométrica adimensional correspondiente a la cuenca en estudio indica un avanzado grado de desarrollo, correspondiente en su mayoría a un tipo sedimentario de baja erosionabilidad. Dicha fase puede ser confirmada a través del valor de la integral hipsométrica, ya que su valor es de 21.9%, y según Strahler (1952) valores inferiores a 30% implican fase de senectud.

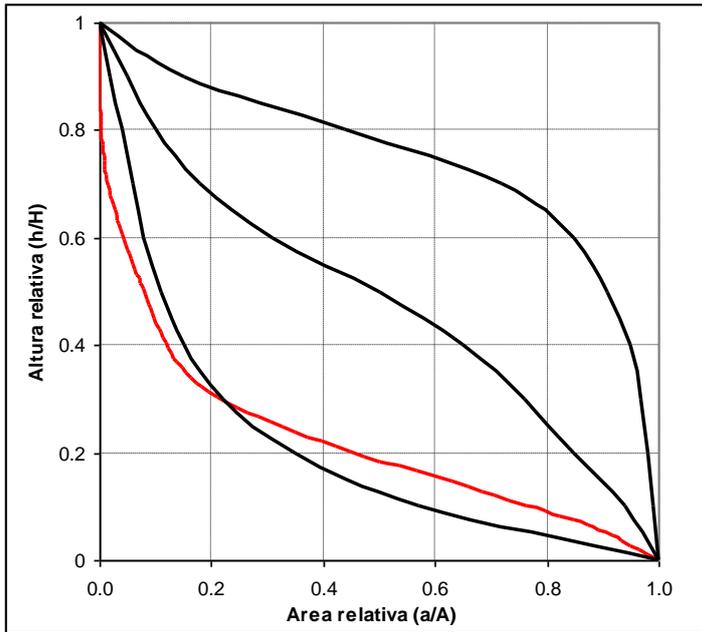


Figura 4. Curva hipsométrica adimensional de la CARSG (en rojo).

Figure 4. Hypsometric dimensionless curve for the watershed.

Los mapas de tipos de relieve y orientación de laderas en la CARSG se presentan en las Figuras 5 y 6 respectivamente.

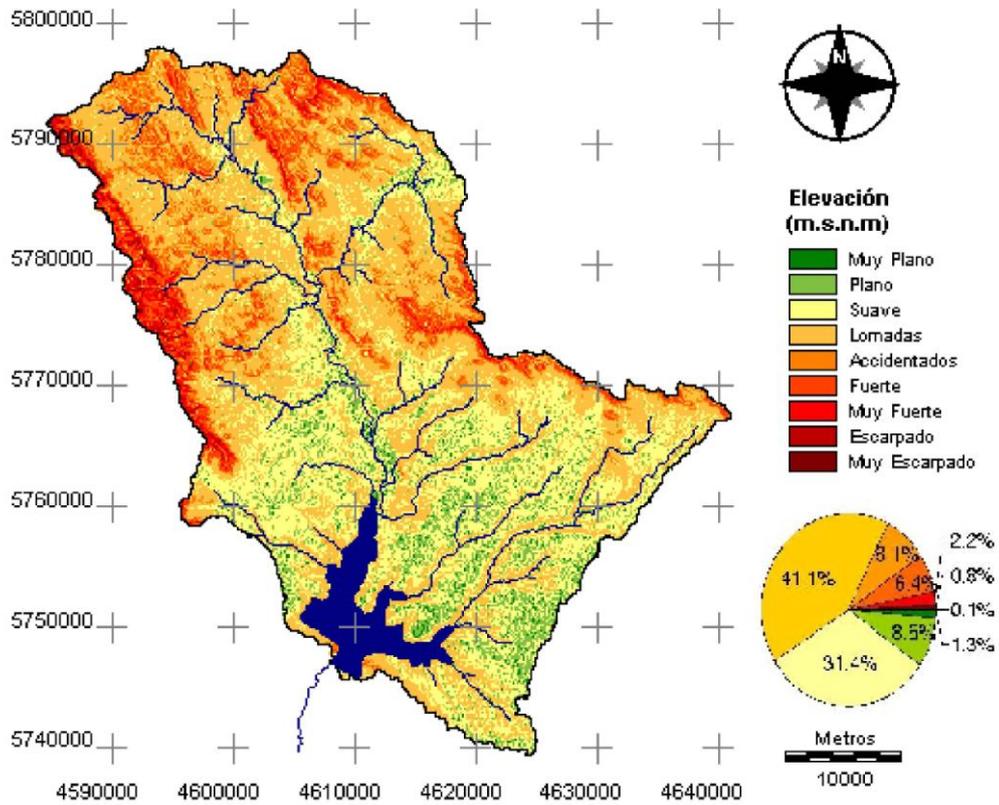


Figura 5. Mapa de tipos de relieve en la CARSG.

Figure 5. Map of types of relief in the watershed.

En la Figura 5 se interpreta que en la CARSG predominan los relieves lomadas a suaves abarcando aproximadamente el 75%, con áreas planas un 10% y el 15% restante es accidentado.

