

Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina

Morphometric aspects of the mountain region of the stream Napaleofú, Provincia of Buenos Aires-Argentina

Senisterra Gabriela E.¹, Rodríguez Vagaría Alfonso M.¹,
Gaspari Fernanda J.¹ y Mazzucchelli María Gabriela²

Recibido: enero, 2013 / Aceptado, noviembre, 2013

Resumen

Las características físicas de una cuenca hidrográfica son elementales en la descripción de la dinámica hídrica; por ello se definen índices morfométricos que permiten explicar la forma, el relieve y la red de drenaje. El objetivo del trabajo fue analizar e interpretar los parámetros morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú (Argentina). Los parámetros calculados se determinaron sobre datos georreferenciados procesados con SIG, generando en gabinete, una base de datos digital morfométrica de la cuenca y de cada unidad hidrológica que contiene. Estos resultados forman parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica del escurrimiento superficial en la cuenca, debido a que los mismos se corresponden con las formas de relieve terrestre, siendo el agua y su energía un factor modelador. Este trabajo constituye el punto de partida de investigaciones para generar un modelo conceptual sobre el funcionamiento del sistema hidrológico del arroyo Napaleofú.

Palabras clave: Morfometría; cuenca hidrográfica; SIG; sistema de drenaje.

Abstract

The physical characteristics of a watershed are elementary in describing the hydric dynamics, thus morphometric indices explaining the shape, the relief and the drainage network are defined. The objective of this work was to analyze and interpret the morphometric parameters of the Napaleofú watershed (Argentina). The parameters were determined on GIS with processed georeferenced data, resulting in a digital morphometric database of the basin and of every of its hydrological units. These results are part of the initial procedure for diagnosing the dynamics of surface runoff in the basin, given that they correspond to the terrestrial landforms, where water is a factor that models. This work is the starting point for researches to generate a conceptual model about the operation of the water system of the stream Napaleofú.

Key words: Morphometry; watershed; GIS; drainage system.

1 Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas. La Plata, Provincia de Buenos Aires-Argentina. Correo electrónico: gseniste@agro.unlp.edu.ar

2 Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires.

1. Introducción

La forma de la superficie terrestre es el resultado de un balance dinámico de la litósfera, entre procesos constructivos y destructivos. Su estudio se expresa en la geomorfología, que estudia las formas del relieve, resultado de la interacción entre la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología y la incidencia de fenómenos biológicos, geológicos y antrópicos. En particular, el relieve origina unidades topográficas denominadas cuencas.

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico y objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sostenible. Por ello es necesario conocer sus límites y la definición de sus características morfológicas, ambientales y de la sociedad que la integra. Para definir sus límites se debe identificar a las divisorias de agua que son los puntos altimétricos más altos que definen la dirección de circulación del escurrimiento superficial (Gaspari *et al.*, 2009). Un enfoque sistémico del concepto de cuenca hidrográfica supera la idea de reducirla a una superficie de convergencia del escurrimiento hídrico superficial, ya que considera a todo el complejo biogeomórfico y humano. La misma constituye un instrumento valioso para el Estado y la sociedad para administrar su actividad, conciliar intereses económicos y sociales, conservar la biodiversidad y permitir un uso sostenido de los recursos naturales representando a una unidad de planificación y gestión para el manejo de los recursos naturales (Gaspari, 2002).

Hidrológicamente, la cuenca funciona como un colector que recibe la precipitación y convierte, parte de ésta, en escurrimiento. Esta transformación depende de sus condiciones climáticas y de las características físicas particulares (Henaos, 1988; Gaspari *et al.*, 2009). Estas últimas son fundamentales en la descripción de la dinámica del ciclo hidrológico. Es por ello que la caracterización morfométrica de una cuenca es, generalmente, el punto de partida de investigaciones para generar una idea global sobre el funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento (Montoya Moreno y Montoya Moreno, 2009).

Las principales características físicas que influyen en estos procesos son las relacionadas a la morfometría de la cuenca: forma, relieve y red de drenaje, derivadas de su geomorfología. Las características morfométricas permiten comparar cuencas hidrográficas a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales, alcanzando conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio.

Méndez y Marcucci (2006) analizaron e interpretaron los parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada Curucutí, en términos de su incidencia en el comportamiento y respuesta hidrológica del sistema, y en su potencial morfodinámico, a fin de contribuir a la generación y/o ampliación de una plataforma de información básica, que permita 'a posteriori' estimar los hidrogramas y caudales pico de crecidas para el análisis y evaluación de la amenaza por

inundaciones y aludes torrenciales. Montoya Moreno y Montoya Moreno (2009) evaluaron algunas características morfométricas básicas en la microcuenca de la quebrada Los Andes, en el departamento de Antioquia (Colombia), permitiéndoles continuar con otros estudios de línea base, especialmente los concernientes a la gestión de los recursos naturales.

El cálculo de los parámetros morfométricos se realiza con operaciones matemáticas, y desde el desarrollo tecnológico de la geoinformática, se ha podido obtener estos parámetros de forma automatizada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), (Delgado y Gaspari, 2010).

El objetivo de este trabajo es analizar e interpretar los parámetros morfométricos de la región serrana del arroyo Napaleofú.

2. Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la cuenca alta del arroyo Napaleofú, ubicada en el su-

doeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1), considerada como un área experimental, debido a que desde la década de 1980 ha manifestado cambios en el uso del suelo por las transformaciones en la estructura productiva regional, derivadas de la introducción de tecnología y de la adquisición de capacidades técnicas de los productores agropecuarios. Esta transformación puede incidir en la dinámica hídrica superficial.

El clima manifiesta un régimen hídrico subhúmedo-húmedo. La precipitación media anual es de 850 mm, siendo los meses más lluviosos de enero a marzo, y el trimestre más seco de junio a agosto. La temperatura media anual es de 13,8°C. El período medio libre de heladas abarca desde octubre a mayo.

Litológicamente, la cuenca en estudio se desarrolla sobre las sierras del Sistema de Tandilia, formado por un zócalo de basamento cristalino (edad precámbrica), que presenta, desde el punto de vista hidrogeológico, un comportamiento acuífugo y una cubierta o cobertura sedimentaria (edad paleozoica inferior) que,

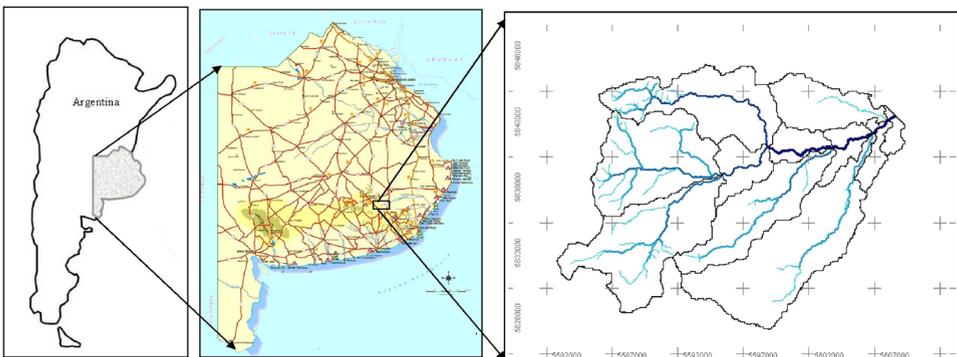


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, Argentina. Fuente: elaboración propia

en algunos sectores, da origen a acuíferos fisurados. Sobre éstos se depositaron sedimentitas cuaternarias (Pleistoceno y Holoceno). De acuerdo con la Carta de Línea de Base Ambiental 3760-IV, Tandil (Tchilinguirian *et al.*, 2004), se definen en el área de estudio, dos grandes unidades geológicas-geotectónicas: rocas metamórficas y plutónicas y sedimentos cuaternarios (loessicos y aluviales). Se han desarrollado predominantemente, suelos Argiúdoles y Haplúdoles (INTA, 1989).

Para el análisis de las características morfológicas y funcionales de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, se establecieron y analizaron parámetros morfométricos de forma, de relieve y los relativos a la red de drenaje, con apoyo en el Sistema de Información Geográfica (SIG) *Idrisi Taiga*® (Eastman, 2009) y planillas de cálculo. Complementariamente, se realizó un análisis general topográfico para integrar el relieve con el trazado del sistema de drenaje, fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas superficiales.

El material utilizado fueron las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM), a escala 1:50.000, denominadas San Manuel, Fábrica La Esperanza, Estancia La Pacífica y Almacén La Numancia. Además, se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 TM, *Path/Row* 224/086 con fecha 18/01/2011, obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ©, disponibles en la web (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

El procesamiento con el programa *Idrisi Taiga*® de las cartas topográficas y

de la imagen satelital mencionadas, generó el modelo digital de elevación (MDE), que permitió delimitar la cuenca por divisoria de aguas, y digitalizar en pantalla el sistema de drenaje superficial. También se obtuvieron los datos de base para la definición de los parámetros geométricos de forma, relieve y red de drenaje. La morfometría se cuantificó por medio de índices, los cuales relacionan la forma del relieve con la respuesta hidrológica de la cuenca. Para realizar un estudio más detallado del área, se dividió la cuenca en unidades hidrológicas menores, denominadas subcuencas, con cursos de agua de menor porte.

Los índices de forma calculados fueron el perímetro (P), el área (A), el coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) y el coeficiente de circularidad (Cc). El Kc relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gaspari, 2002). Según Miller (1953), el Cc compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca. Varía entre 0 y 1, indicando que valores cercanos a 0 expresan cuencas alargadas y los coeficiente cercanos a 1, cuencas redondeadas.

El relieve de la cuenca, junto con la forma, tiene influencia en su respuesta hidrológica e incide en la dinámica geoespacial de la escorrentía superficial. Los parámetros de relieve que se calcularon fueron la curva hipsométrica (CH), la curva hipsométrica adimensional (CHA) y la integral hipsométrica. La curva hipsométrica representa el área drenada que varía con la altura de la superficie de la

cuenca. Según Strahler (Llamas, 1993), la relación hipsométrica es un importante indicador del estado de equilibrio de la cuenca. Según Racca (2007), cuando CHA presenta variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas de Strahler o por presentar más de un punto de inflexión, que puede evidenciar controles tectónicos o litológicos particulares. Además, se cuantificó la pendiente media de la cuenca (PM), la altura media (AM) y la orientación de ladera (Henaos, 1988; Gaspari *et al.*, 2009). Para la cuenca en estudio, se completó el análisis del relieve con un procesamiento geoespacial, según López Cárdenas de Llano (1998), el cual clasifica los relieves según rangos porcentuales de pendiente. Esta clasificación considera relieve muy plano cuando la pendiente es menor al 0,5%, plano entre 0,5 y 1%, suave entre 1 y 3%, relieve con lomadas cuando la pendiente está entre 3 y 12%, accidentado cuando el rango es de 12 a 20%, muy fuerte entre 20 y 50 %, escarpado entre 50 y 70 % y muy escarpado cuando es mayor a 70.

El estudio de la fisonomía de la red natural de drenaje es importante porque permite evaluar las características hídricas cuando no se dispone de información hidrometeorológica cuantitativa. La forma y la densidad de la red de drenaje corresponden a la distribución o arreglo geométrico de los tributarios que lo conforman (Senciales González, 1998). Este arreglo de la red de drenaje, se conforma a través del tiempo, sobre la corteza terrestre, y se expresa mediante índices o parámetros que lo describen (Gaspari *et al.*, 2009). El establecimiento de un crite-

rio de clasificación respecto de la circulación del agua en las cuencas es complejo, pues está influenciado por la longitud y forma de la cuenca, las pendientes del cauce principal y la pendiente del terreno.

Para la caracterización de los cursos de agua en la cuenca alta del arroyo Napaleofú se definieron los parámetros de drenaje que se detallan a continuación: número de orden de los cursos (Strahler, 1964), densidad de drenaje (Dd), longitud del curso principal (L), desnivel del cauce (DH), pendiente media del cauce (J), y coeficiente de sinuosidad (Cs) que se define como la relación entre el trazado del cauce principal (L) y cuanto se aparta de una línea recta, considerando que cuando Cs es menor a 1,25 representa cauces con poca sinuosidad. Por último, se determinó el tiempo de concentración (Tc) según Kirpich (Gaspari *et al.*, 2009), que expresa el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En ese tiempo, se presenta la máxima concentración de agua, porque están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca a la salida de la misma, expresado como un índice de drenaje. Según Ortiz (2004), cuanto mayor sea el tiempo de concentración, los caudales pico serán más atenuados y las recesiones mucho más sostenidas, y cuanto menor sean, los caudales pico serán intensos y con recesiones muy rápidas. También se diseñó el perfil longitudinal, desde la cabecera hasta la desembocadura de la cuenca, y tres perfiles transversales, representativos de los diferentes relieves que presenta la

misma, sobre el modelo digital de elevación (MDE), para definir la dirección general del escurrimiento superficial.