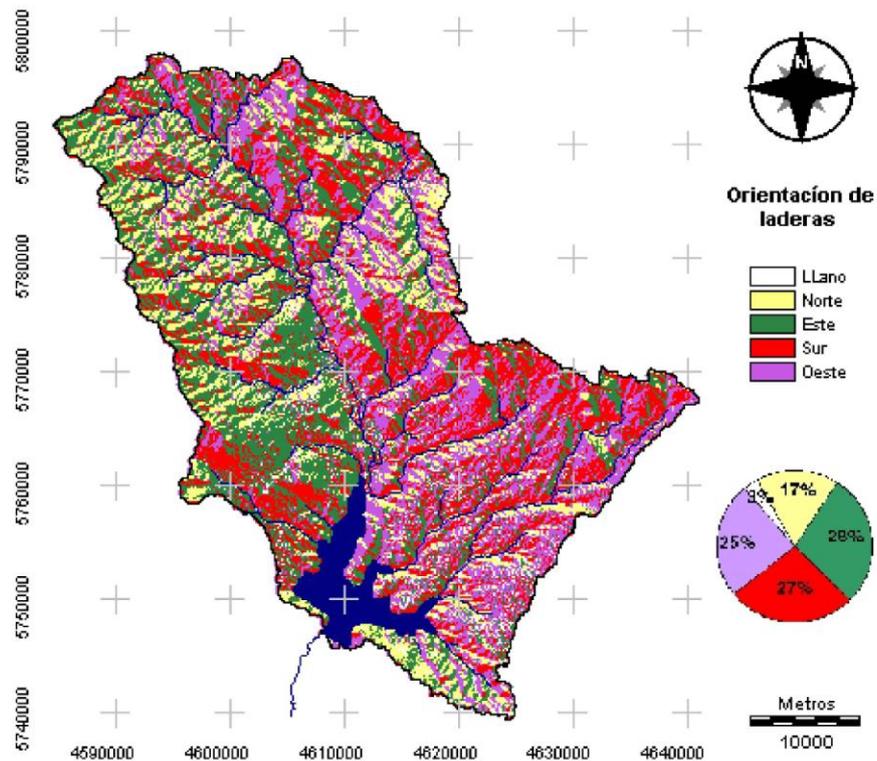


Figura 6. Mapa de orientación de laderas en la CARSG.

Figure 6. Map of hill aspects in the watershed.

La orientación de laderas es similar hacia los cuatro puntos cardinales, presentando un 3% de relieve llano sin una exposición predominante a la escala de estudio.

CONCLUSIÓN

Las propiedades morfométricas de la CARSG aportan un marco referencial a los efectos de definir la escala espacial de las investigaciones en ecología fluvial y de esa forma unificar criterios para la delimitación al momento de realizar la colecta, registros y sistematización de información producto de los trabajos empíricos.

Particularmente, la cuenca hidrográfica como unidad de investigación y las propiedades morfométricas de los sistemas fluviales, como marco de referencia para un proceso de pago por servicios ambientales, aportando al enriquecimiento epistemológico del ambiente analizado.

Los parámetros estudiados proporcionaron información sobre la dinámica espacio temporal del caudal líquido en la cuenca. La densidad de la red de drenaje en la CARSG manifiesta la capacidad de entalle de los cauces fluviales y el equilibrio dinámico del sistema acorde a sus condicionantes hidrológicas, geomorfológicas y topográficas. El análisis geoespacial logrado con SIG como herramienta de apoyo, constituyó un aporte para dilucidar las variables que actúan a una misma escala espacial y altitudinal sobre la extensión de la red de drenaje y dinámica hídrica y sedimentaria.

Por último, la integración de los parámetros morfométricos en cuencas hidrográficas es un aporte significativo relevante para la consolidación y planteo de ordenamiento territorial y pago por servicios ambientales. Además constituye la organización de las comunidades y sus relaciones con los factores de forma, la dinámica de la energía del caudal, el ciclo de nutrientes y la biodiversidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chow VT, Maidment DR & Mays L. 1994. *Hidrología Aplicada*. Ediciones McGraw-Hill, Colombia: 583 p

- Eastman JR. 2006. *User Manual Idrisi Andes*. Clark University. Disponible en: <http://www.clarklabs.org>.

- Gaspari FJ, Senisterra GE, Delgado MI, Rodríguez Vagaría A & Besteiro S. 2009. *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Autores, 1 ed, La Plata, Argentina: 321p

- Gaspari FJ. 2002. *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España*. Ediciones cooperativas. Buenos aires: 179 p

- Henaos JE. 1988. *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá : 396 p

- IGM (Instituto Geográfico Militar). 1996. *Cartas Imagen satelitarias*. Escala 1:250.000.

- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1989. *Descripción de Cartas de Suelo de la Provincia de Buenos Aires*. Escala 1:500.000. 4 (1): 43-55

- Jardi M. 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, Barcelona, 19: 41-68

- Kirpich ZP. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10 (6): 362 p

- Llamas J. 1993. *Hidrología general: principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. España: 635 p

- López Cadenas de Llano F & Mintegui Aguirre JA. 1987. *Hidrología de superficie*. Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid: 222 p

- López Cadenas de Llano F. 1998. *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa. España: 945 p

- Luque JA, Paoloni JD & Bonorino GA. 1979. Estudio geológico e hidrogeológico de la cuenca del Río Sauce Grande. Publicación interna del Departamento de Ciencias Agrarias y de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional del Sur, Serie Hidrología, 3: 64 p

- Mintegui Aguirre JA & López Unzu F. 1990. *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco: 306 p

- Racca JMG. 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 77 (1-2): 31-38

- Strahler AN. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, (63): 1117 – 1142.

- Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38 (6): 913 – 925