3. Resultados

En la cuenca alta del arroyo Napaleofú se definieron once subcuencas (Figura 2), en las que se determinaron los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje. Además se visualiza el sistema de drenaje superficial digitalizado en pantalla con apoyo del MDE y de la imagen satelital utilizada.

Teniendo en cuenta que la geología (tectónica y litología), constituye el principal condicionante de las cuencas hidrográficas de las sierras de Tandilla, y en particular en el desarrollo de algunos de

los parámetros morfométricos, se describe esta relación en el área de estudio.

- Las rocas metamórficas se encuentran en la cabecera de la cuenca (subcuencas 1, 2, 3 y 4), correspondiéndose con una geomorfología compuesta por sierras y cerros de rocas de basamento cristalino. El relieve de esta zona presenta elevaciones con pendientes fuertes.
- En el piedemonte donde se distribuyen las subcuencas 1, 2, 3 y 4, se presenta un relieve ondulado, donde existen sedimentos loésicos del pleistoceno superior con texturas limo-arenosas finas, friables en seco, y en húmedo se disgregan fácilmente. Son de baja plasticidad (Tchilinguirian *et al.*, 2004).

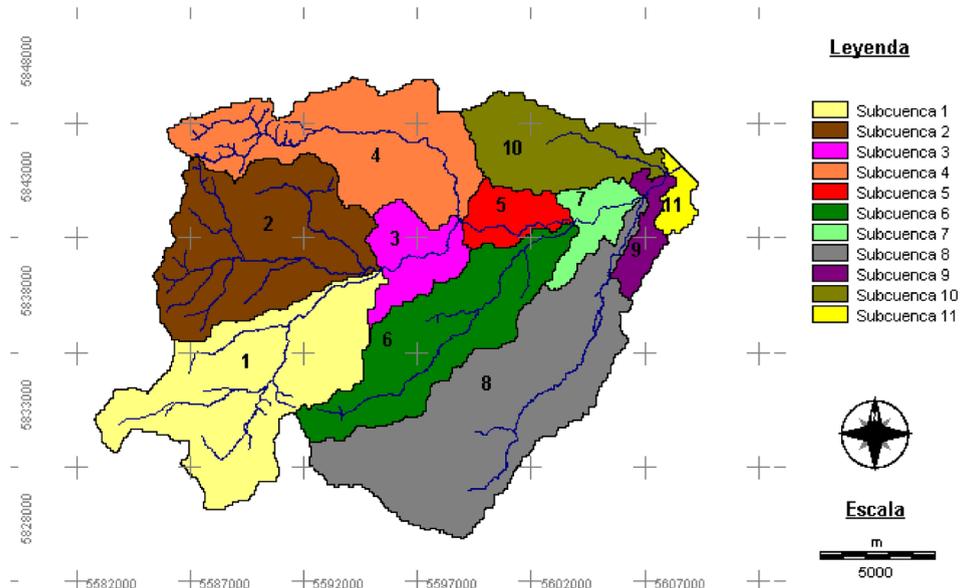


Figura 2. Subcuencas de la cuenca alta del arroyo Napaleofú. Fuente: elaboración propia

- En la parte baja de la cuenca se ubican los depósitos loésicos del pleistoceno medio e inferior, con limos calcáreos y paleosuelos arcillosos. La geomorfología está representada como una planicie modelada por acción fluvial y eólica con relieves planos (Tchilinguirian *et al.*, 2004). Estas características están presentes en las subcuencas 5 a 11.
- En la subcuenca 10 hay depósitos palustres, representadas por cubetas de deflación inundadas, que son depresiones someras de escasa profundidad, con presencia de arcillas y limos, que permiten la instalación de vegetación temporaria. En las subcuencas 1 a 9, y en la 11 se presentan paleocauces, ocupando planicies y terrazas aluviales con un relieve particular de depresiones.

Considerando que los aspectos geomorfológicos, que conforman el relieve, definen la morfometría de las cuencas hidrográficas, se presentan a continuación los resultados alcanzados de los parámetros analizados.

3.1 Parámetros de forma

Los parámetros de forma determinados se muestran en el cuadro 1. La superficie total de la cuenca es de 347,73 km², siendo la subcuenca 8 la de mayor superficie. A partir del Kc obtenido, se interpreta como oblongas las subcuencas 2 y 5. Las restantes presentaron valores de Kc superiores a 1,75, indicando forma rectangular oblonga. En coincidencia con Kc, los valores de Cc expresan que las diferentes subcuencas son alargadas. Este tipo de subcuenca es menos susceptible a las crecidas, debido al retardo en la contribución de la escorrentía hacia el cauce principal.

3.2 Parámetros de relieve

En la figura 3 se presentan las curvas hipsométricas (CH), donde se observa que las subcuencas de la cabecera (1, 2 y 4) nacen en cotas superiores a los 350 msnm y el 50% de la superficie tienen cotas superiores a los 210 msnm. El resto de las subcuencas tienen una altura máxima entre 150 y 280 msnm. El cierre de la cuenca es a los 139 msnm.

Cuadro 1. Parámetros de forma

Subcuenca		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Área	(km ²)	58,9	54	14	50	9,5	41	8,9	73	6,5	25	3,9
	(%)	17	16	4	14	3	12	3	21	2	7	1
Kc		1,94	1,7	1,9	2,1	1,7	2,1	2,2	2,2	2,4	1,9	2
Cc		0,26	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3

Fuente: elaboración propia

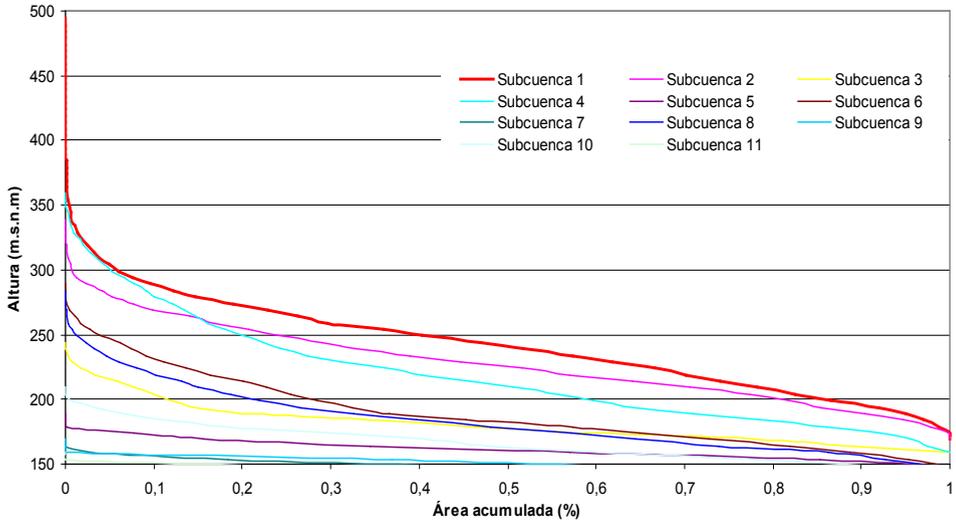


Figura 3. Curva hipsométrica de cada subcuenca. Fuente: elaboración propia

Para comparar morfométricamente las diferentes subcuencas y expresar el potencial evolutivo se confeccionó la curva hipsométrica adimensional (CHA), con apoyo en el modelo digital de elevación con SIG. En la figura 4 se muestran las CHA por subcuenca, definidas entre las curvas teóricas central e inferior propuestas por Strahler (1952), expresando que todas las subcuencas presentan actividad sedimentaria con tendencia al equilibrio, desarrollando una fase de madurez.

Asimismo, la integral hipsométrica expresa el estado de desarrollo particular de cada subcuenca (Figura 5), en coincidencia con las CHA. En esta figura, se interpreta que las subcuencas de la cabecera (1 a 4) son maduras con presencia de rocas metamórficas del Precámbrico. El resto de las subcuencas presentan sedimentos de origen Cuaternario, inter-

pretándose como más jóvenes, hacia la desembocadura de la cuenca en estudio.

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica está muy influenciado por la configuración topográfica. El poder erosivo en superficie se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo al gradiente de la pendiente (Henaos, 1988; López Cádenas de Llano, 1998). Para cuantificar este efecto, se determinó la altura media (AM) y la pendiente media (PM) de la cuenca utilizando el mapa topográfico, con aplicación del SIG. Los resultados se observan en el cuadro 2. La cuenca presenta una cota mínima de 138,68 msnm en la desembocadura y máxima de 498,50 msnm en la divisoria superior, generando un desnivel de 359,82 m.

Al aumentar la pendiente media y el desnivel de la cuenca, mayor será la posibilidad de generar crecidas (Gaspari *et al.*,

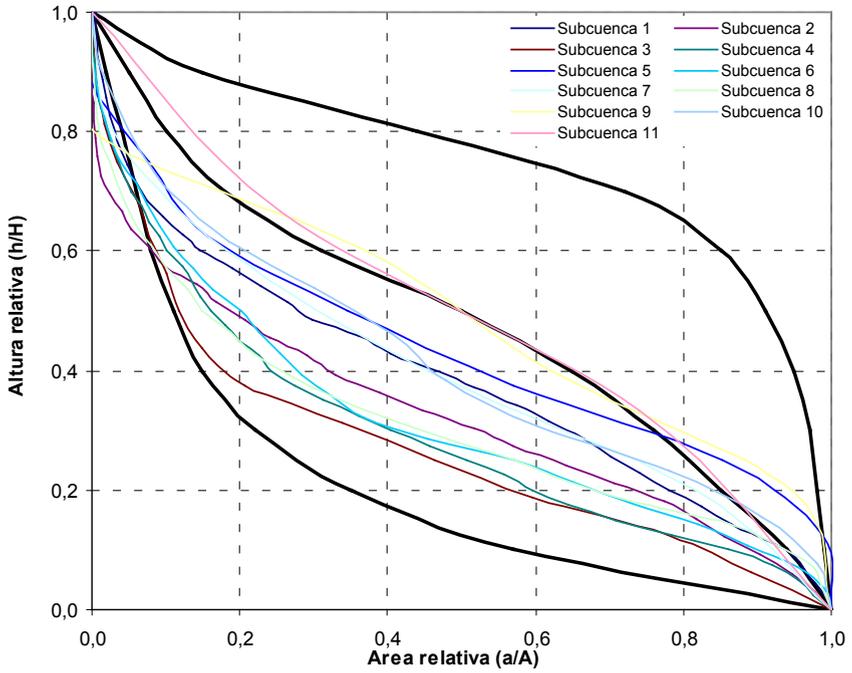


Figura 4. Curvas hipsométricas adimensionales de las subcuencas. Fuente: elaboración propia

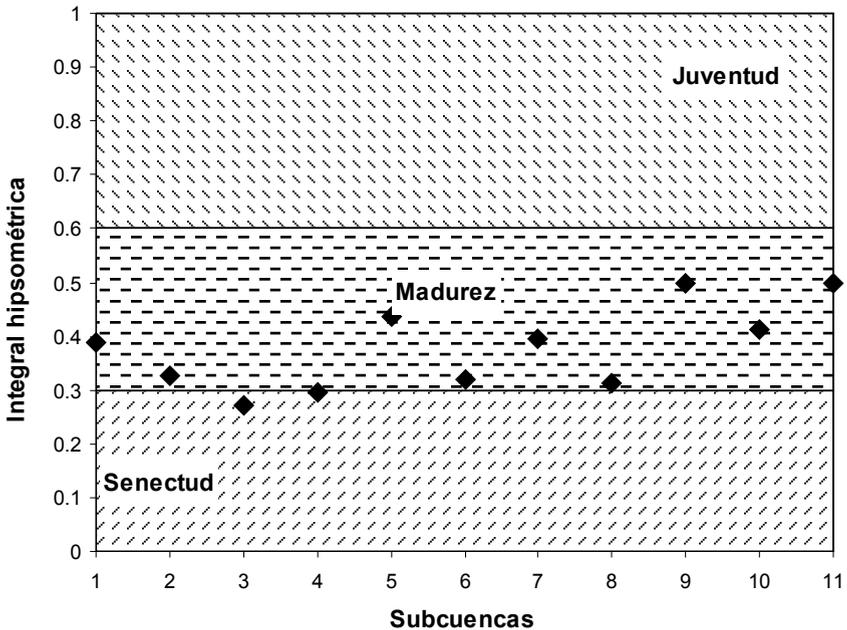


Figura 5. Integral hipsométrica de las subcuencas. Fuente: elaboración propia

Cuadro 2. Parámetros de relieve de las subcuencas

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AM (msnm)	246,2	232,2	185,2	222,3	165,7	193,2	153,2	187,1	150,5	165,2	145,7
PM (%)	5,14	4,62	2,84	4,82	1,76	2,37	0,81	1,43	0,35	1,41	0,89

Altura media de la cuenca (AM), Pendiente media (PM). Fuente: elaboración propia

2009). En la cuenca en estudio los valores fueron bajos, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos violentos.

Se realizó un mapa de pendientes (en %) a partir del modelo digital de elevación (MDE). El procesamiento y reclasificación de este mapa según López Cárdenas de Llano (1998), permitió establecer los diferentes tipos de relieve (Figura 6).

El relieve predominantes es el plano, suavemente ondulado, con escasa presencia de superficie entre accidentado a muy escarpado. Los porcentajes de ocupación de cada tipo de relieve en la cuen-

ca son: 13,1% muy plano, 21,3% plano, 34,9% suave, 28,1% lomadas, 2,3% accidentado, 0,27% fuerte, 0,01% muy fuerte, 0,03% escarpado y 0,01% muy escarpado. En la figura 7 se observa la superficie porcentual de ocupación según relieve, para cada subcuenca, destacándose el predominio de relieve plano a muy plano en las subcuencas 5 a la 11, que se corresponden con el área por la que circula el cauce principal. En las subcuencas de la cabecera prevalecen relieves con lomadas y pequeñas áreas de relieve accidentado a fuerte, y un mínimo porcentaje de

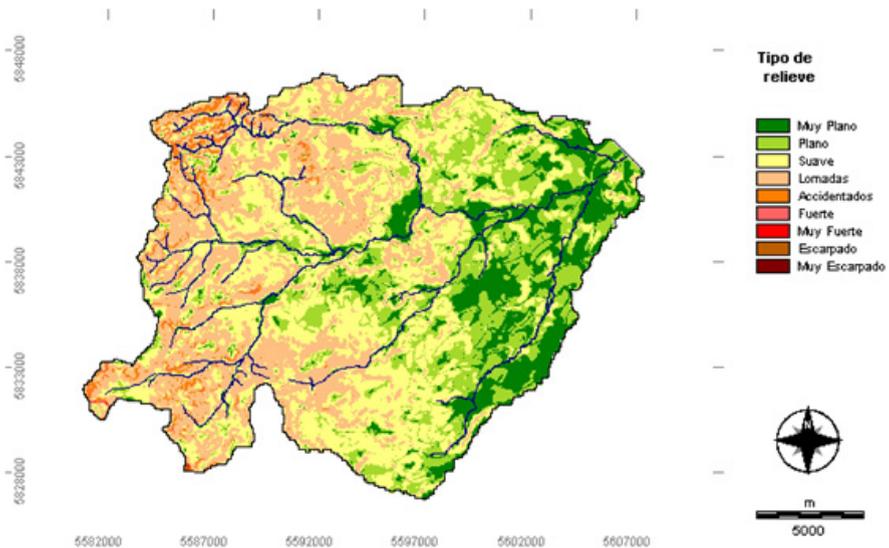


Figura 6. Tipo de relieves presentes en la cuenca alta del arroyo Napaleofú. Fuente: elaboración propia

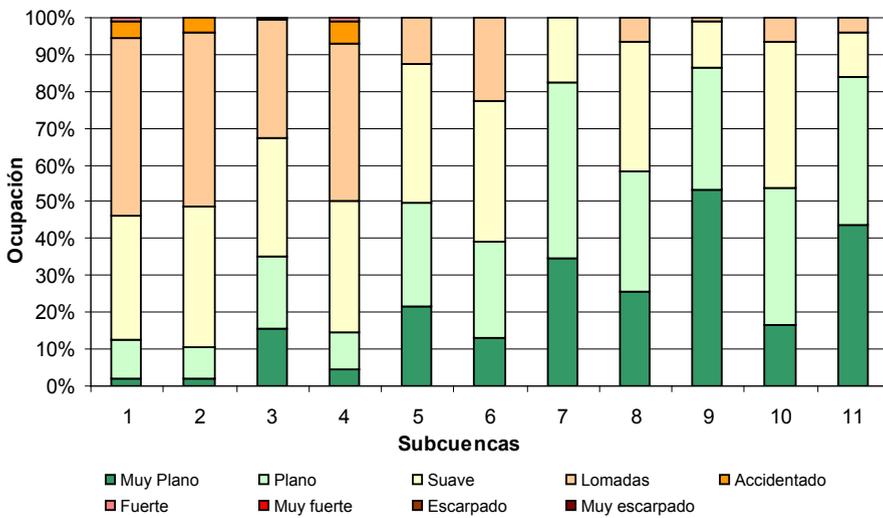


Figura 7. Tipos de relieve de cada subcuenca. Fuente: elaboración propia

0,04 de relieve muy fuerte hasta muy escarpado en las subcuencas 1 y 4.

El análisis de la orientación de las laderas se realizó con SIG sobre el MDE, generando un mapa que indica la disposición de las laderas, con respecto al punto cardinal geográfico norte de cuadrícula, y su ocupación porcentual (Figura 8).

La orientación de las laderas por subcuenca, representada en la figura 9, expresa un parámetro que permite definir las horas en que es expuesta la cuenca a la radiación solar (Díaz *et al.*, 1999) favoreciendo el desarrollo de la cobertura vegetal. De acuerdo a ello, se identificó que las orientaciones predominantes en todas las subcuencas fueron la norte y la este. Esta característica topográfica influye en la dinámica de la escorrentía superficial al actuar sobre la retención de agua por parte del follaje y del mantillo del suelo, que es más abundante en las exposiciones mencionadas.

3.3 Parámetros de la red de drenaje

El número de orden de los cursos de agua o jerarquización, está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje, siendo para la cuenca en estudio el número máximo de orden tres (Figura 10). Gaspari *et al.* (2009) mencionan que a mayor número de orden, mayor será el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y mayor el escurrimiento directo que en otra cuenca de similar área. Para el caso en estudio el número de orden tres refleja una cuenca con un nivel erosivo bajo.

Los resultados de los parámetros de la red de drenaje calculados se presentan en el cuadro 3. Es conocido que la escorrentía se ve afectada por la densidad de drenaje (Dd). En zonas con alta densidad de drenaje la escorrentía rápidamente circula por la superficie, disminuyendo el tiempo de concentración e incrementan-

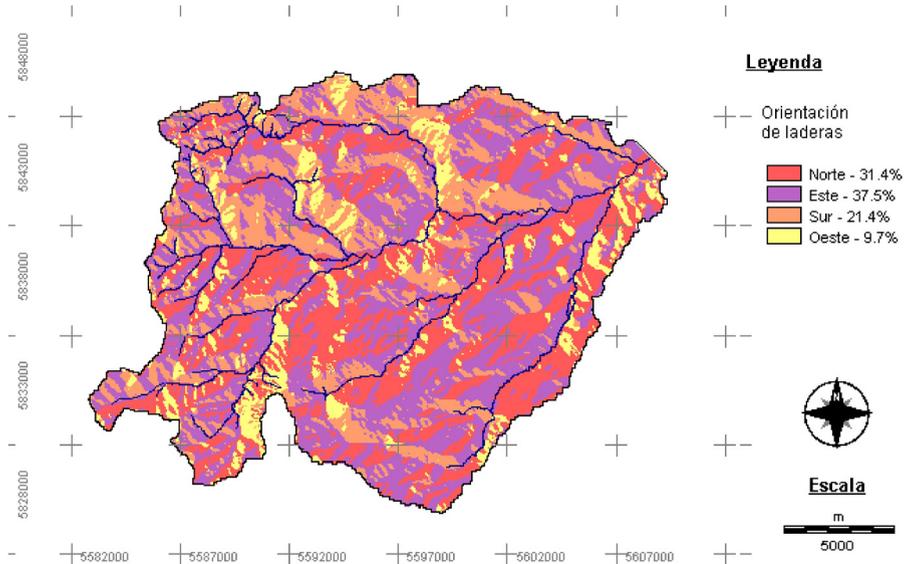


Figura 8. Orientación de laderas en la cuenca alta del arroyo Napaleofú. Fuente: elaboración propia

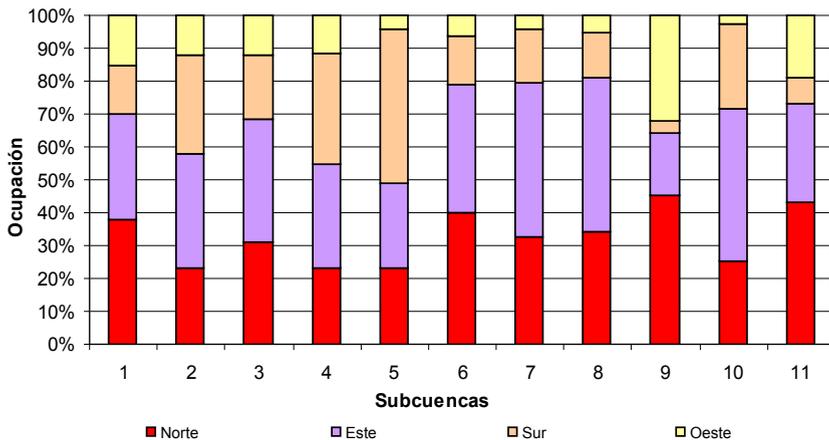


Figura 9. Ocupación (%) de la orientación de laderas por subcuena. Fuente: elaboración propia

do el caudal pico (Gaspari *et al.*, 2009). El valor de Dd alcanzado en este estudio, está comprendido en un rango de 0,18 a 0,85 km/km². Según el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004), estos valores se corresponden a subcuencas con baja complejidad y desarrollo del sistema

de drenaje, que generalmente se asocia con áreas resistentes a la erosión, permeables y de bajo relieve.

Siendo la longitud del curso (L) la distancia entre el nacimiento y la desembocadura del mismo, los cauces más cortos se encuentran en las subcuencas 3, 5,

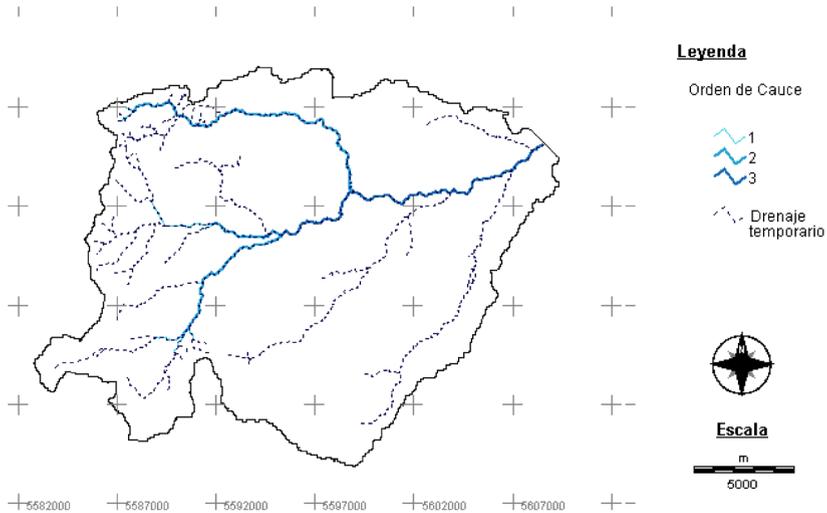


Figura 10. Jerarquización de la red de drenaje según Stralher (1964). Fuente: elaboración propia

7, 9 y 11, y contienen al canal principal, cumpliendo con la función de traslado de los caudales desde la cabecera hacia la desembocadura. En las subcuencas de la cabecera, la respuesta hidrológica ante una precipitación será más lenta, debido a que el área de aporte hídrico es mayor.

En relación a DH, las cuencas de la cabecera (1, 2, 4 y 6) presentaron un valor medio de 116 m. En las subcuencas de la parte media y baja, el DH varió entre 43,9 y 1,5 m.

La pendiente media del cauce (J) relacionó el desnivel con la longitud de su cauce principal. Los resultados alcanzados presentaron un rango de 0,0013 a 0,0077 m/m, expresando una pendiente suave, implicando un movimiento lento del agua hacia la desembocadura.

El Cs presentó valores entre 1,09 y 1,46. Las subcuencas 2, 3, 4 y 8 tuvieron valores superiores a 1,25 expresando cauces más sinuosos.

La pendiente y la longitud del cauce principal son dos factores fundamentales en la determinación del tiempo de concentración (T_c). El T_c varió entre 404,6 y 32,9 minutos. En las subcuencas de la cabecera la relación entre la L y la de todos los cursos que la conforman, la mayor pendiente y su superficie, determinan T_c medios. El máximo T_c se presenta en la subcuenca 8, debido a la mayor longitud de su cauce principal, suave pendiente y mayor superficie. Asimismo, en la subcuenca 11 se verificó el menor T_c en relación directa con la menor longitud del cauce principal.

En la figura 11 se observa el diseño del perfil longitudinal y los perfiles transversales de la cuenca sobre el modelo digital de elevación (MDE). La distribución altitudinal del perfil longitudinal (A-a), representa las diferentes elevaciones del fondo del arroyo desde su nacimiento hasta la desembocadura de la cuenca.

Cuadro 3. Valores de los parámetros de la red de drenaje

Sub cuenca	Dd (km/km ²)	L (km)	DH (m)	J (%)	Cs	Tc (min)
1	0,60	16,20	105,6	0,0065	1,22	235,7
2	0,85	12,07	93	0,0077	1,26	176,2
3	0,38	5,47	13,7	0,0025	1,31	147,8
4	0,69	18,22	151,7	0,0083	1,46	234,9
5	0,63	5,96	12,7	0,0021	1,22	167,8
6	0,56	16,83	113,7	0,0068	1,21	239,4
7	0,45	3,97	8,8	0,0022	1,20	121,1
8	0,32	19,30	43,9	0,0023	1,28	404,6
9	0,26	1,65	2,2	0,0013	1,13	74,9
10	0,27	6,83	15,8	0,0023	1,23	180,9
11	0,18	0,71	1,5	0,0021	1,09	32,9

Densidad de drenaje (Dd), Longitud del curso principal (L), Desnivel del cauce (DH), Pendiente media del cauce (J), Coeficiente de sinuosidad (Cs) y Tiempo de concentración (Tc). Fuente: elaboración propia

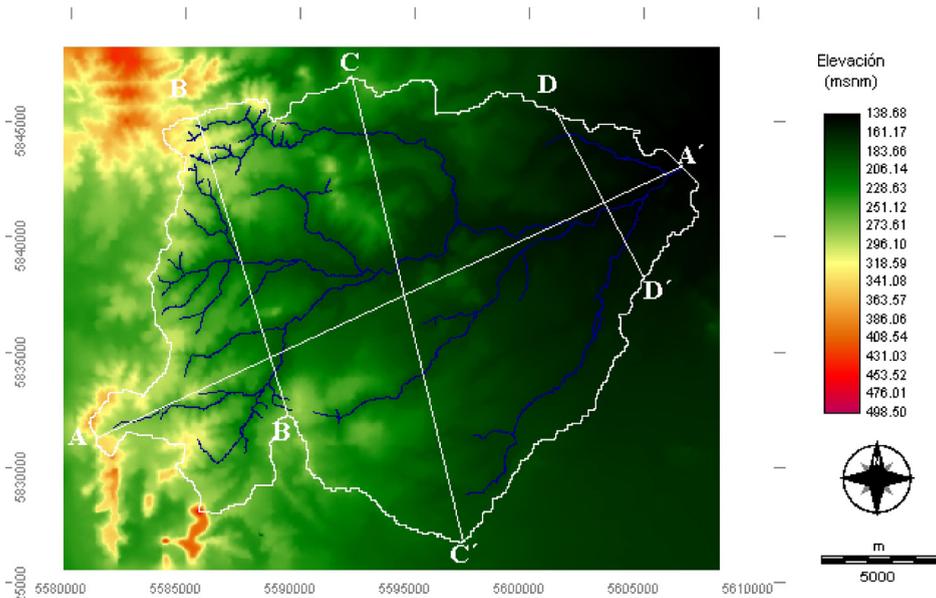


Figura 11. Perfiles topográficos en la cuenca alta del arroyo Napalefú sobre el MDE. Perfil longitudinal (A-a). Perfiles Transversales (B-b, C-c y D-d). Fuente: elaboración propia

Los tres perfiles transversales realizados se distribuyeron según rugosidad del relieve. El perfil (B-b) está ubicado en la cabecera, el perfil ubicado en la parte media es el (C-c) y el perfil en la parte baja de la cuenca es el (D-d).

A partir del procesamiento de la figura 11 se logra la esquematización de los perfiles, como se observa en la figura 12.

Los perfiles transversales se completan con puntos azules, que indican los sitios por donde circulan los arroyos que

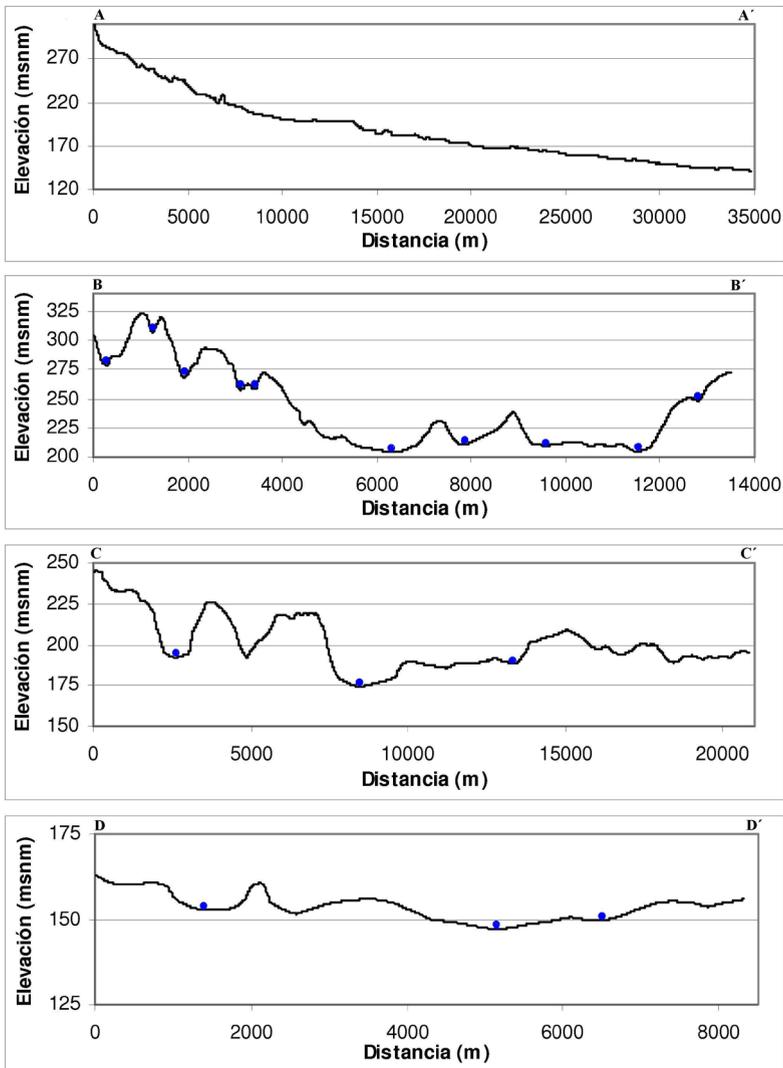


Figura 12. Perfiles longitudinal y transversales en la cuenca alta del arroyo Napaleofú.
Fuente: elaboración propia

componen la red de drenaje principal. En el perfil (B-b) se puede observar una rugosidad importante del relieve fuerte a muy escarpado, con la presencia de abundantes cursos de agua. El perfil (C-c) ubicado en la parte media, presenta menor rugosidad con relieve de lomadas a suave, con menor número de cursos de agua. El perfil de la parte baja de la cuenca (D-d) expresa un relieve plano a muy plano, conteniendo al curso principal.

4. Consideraciones finales

Los parámetros morfométricos calculados se determinaron sobre datos básicos procesados con SIG, para confeccionar en gabinete la base de datos digital morfológica de la cuenca, formando parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica espacio temporal del escurrimiento superficial en la cuenca serrana del arroyo Napaleofú. Asimismo, dada la escasa información acerca del área serrana del arroyo Napaleofú, se considera que este trabajo conforma un aporte significativo sentando las bases para futuras investigaciones.

La relación existente entre los parámetros físicos de la cuenca y las variables hidrológicas otorgan una orientación cualitativa en cuanto a la respuesta hidrológica de la cuenca. La morfometría definida permitió inferir que la cuenca se encuentra en una zona de bajo relieve, en equilibrio dinámico del sistema según las características de relieve y geomorfológicas. Las suaves pendientes presentes en la mayor parte de la cuenca disminuyen

el escurrimiento, aumentando el tiempo de concentración.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el (Proyecto N° 11/A223 'Servicios Ambientales de Agroecosistemas para el Ordenamiento Territorial en el sur de la Provincia de Buenos Aires'. Programa de Incentivos. Ministerio de Educación de la Nación Argentina.

6. Referencias citadas

- DELGADO, M. I. y F. GASPARI. 2010. *Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. Revista Tecnociencia*. IV (3): 154-163.
- DÍAZ, C.; MAMADO, K.; ITURBE, A.; ESTELLER, M. y F. REYNA. 1999. *Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: Caso el curso alto del río Lerma, estado de México. Ciencia Ergo Sum*, 6 (2): 124-134.
- EASTMAN, J. R. 2009. *IDRISI Guide to GIS and Image Processing*. Accessed in IDRISI Taiga. Worcester, MA: Clark University: Digital version.
- GASPARI, F. J.; SENISTERRA, G. E.; DELGADO, M. I.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. y S. BESTEIRO. 2009. *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Editorial Autores. La Plata-Argentina. 321 p.
- GASPARI, F. J. 2002. **Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)**. Ediciones Cooperativas. Buenos Aires-Argentina. 116 p.

- HENAOS, J. 1988. **Introducción al manejo de cuencas hidrográficas**. Universidad Santo Tomás. Centro de Enseñanza Descolonizada. Bogotá-Colombia. 399 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE) 2004. *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque de Tancitaro*. Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México, DF.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 1989. *Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (escala 1:500.000)*. Buenos Aires-Argentina. 473 p.
- LLAMAS, J. 1993. **Hidrología general: principios y aplicaciones**. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao-España. 635 p.
- LÓPEZ CÁDENAS DE LLANO, F. 1998. **Restauración hidrológica forestal y control de la erosión. Ingeniería ambiental**. Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa, Madrid-España. 945 p.
- MÉNDEZ, W. y E. MARCUCCI. 2006. *Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**. 47(1): 29-55.
- MONTOYA MORENO, Y. y B. MONTOYA MORENO. 2009. *Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia*. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, 8 (15): 11-29.
- MILLER, V. C. 1953. *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042. Technical Report, 3. Columbia University.
- ORTIZ, J. 2004. *Evaluación hidrológica*. **Revista Hierro Red**. (Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía). 2: 2-10.
- RACCA, J. M. 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.
- SENCIALES GONZALEZ, J. M. 1998. *El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico*. **Norba Revista de Geografía**. España. 10: 155-184.
- STRAHLER, A. N. 1952. *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. **Bulletin of the Geological Society of America**, 63: 1117-1142.
- STRAHLER, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. Handbooks Applied Hydrology. In V. T. Chow(Ed.), **Handbook of Applied Hydrology**. (pp. 4, 39-4, 76). McGraw Hill. New York-USA.
- TCHILINGUIRIAN, P; TELLO, N.; CAVALLARO, S. y C. FRATALOCCHI. 2004. *Carta de Línea de Base Ambiental 3760-IV*. Tandil. Boletín N° 341. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental Aplicada. 115 p.